

# PERQUIRERE

## Engenharias, Ciências Exatas e da Terra

Revista do Centro Universitário de Patos de Minas  
n. 18, vol. 2 - ago./dez. de 2021



# Revista Perquirere

---

Revista do Centro Universitário de Patos de Minas

ISSN 1806-6399

Número 18, volume 2, ago./dez. 2021

Patos de Minas: Perquirere, UNIPAM, n. 18, v. 2, ago./dez. 2021: 1-292



Centro Universitário de Patos de Minas



Núcleo de Editoria e Publicações

**UNIPAM | Centro Universitário de Patos se Minas**

**Reitor**

*Henrique Carivaldo de Miranda Neto*

**Pró-reitora de Ensino, Pesquisa e Extensão**

*Maria Marta do Couto Pereira Rodrigues*

**Pró-reitor de Planejamento, Administração e Finanças**

*Renato Borges Fernandes*

**Coordenadora de Extensão**

*Adriana de Lanna Malta Tredezini*

**Diretora de Graduação**

*Mônica Soares de Araújo Guimarães*

**Coordenador do Núcleo de Editoria e Publicações**

*Geovane Fernandes Caixeta*

A Revista *Perquirere* é uma publicação do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), de acesso gratuito, destinada, primordialmente, a divulgar a produção oriunda do programa de iniciação científica (PIBIC) mantido pela instituição.

---

P447 Perquirere [recurso eletrônico] / Centro Universitário de Patos de Minas.  
– Dados eletrônicos. – N. 1 (2004)-. – Patos de Minas : UNIPAM,  
2004-

Anual: 2004-2009. Semestral: 2010-2016. Trimestral: 2017-

Disponível em: <<https://revistas.unipam.edu.br>>

ISSN 1806-6399

1. Periódicos – interdisciplinar. 2. Ciências biológicas. 3. Saúde.  
4. Engenharia. 5. Letras – artes. I. Centro Universitário de Patos Minas.  
II. Título.

CDD 056.9

---

**Centro Universitário de Patos de Minas**

Rua Major Gote, 808 – Caiçaras  
38702-054 Patos de Minas-MG Brasil

**NEP | Núcleo de Editoria e Publicações**

Telefone: (34) 3823-0341  
<http://nep.unipam.edu.br>

**Revista Perquirere © Revista do Centro Universitário de Patos de Minas**  
**<https://revistas.unipam.edu.br/index.php/perquirere/index>**  
**E-mail: [perquirere@unipam.edu.br](mailto:perquirere@unipam.edu.br)**

**EDITORA**

Gisele Carvalho Araújo Caixeta

**CONSELHO EDITORIAL INTERNO**

**Ciências da Saúde e Ciências Biológicas**

Adriana Cristina de Santana (UNIPAM)

Bethânia Cristhine de Araújo (UNIPAM)

Célio Marcos dos Reis Ferreira (UFVJM)

Cleide Chagas da Cunha Faria (UNIPAM)

Cleine Chagas da Cunha Arvelos (UNIPAM)

Daniela Resende de Moraes Salles (Universidade Presidente Antônio Carlos –  
Araguari)

Franciele Maria Caixeta (UNIPAM)

Gilson Caixeta Borges (UNIPAM)

Isa Ribeiro de Oliveira Dantas (UNIPAM)

José Alfredo Dixini (UNIPAM)

Juliana Ribeiro Gouveia Reis (UNIPAM)

Karyna Maria de Mello Locatelli (UNIPAM)

Luciana de Almeida França (UNIPAM)

Luiz Henrique dos Santos (UNIPAM)

Marilene Rivany Nunes (UNIPAM)

Maura Regina Guimarães Rabelo (UNIPAM)

Milce Burgos Ferreira (UNIPAM)

Nádia Camila Rodrigues Costa Caixeta (UNIPAM)

Natália de Fátima Gonçalves Amâncio (UNIPAM)

Norma Aparecida Borges Bittar (UNIPAM)

Odilene Gonçalves (UNIPAM)

Priscila Capelari Orsolin (UNIPAM)

Roane Caetano de Faria (UNIPAM)

Rosiane Gomes Silva Oliveira (UNIPAM)

Rosiane Soares Saturnino (UNIPAM)

Rossana Pierangeli Godinho Silva (UNIPAM)

Sandra Soares (UNIPAM)

Talita Marques da Silva (UNIPAM)

**Engenharias, Ciências Exatas e da Terra**

Alice Pratas Glycério de Freitas (UNIPAM)

Angelita das Graças de Oliveira Honorato (UNIPAM)

Andréa de Freitas Avelar (UNIPAM)

Bruno Batista Gonçalves (UNIPAM)  
Bruno Sérgio Vieira (UFU)  
Carlos Henrique Eiterer de Souza (UNIPAM)  
Dayene do Carmo Carvalho (UNIPAM)  
Diego Alves de Moro Martins (UNIPAM)  
Eduardo Pains de Moraes (UNIPAM)  
Eneida César Mastrantonio (UNIPAM)  
Everaldo Antonio Lopes (UFV – Campus Rio Paranaíba)  
Fábio de Brito Gontijo (UNIPAM)  
Fernando Correa de Mello Junior (UNIPAM)  
Fernando Dias da Silva (UNIPAM)  
Guilherme Nascimento Cunha (UNIPAM)  
Gustavo Rodrigues Barbosa (UNIPAM)  
Janaina Aparecida Pereira (UNIPAM)  
José Mauricio da Rocha Junior (UNIPAM)  
Lucas Mendes da Silva (UNIPAM)  
Nancy Tiemi Isewaki (UNIPAM)  
Mariana Assunção de Souza (UNIPAM)  
Nádia Grandi Bombonato (UNIPAM)  
Nicolle Pereira Soares (UNIPAM)  
Patrícia Antunes dos Reis (UNIPAM)  
Paulo Eduardo Silva Martins (UNIT - Universidade Tiradentes)  
Pedro Junior Ashidani (UNIPAM)  
Renata Aparecida Vaz Rodrigues (UNIPAM)  
Renata Nepomuceno da Cunha (UNIPAM)  
Renato Ianhez (UNIPAM)  
Rodrigo Hiroshi Murofushi (UNIPAM)  
Ronan Magalhães de Sousa (UNIPAM)  
Sady Alexis Chavauty Valdes (UNIPAM)  
Sandro de Paula Matias (UNIPAM)  
Sheilla Pereira Vieira (UNIPAM)  
Thaisa Reis dos Santos (UNIPAM)  
Thiago Vieira da Silva (UNIPAM)  
Tiago Santos e Souza (UNIPAM)  
Walter Vieira da Cunha (UNIPAM)  
Vinicius de Moraes Machado (UNIPAM)

**Ciências Sociais Aplicadas, Letras e Artes**

Adriana Vieira Ferreira (UNIPAM)  
Cláudio Roberto Vaz Teixeira (UNIPAM)  
Consuelo Nepomuceno (UNIPAM)  
Elisa Aparecida Ferreira Guedes Duarte (UNIPAM)  
Elizete Maria da Silva Moreira (UNIPAM)  
Frederico de Sousa Silva (UFU)  
Gabriel Gomes Canedo Vieira de Magalhães (UNIPAM)

Guilherme Caixeta Borges (UNIPAM)  
Helen Corrêa Solis Neves (UNIPAM)  
Jarbas Menezes (UNIPAM)  
Joana Darc dos Santos (UNIPAM)  
João Paulo Alves de Faria (UNIPAM)  
José Maria Marques (UNIPAM)  
Laércio José Vida (UNIPAM)  
Luís André Nepomuceno (UNIPAM)  
Luiz Henrique Borges Varella (UNIPAM)  
Marcos Antônio Caixeta Rassi (UNIPAM)  
Margareth Aparecida Cândido (UNIPAM)  
Maria Marta do Couto Pereira Rodrigues (UNIPAM)  
Mônica Soares de Araújo Guimarães (UNIPAM)  
Morisa Martins Jajah (UNIPAM)  
Pedro Henrique de Sousa Ferreira (UNIPAM)  
Sandro Ângelo de Andrade (UNIPAM)  
Sueli Maria Coelho (UFMG)  
Thiago Henrique Ferreira Vasconcelos (UNIPAM)  
Valério Nepomuceno (UNIPAM)  
Vidigal Fernandes Martins (UFU)

#### **Revisão**

Geovane Fernandes Caixeta  
Gisele Carvalho Araújo Caixeta  
Mônica Soares de Araújo Guimarães

#### **Diagramação e Formatação**

Lorrany Lima Silva

## SUMÁRIO

<b>Adubação organomineral e mineral na disponibilização de fósforo em feijoeiro.....</b>	<b>10</b>
Gabriela Lopes da Silva Diego Henrique da Mota	
<b>Adubação potássica antecipada na cultura do milho.....</b>	<b>23</b>
Edilson Sousa Santos Henrique Teixeira Santos Diego Henrique da Mota	
<b>Controle de <i>Hypothenemus hampei</i> com <i>Bacillus spp.</i>.....</b>	<b>32</b>
Letícia Mariane Pimenta de Lima Walter Vieira da Cunha	
<b>Controle de nematoides na cultura do pimentão.....</b>	<b>41</b>
Arthur Caixeta Gomes Amanda Moreira Vinhal Pires Diego Henrique da Mota	
<b>Desenvolvimento inicial do cafeeiro submetido a diferentes fontes e doses de fertilizantes fosfatados com tecnologia de liberação.....</b>	<b>49</b>
Luís Eduardo Dias Vaz Carlos Henrique Eiterer de Souza	
<b>Influência da associação fertilizantes e bioestimulantes na fisiologia da cultura de soja.....</b>	<b>59</b>
Letícia Moreira da Silva Evandro Binotto Fagan	
<b>Métodos de inoculação de <i>Azospirillum brasilense</i> (Rhodospirillaceae) associado à adubação nitrogenada na cultura do milho.....</b>	<b>66</b>
Douglas Rodrigues Oliveira Luís Henrique Soares	
<b>Potencial de absorção de fósforo por plantas inoculadas com micorriza arbuscular.....</b>	<b>82</b>
Adriano Augusto de Souza Mendes Karla Vilaça Martins	
<b>Reação de cultivares de bananeiras ao <i>Meloidogyne incógnita</i>.....</b>	<b>88</b>
Lourenço Antônio Melo Gontijo Lucas da Silva Mendes	

<b>Uso de <i>Trichoderma harzianum</i> na produção de mudas de maracujazeiro.....</b>	<b>97</b>
Matheus Reis Camargos Janaine Myrna Rodrigues Reis	
<b>Caracterização física do resíduo de mineração de fosfato no Alto do Paranaíba (MG).....</b>	<b>103</b>
Gisele Figueiredo Sanches Sheilla Pereira Vieira	
<b>Desenvolvimento de um protótipo para verificação do potencial de erodibilidade dos solos pelo Método de Inderbitzen.....</b>	<b>121</b>
Lucas Gomes Sheilla Pereira Vieira	
<b>Utilização de material fresado como reforço de solo para composição de camadas de sub-base de pavimentos rodoviários.....</b>	<b>137</b>
Júlia Santana Peres Leonardo Marinho Côrtes Sheilla Pereira Vieira	
<b>Projeto e desenvolvimento de sistema de eletromiografia de superfície e de jogo de prótese virtual voltados à reabilitação muscular e à adaptação a próteses físicas.....</b>	<b>153</b>
Bruna Maria Pereira de Sousa Gaspar Eugênio Oliveira Ramos	
<b>Automação em sistemas de pastejo rotacionado: aplicação de adubo e roçagem.....</b>	<b>169</b>
Luis Fernando Tolentino de Brito Janaína Aparecida Pereira	
<b>Análise teórica sobre a inserção de nanopartículas em óleo lubrificante para a diminuição do desgaste em superfícies sólidas.....</b>	<b>187</b>
Lorrana Magalhães Melo Sandra Lúcia Nogueira	
<b>Avaliação de flavonoides totais e da atividade antioxidante em extratos de aranto (<i>Kalanchoe daigremontiana</i>).....</b>	<b>205</b>
Gustavo Gonçalves Silva Renata Nepomuceno da Cunha	
<b>Incorporação de polpa de frutas na produção de cerveja artesanal do tipo Blonde Ale.....</b>	<b>218</b>
Caroline da Silva Oliveira Arlley de Brito Magalhães Sousa Renata Nepomuceno da Cunha	



**Semente de moringa (*Moringa oleifera* Lam) utilizada no tratamento de água bruta em comunidades rurais..... 243**

Náisla Silva Oliveira

Daniel Oliveira e Silva

**Análise físico-química e microbiológica da água em pisciculturas extensiva e semi-intensiva..... 253**

Henrique Alves da Silva Júnior

Juliana Borges Pereira

**Uso de *Azospirillum brasilense* no estabelecimento da *Brachiaria brizantha*..... 264**

Rogério Amorim dos Reis

Hélio Henrique Vilela

**Uso de inoculante na silagem de cenoura e raiz de mandioca..... 278**

Larissa Inácio Soares de Oliveira

Flávio Moreira de Almeida

# Adubação organomineral e mineral na disponibilização de fósforo em feijoeiro

*Organomineral and mineral fertilization in the availability of phosphorus in bean plants*

GABRIELA LOPES DA SILVA

Discente do curso de Agronomia (UNIPAM)

E-mail: gabrielalopes0394@gmail.com

DIEGO HENRIQUE DA MOTA

Professor orientador (UNIPAM)

E-mail: diegoh@unipam.edu.br

---

**Resumo:** Para se obter alta produtividade de grãos, o uso da adubação fosfatada apresenta grande importância para o processo de retorno econômico na cultura do feijão. O objetivo do trabalho é avaliar a eficiência do uso de fertilizante organomineral e mineral sob diferentes aplicações de doses de  $P_2O_5$  na disponibilização de fósforo na cultura do feijão. O experimento foi realizado em casa de vegetação, em esquema fatorial  $3 \times 4 + 1$ , sendo três fontes e quatro doses e mais uma testemunha. Foram avaliadas a quantidade de fósforo Mehlich<sup>-1</sup> disponível no solo em  $mg\ dm^{-3}$ , a altura de plantas, a massa seca da parte aérea e a massa seca da raiz. As fontes estatisticamente foram iguais para disponibilidade de fósforo Mehlich<sup>-1</sup> e para altura de plantas, obtendo-se significância somente nas doses. A dose de  $150\ kg\ ha^{-1}$  de  $P_2O_5$  foi a que proporcionou maior crescimento de plantas como também maior disponibilidade de fósforo Mehlich<sup>-1</sup>. Para massa seca de parte aérea e raiz, as fontes diferiram entre si do fertilizante convencional MAP e dos formulados organominerais, e as doses também diferiram entre si, podendo dizer que a dose de  $150\ kg\ ha^{-1}$  de  $P_2O_5$  do fertilizante organomineral foi a que apresentou maior acúmulo de matéria seca tanto da parte aérea como da raiz. Pode-se concluir que a dose de  $150\ kg\ ha^{-1}$  de  $P_2O_5$  foi a que apresentou maior desenvolvimento de plantas.

**Palavras-chave:** Produtividade. Eficiência. Fertilizantes.

**Abstract:** In order to obtain high grain productivity, the use of phosphate fertilizer is of great importance for the process of economic return in bean culture. The objective of the work is to evaluate the efficiency of the use of organomineral and mineral fertilizer under different applications of doses of  $P_2O_5$  in the availability of phosphorus in the bean culture. The experiment was carried out in a greenhouse, in a factorial scheme  $3 \times 4 + 1$ , with three sources and four doses and one control. The amount of Mehlich-1 phosphorus available in the soil in  $mg\ dm^3$  was evaluated, as well as plant height, shoot dry mass and root dry mass. The sources were statistically equal for availability of Mehlich-1 phosphorus and for plant height, obtaining significance only in doses. The dose of  $150\ kg\ ha^{-1}$  of  $P_2O_5$  provided greater plant growth as well as greater availability of Mehlich-1 phosphorus. For shoot and root dry mass, the sources differed from the conventional MAP fertilizer and from the formulated organomineral fertilizers, and the doses also differed from each other, which can be said that the dose of  $150\ kg\ ha^{-1}$  of  $P_2O_5$  of the organomineral fertilizer was the one that showed greater accumulation of dry matter both in the

aerial part and in the root. It can be concluded that the dose of 150 kg ha<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> was the one with the greatest plant development.

**Keywords:** Productivity. Efficiency. Fertilizers.

---

## 1 INTRODUÇÃO

O feijão-comum *Phaseolus vulgaris* é uma das principais culturas produzidas e consumidas no Brasil. Apresenta grande importância no território nacional, principalmente por ser um alimento que é fonte de proteína, vitamina, ferro e sais minerais (ANJOS *et al.*, 2017). O feijoeiro é cultivado em todo território nacional, sendo que, na safra 2017/2018, foram cultivados 3,1 milhões de hectares com produção em torno de 3,3 milhões de toneladas e produtividade média de 1.043 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2018).

Para se obter alta produtividade de grãos, o uso da adubação fosfatada apresenta grande importância para o processo de retorno econômico na cultura. Conhecer o efeito da adubação fosfatada auxilia no manejo desse nutriente no solo (SILVA *et al.*, 2003). Com o aumento da população nos países em desenvolvimento e, conseqüentemente, com a demanda pela elevação dos níveis de produtividade, novas tecnologias vão sendo desenvolvidas com o objetivo de estimular maior produtividade na cultura do feijoeiro. Dentre essas tecnologias, destaca-se o uso de fertilizantes (ABRANTES *et al.*, 2011).

O fósforo faz parte da constituição do ATP e de enzimas. Quando em baixa quantidade no solo, a planta tem seu crescimento reduzido (KIMANI; DERERA, 2009). Isso pode influenciar tanto na parte aérea como na raiz. Devido às alterações na arquitetura da raiz, ocorre a sinalização, ou seja, a planta percebe a falta do nutriente tanto na raiz como na parte aérea e envia sinais, gerando as modificações características com objetivo de aumentar a absorção (SANCHEZ CALDERON *et al.*, 2006).

Neste sentido, tem-se o fósforo (P), elemento essencial no metabolismo das plantas, pois contribui de forma significativa para o aumento do desenvolvimento radicular. Dessa forma, aumenta a absorção de nutrientes e água pela planta, fazendo explorar mais o solo e obtendo um melhor desenvolvimento de raiz, além de favorecer o aumento do número de vagens e da massa de grãos, o que resulta em incrementos positivos na produtividade de grãos (PELÁ *et al.*, 2009; ZUCARELLI *et al.*, 2010).

Para se elevarem os níveis de disponibilidade de fósforo nos solos e para se alcançarem altas produtividades, é necessária a aplicação de doses crescentes desse nutriente, maiores que aquelas exigidas pelas culturas, visando a compensar a capacidade dreno do solo, que é maior do que a da planta (NOVAIS; SMYTH; NUNES, 2007).

A adubação orgânica favorece o aumento do teor de fósforo no solo e a disponibilidade desse nutriente para as plantas (TEIXEIRA, 2013). Os fertilizantes organominerais resultam na compostagem de fosfato, pouco solúvel, com vários resíduos orgânicos como torta de filtro, bagaço da cana-de-açúcar, e da adição de organismos selecionados para solubilizar o fósforo de baixa reatividade. Esses fertilizantes, dependendo da sua reatividade, podem apresentar maior eficiência no uso

de fósforo pelas plantas. A razão disso é que os ânions de ácidos orgânicos e de outros ligantes orgânicos bloqueiam os sítios de adsorção de P ou complexam  $Fe^{3+}$  e  $Al^{3+}$  do solo (CARMO *et al.*, 2014).

As características sobre a solubilidade das fontes de P são de grande importância em relação a sua eficiência. Os fosfatos de maior solubilidade têm a liberação de nutrientes rápida e favorecem a adsorção e o aproveitamento de nutrientes, principalmente pelas culturas de ciclo curto, porém, nessa rápida liberação, pode ocorrer o processo de adsorção e precipitação por  $Fe^{3+}$ ,  $Al^{3+}$  e  $Ca^{2+}$ . No entanto, os fertilizantes de menor reatividade disponibilizam o P mais lentamente, reduzindo o processo de fixação (NOVAIS; SMYTH, 1999).

A crescente demanda por fósforo no Brasil e o elevado custo dos fertilizantes fosfatados exigem a adoção de estratégias de manejo em busca do aumento da eficiência agrônoma e econômica. Os solos brasileiros apresentam baixa disponibilidade natural de fósforo, e são utilizadas grandes quantidades de fertilizantes contendo esse nutriente. As características das fontes de fósforo podem influenciar a eficiência agrônoma da adubação, devido a esse nutriente sofrer elevada adsorção e precipitação, o que faz com que a eficiência dos fertilizantes seja baixa (WITHERS *et al.*, 2018).

Nesse sentido, o objetivo do trabalho é avaliar a eficiência do uso de fertilizante organomineral e mineral, sob diferentes aplicações de doses de  $P_2O_5$  na disponibilização de fósforo na cultura do feijão.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 LOCAL DO EXPERIMENTO

O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada na cidade de Patos de Minas - Minas Gerais, com coordenadas geográficas  $18^{\circ}38'33,7''S$   $46^{\circ}24'51,1''W$ . O início do experimento foi realizado no dia 28 de março de 2020 e avaliado no dia 01 de junho de 2020. O delineamento experimental utilizado foi o delineamento de blocos casualizados (DBC). Os tratamentos foram determinados em esquema fatorial  $3 \times 4 + 1$ , sendo três fontes de fósforo, fosfato monoamônico MAP 10% de N e 50% de  $P_2O_5$ , organomineral formulação 05-20-00, organomineral formulação 05-25-00 e quatro doses de  $P_2O_5$  (40, 80, 120, 150  $kg\ ha^{-1}$ ) mais um tratamento controle (dose 0 de  $P_2O_5$ ), constituindo 13 tratamentos com quatro repetições.

As doses de nitrogênio foram equiparadas com a aplicação de ureia na semeadura para os tratamentos dos formulados organominerais 05-25-00 e 05-20-00, devido ao fertilizante MAP apresentar na sua formulação 10% de N, a fim de se obter a mesma quantidade de ureia para todos os tratamentos.

### 2.2 PREPARO DOS VASOS

O solo utilizado foi de um latossolo vermelho coletado no município de Patos de Minas. A profundidade de coleta para análise de solo foi realizada a 20 cm. Após a coleta, a amostra foi encaminhada ao Laboratório para se determinarem as características químicas e físicas do solo. A amostra de solo foi destorroada,

homogeneizada, seca em estufa a 105°C. Após o período de secagem, foi peneirada, em peneira de 2,0 mm, a fim de se obter a terra fina seca ao ar (TFSA). A tabela 1 mostra os resultados da análise de solo com textura de solo argilosa. A semeadura foi feita em vasos com capacidade de cinco litros preenchidos com solo, constituindo-se 5 plantas por vaso. Após quinze dias da semeadura, realizou-se o desbaste, deixando-se apenas duas plantas em cada vaso. Os tratamentos foram organizados na estufa com quatro blocos, e dentro de cada bloco, constituíram-se 13 vasos, totalizando-se 52 vasos.

**Tabela 1:** Caracterização química de um Latossolo vermelho coletado na profundidade de 0-20 cm no município de Patos de Minas - MG

<b>Resultados Analíticos: Solos</b>	
pH (água)	5,40
P-rem (mg/L)	5,69
P (mg/dm <sup>3</sup> )	25,35
K (mg/dm <sup>3</sup> )	56
Ca <sup>2+</sup> (cmolc/dm <sup>3</sup> )	1,11
AL <sup>3+</sup> (cmolc/dm <sup>3</sup> )	0,15
Mg <sup>2+</sup> (cmolc/dm <sup>3</sup> )	0,62
H+AL <sup>3+</sup> (cmolc/dm <sup>3</sup> )	5,64
SB (cmolc/dm <sup>3</sup> )	1,87
CTC(t) (cmolc/dm <sup>3</sup> )	2,02
CTC (T) (cmolc/dm <sup>3</sup> )	7,52
Matéria Orgânica (dag/kg)	4,22
Carbônico orgânico total (dag/kg)	2,45
M (%)	7,41
V (%)	24,93
B (mg/dm <sup>3</sup> )	0,03
Cu (mg/dm <sup>3</sup> )	5,90
Fe (mg/dm <sup>3</sup> )	45,30
Mn (mg/dm <sup>3</sup> )	12,90
Zn (mg/dm <sup>3</sup> )	1,90
S (mg/dm <sup>3</sup> )	5,34
Argila (dag/kg)	438,00
Silte (dag/kg)	138,00
Areia (dag/kg)	424,00
<b>Textura</b>	<b>Argiloso</b>

P, K, Fe, Zn, Mn, Cu: Extrator Mehlich<sup>-1</sup>.

P-rem: Fósforo remanescente, concentração de P na solução de equilíbrio após agitar durante 1 hora a TSFA com solução de CaCl<sub>2</sub> 10 mmol/L, contendo 60 mg/L de P (1:10), P resina: Solução NH<sub>4</sub>CL 0,8 N em HClO, 2N, Ca, Mg, AL: Extrator KCL 1 mol/L, CTC (t): Capacidade de troca catiônica, CTC (T): Capacidade de troca catiônica a pH 7,0.

Textura: Método da pipeta, V: Saturação por bases, m: Saturação por alumínio, H+AL: Extrator: SMP, B: Extrator água quente, S: Extrator fosfato monocálcico em ácido acético, Matéria orgânica: Oxidação: NA<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 4N + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 10N, Carbônico orgânico total: Oxidação: NA<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 4N + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 10N.

Fonte: dados da pesquisa.

### 2.3 PLANTIO E CONDUÇÃO

Após a preparação dos vasos, foi realizada a adubação de plantio de 20 kg ha<sup>-1</sup> de N e 20 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e, no dia seguinte, foi realizado o plantio. A prática da irrigação foi feita de forma manual, em todos os dias, com o uso de regador. Durante a condução do experimento, plantas daninhas foram retiradas do vaso, de forma manual.

### 2.4 AVALIAÇÕES

As avaliações foram realizadas no estádio R8, na fase de enchimento das vagens. Estas foram cortadas ao nível do solo, e separadas a raiz e a parte aérea. As raízes foram lavadas com água corrente e levadas ao laboratório. A parte aérea das plantas e as raízes foram acondicionadas em estufa com circulação forçada de ar, fechada, com temperatura a 65 °C, por 72 horas. Após esse período, a parte aérea e a raiz de cada planta foram pesadas em balança de precisão de 0,1 g para a obtenção da matéria seca da parte aérea e da raiz. Para a avaliação de altura de plantas, foi utilizada uma trena, medindo-se da base do caule até o final do caule.

As amostras de solo de cada vaso foram coletadas e armazenadas em saquinhos de plástico e encaminhadas ao laboratório para avaliação do teor de fósforo disponível, pelo método Mehlich<sup>-1</sup> (1984). O extrator utilizado pelo método de Mehlich<sup>-1</sup> é uma mistura de ácido sulfúrico mais ácido clorídrico. O processo de extração consistiu da adição da solução extratora ao solo, com posterior agitação de 5 minutos, seguida da decantação por 16 horas (TEDESCO *et al.*, 1995). Após o período de decantação, retirou-se uma alíquota do extrato para determinação da concentração de P. A determinação da concentração de fósforo foi realizada no equipamento espectrofotômetro de absorção molecular, com leitura em comprimento de onda de 882 nm, seguindo metodologia descrita por Murphy e Riley (1962).

Após a obtenção dos dados das avaliações, os resultados foram submetidos à análise de variância. Para as fontes, foi aplicado o teste de Tukey a 5% de significância, e, para as doses, usou-se o ajuste de modelo de regressão a 5% de significância, utilizando-se o Software Sisvar.

## 3 RESULTADO E DISCUSSÃO

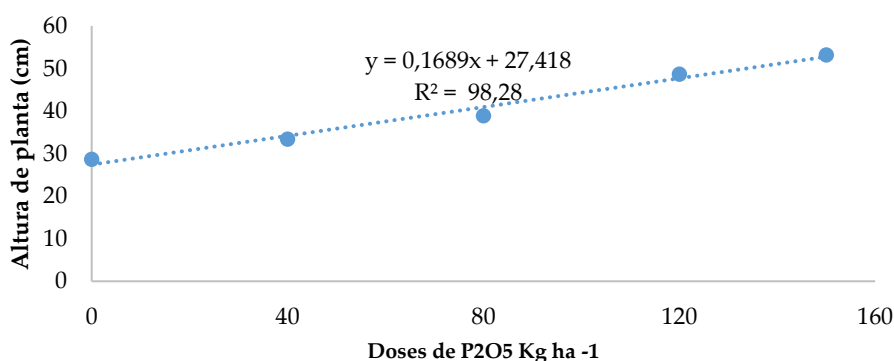
De acordo com os resultados observados na Tabela 2, verifica-se que, para a altura de plantas, a interação dos fatores fontes de fertilizante fosfatado mineral MAP e os formulados organominerais, 05-20-00 e 05-25-00, e as dose não foram significativas. No entanto, analisando-se as variáveis separadamente como a dose e a fonte, houve significância na dose, utilizando-se o ajuste de modelo de regressão a 5% de significância.

**Tabela 2:** Tabela da análise de variância da variável altura de plantas

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Fontes	2	782,541667	391,270833	1,781	0,1843
Dose	3	2,837229167	945,743056	4,304	0,0114
Fontes*Dose	6	711,458333	118,576389	0,540	0,7741
Bloco	3	366,729167	122,243056	0,556	0,6475
Erro	33	7,250520833	219,712753		
<b>Total corrigido</b>	<b>47</b>	<b>11,948479167</b>			
CV (%) =	34,29		Número de		48
Média geral:	43,2291667		observações:		

Fonte: dados da pesquisa.

As plantas de feijão apresentaram maior crescimento com as doses de fósforo na forma de fertilizante organomineral e mineral, como mostra o gráfico 1. Conforme o aumento das doses, o porte das plantas obteve crescimento de forma linear, sendo a dose de 150 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a que promoveu maior crescimento de plantas.

**Gráfico 1:** Valores médios da altura de plantas em (cm) por planta com aplicação de doses crescentes de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

Fonte: dados da pesquisa.

Em relação à estatura das plantas, este parâmetro é um bom indicativo de maior produtividade, em que o maior porte das plantas possibilita o aumento no número de nós e ramos, aumentando assim o número de vagens por planta. Sousa e Lobato (2003) obtiveram efeito crescente no porte das plantas na safra de inverno ao variar os níveis de adubação e calagem em um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico de baixa fertilidade.

Coutinho *et al.* (2014) observaram que menores doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> resultam em menores estaturas de plantas de feijão-caupi, evidenciando que o fósforo é um fator limitante para o crescimento em altura.

De acordo com Vieira *et al.* (2008), o crescimento do feijoeiro em altura é bastante influenciado pelas variáveis ambientais e condições de manejo. A maior disponibilidade de P interfere na fotossíntese pela maior captação da radiação solar e incremento na produção de fotoassimilados, pois o fósforo atua como agente formador da molécula de ATP, e, em condição de baixa produção de ATP, o crescimento das plantas é diretamente afetado (ROCHA, 2016).

De acordo com o resultado encontrado por Araújo, Santos e Camacho (2012), trabalhando com quatro genótipos de feijão-caupi, verificou-se diferença entre os genótipos quanto ao crescimento em altura de plantas e teor de P na parte aérea e a eficiência de transporte de fósforo por biomassa seca. Karikari, Arkorful e Addy (2015) verificaram aumento significativo do crescimento vegetativo de plantas de feijão-caupi em resposta à adubação fosfatada, em solos caracterizados pela baixa disponibilidade de fósforo.

Para o teor de fósforo Mehlich<sup>-1</sup> disponível no solo, conforme pode ser verificado na tabela 3, observa-se que apenas na dose houve significância pelo teste de Tukey a 5% de significância.

**Tabela 3:** Tabela da análise de variância de fósforo Mehlich<sup>-1</sup>

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Fontes	2	1,291667	0,645833	0,313	0,7336
Dose	3	32,833333	10,944444	5,298	0,0043
Fontes*Dose	6	5,541667	0,923611	0,447	0,8417
Bloco	3	0,833333	0,277778	0,134	0,9389
Erro	33	68,166667	2,065657		
<b>Total corrigido</b>	<b>47</b>	<b>108,666667</b>			
CV (%) =	10,39		Número de		
Média geral:	13,83333		observações	48	

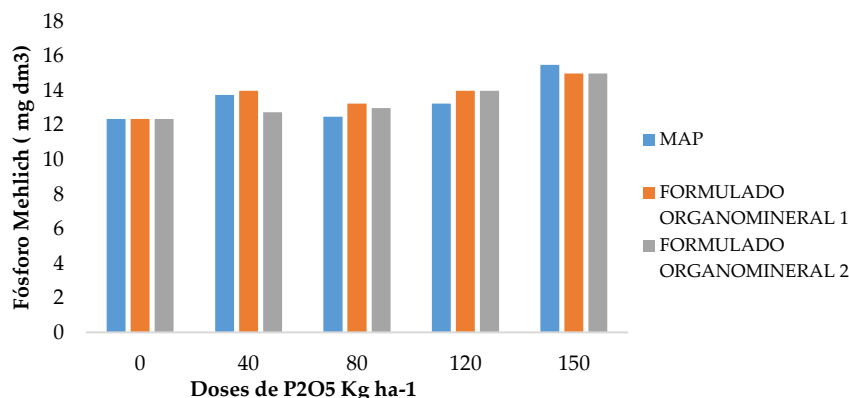
Fonte: dados da pesquisa.

Apesar de as fontes não diferirem entre si, verifica-se que, independentemente da fonte utilizada, houve efeito das doses aplicadas. A de 150 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> apresentou um teor de fósforo disponível no solo superior em relação às outras doses utilizadas, ou seja, tanto a fonte convencional de MAP quanto os formulados organominerais 05-20-00 e 05-25-00 disponibilizaram fósforo para o meio.

Conforme os dados do gráfico 2, o uso de fertilizantes organominerais nas doses de 40 a 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> possibilitou um teor de fósforo disponível no solo um pouco mais elevado em relação ao fertilizante MAP, visto que esse fertilizante mineral é altamente solúvel no solo e sua liberação é rápida, podendo ocorrer o processo de adsorção desse nutriente, sendo que fontes organominerais, ao liberarem o nutriente de forma gradual, minimizam o processo de fixação desse nutriente no solo. No entanto, a melhor dose que disponibilizou um aumento de fósforo superior foi a de 150 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.



**Gráfico 2:** Valores médios de fósforo Mehlich<sup>-1</sup> em mg/dm<sup>3</sup> com aplicação de doses crescentes de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>



Fonte: dados da pesquisa.

Dentre os fertilizantes fosfatados altamente solúveis, destacam-se o fosfato monoamônio (MAP), que contém 10% N, 52% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Outro aspecto bastante ressaltado em literatura é a fixação do fósforo que ocorre nos solos argilosos e ricos em ferro e alumínio, quando estes recebem adubações com fertilizantes contendo altas quantidades de fósforo solúvel (MALAVOLTA *et al.*, 1974; RAIJ, 1991).

Essa grande disponibilidade do fósforo na solução do solo pela fonte convencional pode favorecer a maior fixação desse elemento; diferentemente das fontes organominerais, em que a disponibilização gradual faz com que o fósforo seja disponibilizado ao longo do ciclo da cultura. Já a redução na disponibilização causada pelas fontes organominerais é o que se espera que resulte em aumento na eficiência do fósforo no solo, uma vez que, segundo Gonçalves (1988), mais de 90% do P, aplicado como fonte solúvel, é adsorvido ou precipitado na primeira hora de contato com o solo.

Em consequência dos baixos teores de P na solução do solo, é necessária a reposição desses teores pelo P lábil do solo, o qual se encontra ligado com baixa energia aos minerais do solo. Este P lábil apresenta maiores teores nos solos argilosos e baixos teores em solos arenosos. Os baixos teores do P em solução implicam maior necessidade de reposição desse nutriente para a manutenção dos vegetais. Essa reposição poderá ser superior a 1000 vezes ao teor de P encontrado na solução do solo, variando em função das características físicas e químicas de cada solo (Tidmore, 1930).

Observando-se, nas tabelas 4 e 5, os fatores fonte e dose, verifica-se que houve diferença significativa entre as fontes e as doses, na matéria seca tanto da parte aérea e quanto da raiz.

**Tabela 4:** Tabela da análise de variância da variável matéria seca da parte aérea

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Fontes	2	45,541667	22,770833	4,257	0,0227
Dose	3	63,395833	21,131944	3,951	0,0164
Fontes*Dose	6	82,291667	13,715278	2,564	0,0377
Bloco	3	8,729167	2,909722	0,544	0,6556
Erro	33	176,520833	5,349116		
<b>Total corrigido</b>	<b>47</b>	<b>376.479167</b>			
CV (%) =	48,48			Número de observações:	48
Média geral:	4,770833				

Fonte: dados da pesquisa.

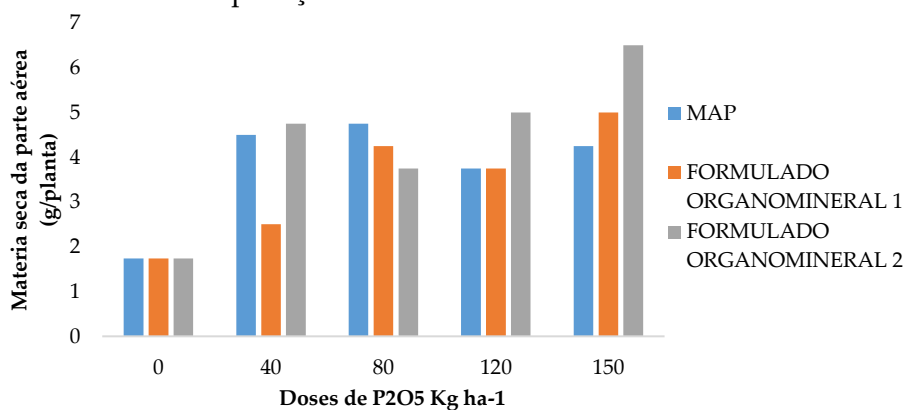
**Tabela 5:** Tabela da análise de variância da variável matéria seca da raiz

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Fontes	2	21,291667	10,645833	11,702	0,0001
Dose	3	22,729167	7,576389	8,328	0,0003
Fontes*Dose	6	4,708333	0,784722	0,863	0,5323
Bloco	3	4,229167	1,409722	1,55000	0,2201
Erro	33	30,020833	0,909722		
<b>Total corrigido</b>	<b>47</b>	<b>82,979167</b>			
CV (%) =	40,52			Número de observações	48
Média geral:	2,354166				

Fonte: dados da pesquisa.

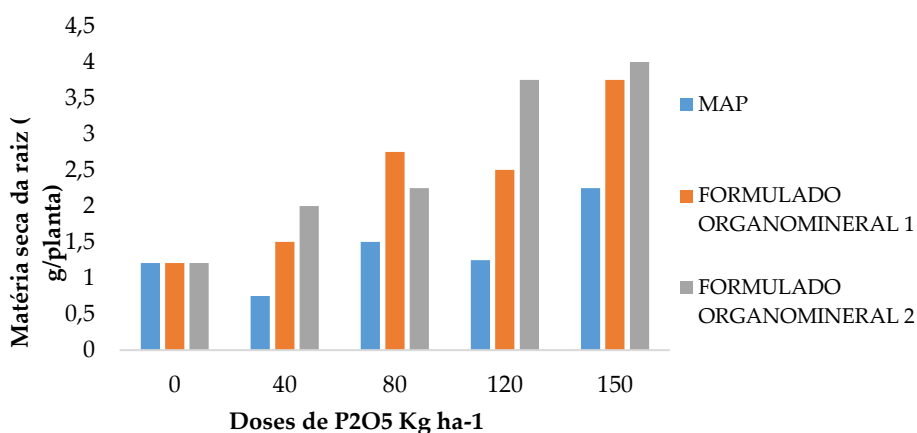
As fontes organominerais apresentaram significância das fontes MAP. Os formulados organominerais estatisticamente foram iguais, diferindo entre si somente da fonte convencional MAP para matéria seca tanto da parte aérea quanto da raiz. As fontes organominerais nas maiores doses de 120 e 150 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> apresentaram maior teor de massa seca da parte aérea e raiz, conforme mostra o gráfico 3 e 4.

Teixeira *et al.* (2011) verificaram que o fertilizante organomineral 5-15-5 obtido a partir de resíduo orgânico proporcionou 20% de aumento na produção de matéria seca do milho em relação à adubação mineral 10-30-10.

**Gráfico 3:** Valores médios da matéria seca da parte aérea em gramas por planta, com aplicação de doses crescentes de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

Fonte: dados da pesquisa.

**Gráfico 4:** Valores médios da matéria seca da raiz em gramas por planta com aplicação de doses crescentes de  $P_2O_5$



Fonte: dados da pesquisa.

De forma semelhante, Scaramuzza, Chig e Casonatto (2011) verificaram que as maiores produtividades de matéria seca na cultura da soja foram obtidas com o uso de fertilizante organomineral à base de farinha de ossos quando comparado ao uso de superfosfato simples, superfosfato triplo e o formulado 0-20-20, com destaque em solo de textura argilosa.

As diferenças na produção de matéria seca da parte aérea e raiz podem estar relacionadas ao diferente comportamento das fontes em relação às características químicas e físicas, pois a disponibilidade de P pode ser influenciada pela textura, dose do fertilizante fosfatado e pelo tempo de contato com o solo. De maneira geral, quanto maior o teor de argila presente no solo, maior a adsorção do P e menor sua disponibilidade e, quanto maior o tempo que o P permanecer no solo, menor será sua disponibilidade (MACHADO *et al.*, 2011).

No trabalho desenvolvido por Silva (2010), com a cultivar BRS-Paraguaçu, os maiores valores de massa seca da parte aérea foram obtidos com a adubação de 70 e 80 kg/ha<sup>-1</sup> de  $P_2O_5$  nas formas de superfosfato simples e superfosfato triplo, respectivamente. Oliveira *et al.* (2011) também obtiveram efeito positivo do fósforo no acúmulo de biomassa seca da parte aérea do feijão-caupi. Enquanto Rebouças *et al.* (2010) encontraram 4,59 g e 8,44 g de massa seca da parte aérea no cultivo de feijão-caupi não adubado e adubado com NPK, respectivamente.

#### 4 CONCLUSÃO

Pôde-se concluir que a aplicação de doses crescentes na cultura do feijão contribuiu para o aumento da disponibilidade de fósforo em solos, como também para o desenvolvimento das plantas.

## REFERÊNCIAS

ABRANTES, F. L.; SÁ, M. E. de; SOUZA, L. C. D. de; SILVA, M. P. da; SIMIDU, H. M.; ANDREOTTI, M.; BUZETTI, S.; VALÉRIO FILHO, W. V.; ARRUDA, N. Uso de regulador de crescimento em cultivares de feijão de inverno. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, [S. l.], v. 41, n. 2, p. 148–154, 2011.

ANJOS, D. D. N. *et al.* Avaliação do feijoeiro comum em função dos bioestimulantes, NPK e micronutrientes em Vitória da Conquista – BA. **Revista Agrarian, Dourados**, v. 10, n. 35, p. 1-9, 2017.

ARAUJO, E. O., SANTOS, E. F., CAMACHO, M. A. Nutritional efficiency of cowpea varieties in the absorption of phosphorus. **Agronomía Colombiana**, n. 30, v. 3, p. 419-424, 2012.

CARMO, D. L.; TAKAHASHI, H. Y. U.; SILVA, C. A.; GUIMARÃES, P. T. G. Crescimento de mudas de cafeeiro recém-plantadas: efeito de fontes e doses de fósforo. **Coffee Science**, v. 9, p. 196-206, 2014.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento de safra brasileiro – grãos**: nono levantamento, junho 2018 – safra 2017/2018. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento, 2018.

COUTINHO, P. W. R.; SILVA, D. M. S.; SALDANHA, E. C. M.; OKUMURA, R. S.; SILVA JÚNIOR, M. L. Doses de fósforo na cultura do feijão-caupi na região nordeste do Estado do Pará. **Revista Agroambiente On-line**, v. 8, n. 1, p. 66-73, 2014.

GONÇALVES, J. L. M. **Cinética de transformação de fósforo lábil em não lábil em amostras de solos de cerrado**. 1988. 62 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1988.

KARIKARI, B.; ARKORFUL, E.; ADDY, S. Growth, Nodulation and Yield Response of Cowpea to Phosphorus Fertilizer Application in Ghana. **Journal of Agronomy**, n. 14, v. 4, p. 234-240, 2015.

KIMANI, J. M.; DERERA, J. Combining ability analysis across environments for some traits in dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under low and high soil phosphorus conditions. **Euphytica**, v. 166, n. 1, p. 1-13, 2009.

MACHADO, V. J.; SOUZA, C. H. E.; ANDRADE, B. B.; LANA, R. M. Q.; KORNDORFER, G. H.; Curvas de disponibilidade de fósforo em solos com diferentes texturas após aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônico. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 1, p. 70-76, 2011.

MALAVOLTA, E.; HAAG, H. P.; MELLO, F. A. F.; BRASIL SOBRINHO, M. O. C. **Nutrição Mineral e Adubação de Plantas Cultivadas**. São Paulo: Livraria Pioneira E, 1974.

MURPHY, J., RILEY, J. P. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, v. 27, p. 31-36, 1962.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, DPS, 1999. 399p.

NOVAIS, R. F. *et al.* (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007.

OLIVEIRA, G. A. *et al.* Resposta do feijão-caupi as lâminas de irrigação e as doses de fósforo no cerrado de Roraima. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 4, p. 872-882, 2011.

PELÁ, A.; RODRIGUES, M. S.; SANTANA, J. S.; TEIXEIRA, I. R. Fontes de fósforo para a adubação foliar na cultura do feijoeiro. **Scientia Agraria**, v. 10, n. 3, p. 313-318, 2009.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Potafos, 1991.

REBOUÇAS, J. R. L. *et al.* Crescimento de feijão-caupi irrigado com água residuária de esgoto doméstico tratado. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 1, p. 97-102. 2010.

ROCHA, W. S. **Inoculação e doses de fósforo em feijão-caupi no sul do Estado do Tocantins**. 2016. 56 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, 2016.

SANCHEZ-CALDERON, L. *et al.* Phosphate starvation induces a determinate developmental program in the roots of *Arabidopsis thaliana*. **Plant and Cell Physiology**, v. 46, n. 1, p. 81-104, 2005.

SANCHEZ-CALDERON, L. *et al.* Characterization of low phosphorus insensitive mutants reveals a crosstalk between low phosphorus-induced determinate root development and the activation of genes involved in the adaptation of *Arabidopsis* to phosphorus deficiency. **Plant Physiology**, Rockville, v. 140, n. 3, p. 879-889, 2006.

SCARAMUZZA, J. F.; CHIG, L. A.; CASONATTO, R. Efeito de fertilizante organomineral comparado a diferentes fontes de fósforo em soja. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. **Resumos expandidos**, Uberlândia, 2011. CD.

SILVA, M. A. *et al.* Frações de fósforo em Latossolos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 10, p. 1197-1207, 2003.

SILVA, E. F. *et al.* Fixação biológica do N<sub>2</sub> em feijão-caupi sob diferentes doses e fontes de fósforo solúvel. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 3, p. 394-402, 2010.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Ed.) **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2003.

TEDESCO, M. J. *et al.* **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 147 p. (Boletim Técnico, 5).

TEIXEIRA, W.G. *et al.* Produção de matéria seca, teor e acúmulo de nutrientes em plantas de milho submetidas à adubação mineral e organomineral, *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO*, 33., 2011, Uberlândia. **Resumos expandidos**, Uberlândia, 2011. CD.

TEIXEIRA, W. G. **Biodisponibilidade de fósforo e potássio de fertilizantes mineral e organomineral**. 2012. 99 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

TIDMORE, J.W. The phosphorus content of the soil solution and its relation to plant growth. **Journal of the American Society of Agronomy**, v. 22, p. 481-488, 1930.

VIEIRA, N. M. B. *et al.* Altura de planta e acúmulo de matéria seca do feijoeiro cvs. BRS MG Talismã e Ouro Negro em plantio direto e convencional. **Ciência Agrotecnologia**, v. 32, n. 6, p. 1687-1693, 2008.

WITHERS, P. J. A. *et al.* Transitions to sustainable management of phosphorus in Brazilian agriculture. **Scientific Reports**, London, v. 8, p. 1-13, 2018.

ZUCARELI, C. *et al.* Índices biométricos e fisiológicos em feijoeiro sob diferentes doses de adubação fosfatada. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, sup. 1.1, p. 1313-1324, 2010.

# Adubação potássica antecipada na cultura do milho

*Anticipated potassium fertilization in maize crop*

EDILSON SOUSA SANTOS

Discente do curso de Agronomia (UNIPAM)

E-mail: edilsonsousa@unipam.edu.br

HENRIQUE TEIXEIRA SANTOS

Discente do curso de Agronomia (UNIPAM)

E-mail: henriquets18@hotmail.com

DIEGO HENRIQUE DA MOTA

Professor orientador (UNIPAM)

E-mail: diegoh@unipam.edu.br

---

**Resumo:** Um dos nutrientes de suma importância para o desenvolvimento da planta é o potássio (K), que representa um dos 17 nutrientes essenciais para o crescimento da planta. O objetivo do trabalho foi avaliar doses de Cloreto de Potássio (KCl) na cultura do milho em relação à aplicação antecipada do fertilizante ao plantio. O experimento foi conduzido na Fazenda Onça, localizada no município de Presidente Olegário (MG), com solo com característica de Latossolo Vermelho Eutrófico. O delineamento utilizado é o de blocos casualizados (DBC) em esquema fatorial de 4x4+1, com quatro repetições, sendo quatro tempos de aplicação antecipado ao plantio (45, 30, 15 e 0 dias) e quatro doses de potássio (30, 60, 90 e 120 Kg ha de K<sub>2</sub>O) + tratamento adicional sem aplicação de K<sub>2</sub>O. Concluiu-se que a antecipação de K<sub>2</sub>O é viável; de acordo com as variáveis analisadas a cultura do milho é responsiva a crescentes doses de K<sup>+</sup>.

**Palavras-chave:** Potássio. Milho. Antecipação. Adubação. Produtividade.

**Abstract:** One of the most important nutrients for plant development is potassium (K), which represents one of the 17 essential nutrients for plant growth. The objective of this work was to evaluate doses of Potassium Chloride (KCl) in corn in relation to the anticipated application of fertilizer at planting. The experiment was carried out at Fazenda Onça, located in the municipality of Presidente Olegário, MG, with soil with characteristic of Eutrophic Red Latosol. The design used is a randomized block design (DBC) in a 4x4+1 factorial scheme, with four replications, with four application times prior to planting (45, 30, 15 and 0 days) and four doses of potassium (30, 60, 90 and 120 Kg ha of K<sub>2</sub>O) + additional treatment without K<sub>2</sub>O application. It was concluded that the anticipation of K<sub>2</sub>O is feasible; according to the variables analyzed, the corn crop is responsive to increasing doses of K<sup>+</sup>.

**Keywords:** Potassium. Corn. Anticipation. Fertilization. Productivity.

---

## 1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays*) é um conhecido cereal cultivado em grande parte do mundo. Tal cultura é extensivamente utilizada para alimentação humana ou para ração animal, devido às suas qualidades nutricionais. No Brasil, demonstra um crescimento cada vez maior da produção; um dos fatores que pode explicar essa questão é a modernização da tecnologia de produção. O país é o terceiro maior produtor de milho do mundo, ficando somente atrás dos Estados Unidos e China (VALENTE, 2018). A estimativa de área de milho primeira safra, na temporada 2019/20, é de 4.144,7 mil hectares, 1% maior que a área cultivada na safra 2018/19. Com relação à segunda safra, prevista para iniciar em janeiro, a produção é estimada em 70,9 milhões de toneladas. Dessa forma, a estimativa nacional de cultivo do milho, considerando a primeira e segunda safra, na temporada 2019/20, deverá apresentar incremento de 0,2% e resultar em uma produção de 98,4 milhões de toneladas, redução de 1,7% em relação à safra recorde de 2018/19 (CONAB, 2019).

Nos últimos anos no Brasil, a produção de milho em parceria com a de soja contribuiu com cerca de 80% da produção de grãos. O milho tem sua produção voltada principalmente para o mercado interno, mas, nos últimos anos, o índice de exportação apresentou uma taxa de crescimento, o que colabora para a sustentação dos preços internos. Com o aumento da importância da soja no mercado internacional, ela passou a ocupar cada vez mais áreas no período do verão, levando os produtores a optarem pelo plantio da soja no verão e do milho na segunda safra. O milho passou a ser inserido principalmente na segunda safra, com o objetivo de se ter uma opção a mais para o período do inverno. Foram dois fatores importantes para que isso acontecesse. O primeiro está relacionado à sucessão de cultura com a soja para se ter uma cobertura morta para o sistema de plantio direto; dessa forma, o milho safrinha passou a ser plantado logo após a colheita da soja. O segundo fator está relacionado à crescente demanda por milho, principalmente na entressafra, em que há uma alta elevação dos preços (ALVARENGA *et al.*, 2010).

Para se chegar à produtividade desejada, a planta necessita de uma boa fertilidade do solo, com uma oferta de nutrientes nas dosagens corretas, para que não haja um desequilíbrio nos sistemas internos da planta e para que, dessa maneira, ela possa expressar sua produtividade máxima. Como a maioria dos solos cultiváveis brasileiros são de características do cerrado, possuem baixa fertilidade, fazendo com que a cultura do milho seja altamente dependente de uma boa adubação, tanto no plantio quanto na cobertura.

Um dos nutrientes de suma importância para o desenvolvimento da planta é o potássio (K), que representa um dos 17 nutrientes essenciais para o crescimento e reprodução de uma planta. Classificado como um macronutriente juntamente com nitrogênio (N) e fósforo (P), o potássio é definido como  $K_2O$ , tendo como principal fertilizante o Cloreto de Potássio (KCl). Plantas deficientes em potássio são menos resistentes a estresses, a mudanças de temperatura, a excesso de água, a pestes e a ataques de nematoides. Ele é conhecido como nutriente da “qualidade”, afetando no tamanho, na forma, na coloração e no vigor do grão (NUTRIÇÃO DE SAFRAS, 2014/2015).



O potássio tem inúmeras funções na planta, destacando-se, principalmente, a ativação de vários sistemas enzimáticos; muitos deles participam dos processos de fotossíntese e respiração. O potássio também atua na regulação osmótica, na manutenção de água na planta por meio do controle da abertura e fechamento dos estômatos, na resistência da planta à incidência de pragas e doenças por meio do efeito na resistência e na permeabilidade das membranas plasmática (NOVAIS *et al.*, 2007).

Em relação à absorção de nutrientes pela cultura do milho, o potássio é o segundo mineral requerido em maior quantidade pelas espécies vegetais. Esse nutriente tem alta mobilidade na planta, em qualquer nível de concentração, dentro da célula, no tecido vegetal, no xilema e floema (MALAVOLTA, 1980).

A presente pesquisa teve como objetivo avaliar doses de Cloreto de Potássio (KCl) na cultura do milho em relação à aplicação antecipada do fertilizante ao plantio da cultura.

## 2 METODOLOGIA

O experimento foi conduzido na Fazenda Onça, localizada no município de Presidente Olegário (MG), com solo com característica de Latossolo Vermelho Eutrófico. O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados (DBC) em esquema fatorial de 4x4+1 (controle de aplicação de K<sub>2</sub>O), com quatro repetições, sendo quatro tempos de aplicação antecipado ao plantio (45, 30, 15 e 0 dias) e quatro doses de potássio (30, 60, 90 e 120 Kg ha de K<sub>2</sub>O) que foram aplicadas manualmente a lanço e mais o tratamento adicional sem aplicação de fertilizante potássico. A fonte de K utilizada foi o Cloreto de Potássio (KCl) que possui em sua composição 60% de K<sub>2</sub>O.

Após a correção e o preparo do solo da área, de acordo com a análise química do solo, cada parcela foi delimitada com sete metros de comprimento por 2 metros de largura, totalizando uma área de 14 m<sup>2</sup>, com um espaçamento entre linhas de 0,5 m. Feito o preparo da área, realizou-se a aplicação das doses de potássio nos respectivos tempos: 45, 30, 15 e 0 dias anteriores à semeadura. A semeadura foi realizada de forma mecanizada com uma população 60.000 plantas por hectare, a cultivar de milho utilizada foi a de ciclo precoce; para a semeadura, utilizou-se do fertilizante MAP (com garantia de 50% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 10% N) com a mesma dosagem em todas as parcelas de acordo com a análise química.

Após completo o ciclo da cultura, realizou-se a colheita no estágio RT, somente da área útil da parcela, excluindo-se as duas linhas das extremidades e um metro no início e final de cada parcela. Em seguida, foi feito o despalhamento das espigas para realização das avaliações de comprimento de espiga utilizando uma fita métrica, diâmetro de espiga com auxílio de um paquímetro digital e realização da contagem do número de fileiras por espiga e o número de grãos por fileira para realização das análises estatísticas.

Em seguida, houve a realização das avaliações de massa de 100 grãos; em que foram separados 100 grãos aleatoriamente de cada parcela e pesados em balança analítica. Para a produtividade final, foi pesada toda a amostra da área útil de cada parcela e, em seguida, fez-se a estimativa para produtividade por hectare.

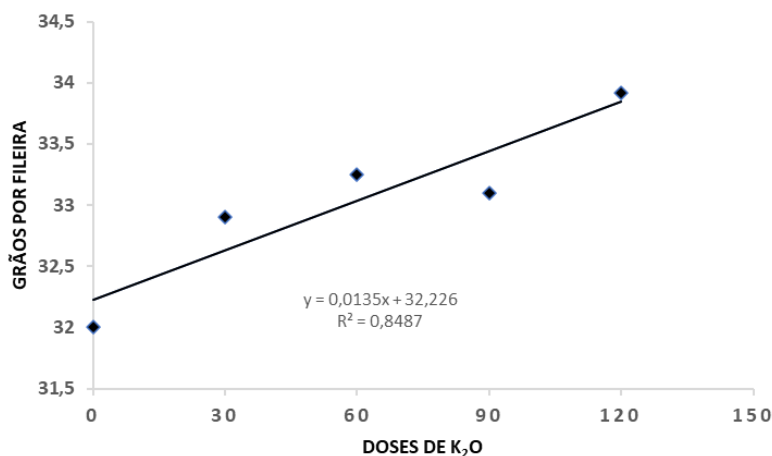
Os dados foram submetidos à análise de variância e ajustados ao modelo de regressão, utilizando o software SISVAR 5.6 (FERREIRA, 2010).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nos resultados obtidos, observou-se que houve um ajuste de regressão linear significativa para as doses nas avaliações de número de grãos por fileira, número de fileiras por espiga, comprimento e diâmetro de espiga, peso de 1000 grãos e para produtividade. Em nenhuma das avaliações, houve significância para os tempos de antecipação nem interação entre as doses e tempo de antecipação. A não existência de efeito significativo entre tempos de antecipação de Potássio também foi encontrada por Petter *et al.*, (2012), que dizem que a não apresentação de resultados pelo tempo de antecipação pode ser atribuída à reserva desse nutriente no solo; outro fator importante pode ser o fato de que a falta de demanda hídrica antes do plantio faz com que as doses aplicadas antecipadas não se dissolvam no solo antecipadamente.

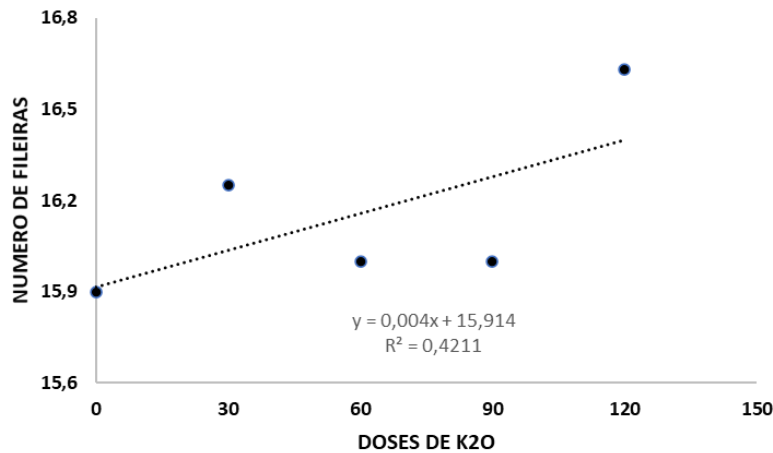
As Figuras 1 e 2 mostram os resultados das avaliações de número de grãos por fileira e número de fileiras por espiga respectivamente.

**Figura 1:** Numero de grãos por fileira submetidos a doses e tempos de aplicação de adubação potássica na cultura do milho, Presidente Olegário, MG, 2021



Fonte: dados da pesquisa, 2020.

**Figura 2:** Numero de fileiras por espiga submetidos a doses e tempos de aplicação de adubação potássica na cultura do milho, Presidente Olegário, MG, 2021

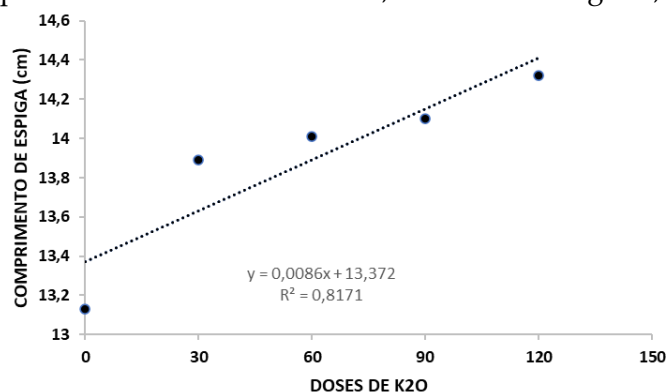


Fonte: dados da pesquisa, 2020.

Para a avaliação de número de grãos por fileira, houve um ajuste de modelo de regressão linear para as doses. Pode ser observado na Figura 1 que, com o crescente aumento das doses de K<sub>2</sub>O, houve um aumento de forma crescente no número dos grãos por fileiras. Com isso pode se constatar que a avaliação de número de grãos por fileira foi responsiva a crescentes doses de K<sub>2</sub>O. Resultado parecido foi encontrado por Valderrama *et al.* (2011), que relataram aumento linear do número de fileiras por espiga, de grãos por fileira e de grãos por espiga com o aumento das doses de potássio.

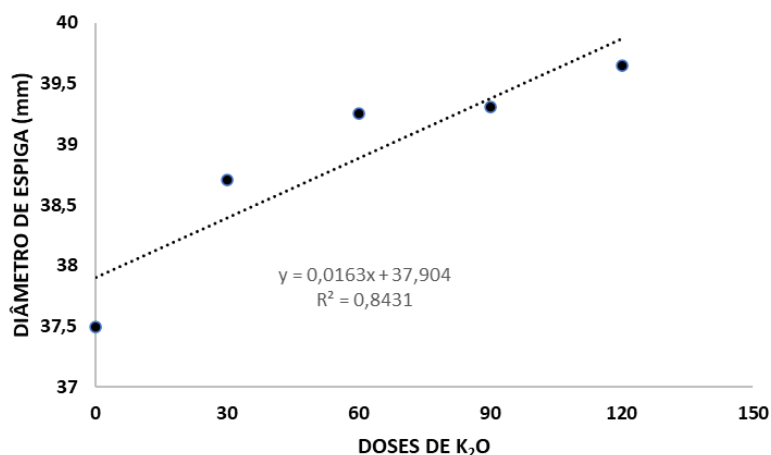
Para a avaliação de número de fileiras por espiga como mostra a Figura 2, constatou-se um ajuste de regressão linear, assim como aconteceu com a avaliação anterior sobre número de grãos por fileira. Ou seja, a variável de número de fileiras foi responsiva a crescentes doses de K<sub>2</sub>O; dessa forma, com incremento de crescentes doses de Potássio, houve um aumento crescente no número de fileiras. Büll (1993) observou que o potássio tem grande impacto ligado diretamente na qualidade da cultura e na influência positiva sobre a massa individual de grãos e número de fileiras por espiga.

**Figura 3:** Comprimento de espiga (cm) submetidos a doses e tempos de aplicação de adubação potássica na cultura do milho, Presidente Olegário, MG, 2021



Fonte: dados da pesquisa, 2020.

**Figura 4:** Diâmetro de espiga (mm) submetidos a doses e tempos de aplicação de adubação potássica na cultura do milho, Presidente Olegário, MG, 2021



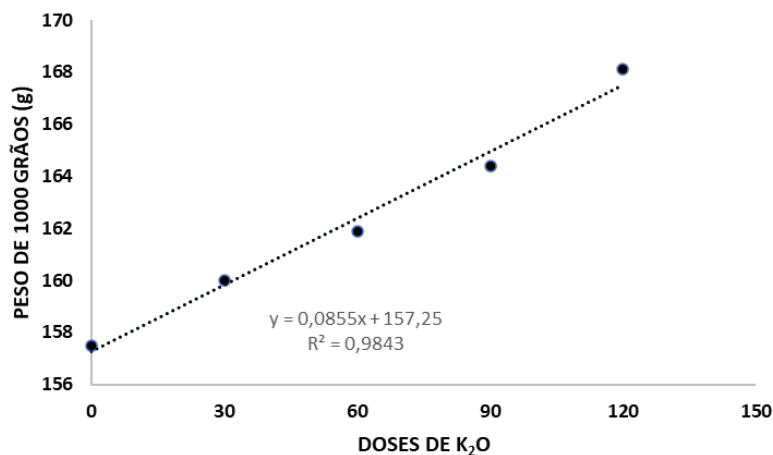
Fonte: dados da pesquisa, 2020.

Como nas avaliações anteriores, de número de grãos por fileira e número de fileiras por espiga, as avaliações de comprimento de espigam, Figura 3, e a avaliação de diâmetro de espiga como mostra a Figura 4, foram obtidos resultados semelhantes; constatou-se em ambas as variáveis um ajuste de regressão linear, em que o valor das variáveis aumentou de acordo com o aumento das doses de K<sub>2</sub>O. Isso pode ser explicado pelo fato de o nutriente K<sup>+</sup> dar qualidade à planta e atuar em várias funções dentro dela de maneira benéfica; levando-se em conta esses atributos, conseqüentemente se tem uma espiga com mais qualidade e com grãos maiores e bem formados. Esse aumento se deve ao fato de o K ser ativador de mais de 60 enzimas na planta, sendo muito importante na expansão do volume celular e no transporte de íons até as células meristemáticas (WALLINGFORD, 1980).

Também foi observada uma resposta positiva de adubação potássica por Andreotti *et al.* (2001), em um trabalho realizado em casa de vegetação em vaso. Nesse ambiente, podem ser observadas condições controladas para máxima exploração do sistema radicular das plantas, sendo constatado que o desenvolvimento e a produção de grãos do milho aumentaram até a adição de 60 mg kg<sup>-1</sup> de K ao solo; mesmo ocorrendo em vaso a lixiviação do K em relação à total desestruturação do solo, a disponibilidade de água permitirá o melhor desenvolvimento das raízes e melhor extração do K que em condições de campo.

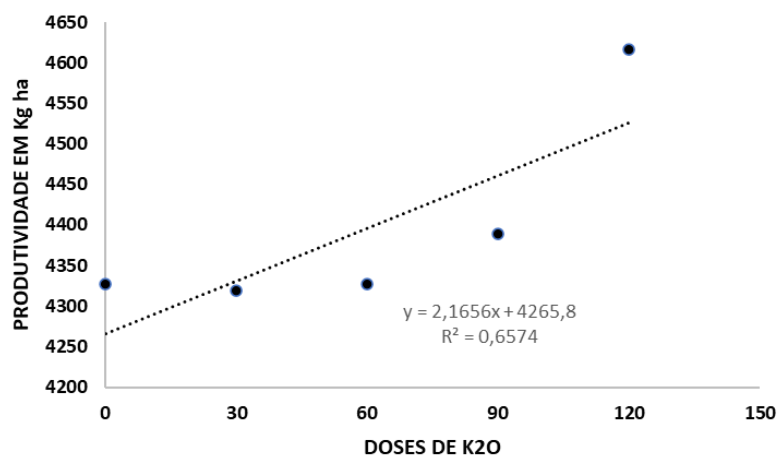
As variáveis de massa de 1000 grãos e produtividade por ha estão mostradas nas Figuras 5 e 6 a seguir.

**Figura 5:** Peso de 1000 grãos, submetidos a doses e tempos de aplicação de adubação potássica na cultura do milho, Presidente Olegário, MG, 2021



Fonte: dados da pesquisa, 2020.

**Figura 6:** Produtividade em Kg ha, submetidos a doses e tempos de aplicação de adubação potássica na cultura do milho, Presidente Olegário, MG, 2021



Fonte: dados da pesquisa, 2020.

Para a variável de peso de 1000 grãos, Figura 5, assim como nas avaliações anteriores, houve um ajuste de regressão linear, ou seja, com o aumento das doses, houve um incremento no peso dos grãos. Isto pode ser explicado porque, com o aumento do fornecimento de K<sub>2</sub>O para a planta, há uma maior nutrição dos grãos, fazendo, dessa forma, com que houvesse um maior enchimento de grãos, tornando-os mais pesados.

Esses resultados se diferem dos encontrados por Deparis *et al.* (2007), que não observaram efeito significativo nas doses de potássio (3; 7, 5; 15; 30; 45; 52,5 e 57 kg ha de K<sub>2</sub>O) para a massa de 1000 grãos em estudo realizado na cultura do milho. Já Büll (1993) mostrou que o potássio tem impacto direto na qualidade da cultura e influência positiva na massa individual de grãos.

Já para a variável de produtividade, Figura 6, também foi verificado um ajuste de regressão linear, ou seja, com crescente aumento das doses, houve uma crescente produtividade, verificando uma quantidade de 5 sacas a mais que o tratamento sem aplicação de K<sub>2</sub>O. Isso pode ser explicado pelo fato de esse nutriente estar em uma concentração muito baixa no solo; dessa forma, faz com que as doses mais altas se sobressaíam em relação às demais.

Veloso *et al.* (2011) encontraram resposta significativa para a produtividade do milho utilizando a dose máxima de 100 kg ha de K<sub>2</sub>O; em aplicação com doses superiores não houve benefícios. Atribuíram a significância da resposta ao fato de o solo apresentar um teor baixo de potássio (0,6 mmolc dm<sup>-3</sup>) para a localidade em questão. Para Andreotti *et al.* (2001), o desenvolvimento e a produção de grãos de milho aumentaram até a adição de 60 mg Kg de K ao solo.

## 5 CONCLUSÃO

Concluiu-se com a pesquisa que a antecipação da adubação potássica em solos do tipo latossolo vermelho argiloso é viável, pois foram obtidos os mesmos resultados da aplicação do dia do plantio. A cultura do milho foi responsiva a crescentes doses de K<sub>2</sub>O, mostrando um incremento de produção em todas as variáveis analisadas, de acordo com o aumento das doses.

## REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, R. C. *et al.* (EE.) **Cultivo do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010.
- ANDREOTTI, M. *et al.* Crescimento do milho em função da saturação por bases e da adubação potássica. **Scientia Agricola**, v. 58, p. 145-150, 2001.
- BÜLL, L. T. Nutrição mineral do milho. *In*: BÜLL, L. T.; CANTARELLA, H. (EE.). **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Potafos, 1993. p. 63-145.
- CARMO, C. D. S. *et al.* Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos. **Embrapa Solos-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, Brasília, 2000.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. V.7 - SAFRA 19/20 - N. 1 – Primeiro Levantamento. Brasília, out. 2019.
- DEPARIS, G. A. **Espaçamento, adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura do milho**. 2006. 63 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2006.

- DEPARIS, G. A. *et al.* Espaçamento e adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura do milho. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 29, p. 517-525, 2007.
- FERREIRA, D. F. **SISVAR – Sistema de análise de variância**. Lavras (MG): UFLA, 2010.
- FERREIRA, A. C. B. *et al.* Características agronômicas e nutricionais do milho adubado com nitrogênio, molibdênio e zinco. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 1, p. 131-138, 2001.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo, Ceres, 1980.
- NOGUEIRA NETTO, V. S. **Impactos do Mercosul na produção e comercialização do milho e da soja da região Centro-Oeste**. 1996. 90 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 1996.
- NOVAIS, R. F. *et al.* **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007.
- NUTRIÇÃO DE SAFRAS. Potássio. Conhecimento para altas produtividades. **Mosaic Fertilizantes do Brasil 2014-2015**. Disponível em: <https://www.nutricaoadesafra.com.br>.
- PETTER, F. A. *et al.* Desempenho agronômico da soja a doses e épocas de aplicação de potássio no cerrado piauiense. **Revista Ciências Agrárias**, v. 55, n. 3, p. 190-196, jul./set. 2012.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed; 2004.
- VALENTE, J. Produção e exportação de milho devem crescer na safra 2018/2019. **Agência Brasil**, Brasília, 20 ago. 2018.
- VELOSO, C. A. C. *et al.* Adubação potássica para a cultura do milho no oeste do Pará. In: XXXIII CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. **Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas**. Uberlândia: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011. 1 CDROM.
- VALDERRAMA, M. *et al.* Fontes e doses de NPK em milho irrigado sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, p. 254-263, 2011.
- WALLINGFORD, W. Functions of potassium in plant. **Potassium for agriculture**, Atlanta: Potash & Phosphate Institute, 1980. p. 10-27.

# Controle de *Hypothenemus hampei* com *Bacillus* spp

*Control of Hypothenemus hampei with Bacillus spp*

LETÍCIA MARIANE PIMENTA DE LIMA

Discente do curso de Agronomia (UNIPAM)  
E-mail: leticiapimenta@unipam.edu.br

WALTER VIEIRA DA CUNHA

Professor orientador (UNIPAM)  
E-mail: walter@unipam.edu.br

---

**Resumo:** A boca-do-café é uma das pragas mais importantes do cafeeiro, podendo causar prejuízos no peso, na qualidade do grão e na bebida. O presente trabalho tem como objetivo avaliar a mortalidade de *Hypothenemus hampei* submetido aos produtos químicos, biológicos e cepas de *Bacillus* spp. O experimento foi conduzido no Laboratório de Genética e Biotecnologia (GENEB), do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM). Foram constituídos oito tratamentos e quatro repetições, conduzidos em delineamento inteiramente casualizado. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e teste Tukey a 5%. Observou-se que o tratamento à base de Clorpirifós, da cepa de *Bacillus* spp 2 e do produto à base de *Beauveria bassiana* obtiveram os melhores resultados, portanto neste estudo, eles foram mais eficazes para o controle do inseto, por ocasionarem maior mortalidade quando comparados com os demais tratamentos.

**Palavras-chave:** Broca-do-café. Bactéria. Mortalidade.

**Abstract:** The coffee borer is one of the most important pests of the coffee tree, which can cause losses in weight, in the quality of the beans and in the beverage. The present work aims to evaluate the mortality of *Hypothenemus hampei* submitted to chemical, biological products and *Bacillus* spp. The experiment was conducted at the Genetics and Biotechnology Laboratory (GENEB), at Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM). Eight treatments and four replications were carried out in a completely randomized design. The data obtained were submitted to analysis of variance and Tukey test at 5%. It was observed that the treatment based on Chlorpyrifos, the *Bacillus* spp 2 strain and the product based on *Beauveria bassiana* obtained the best results, therefore, in this study, they were more effective for insect control, as they cause higher mortality when compared to other treatments.

**Keywords:** Coffee borer. Bacterium. Mortality.

---

## 1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura brasileira é responsável atualmente por cerca de um terço da produção mundial e ocupa a segunda posição entre os maiores consumidores da bebida no mundo. Dos estados brasileiros, Minas Gerais é o maior produtor, correspondendo a



50% da produção total do país. Hoje no Brasil, estima-se que 80,7% do total da área cultivada sejam de café arábica, o que gira em torno de 1,74 milhões de hectares. Porém, estima-se que ocorra um aumento de 10,3% na área em formação devido à bionalidade negativa do café, período em que ocorre baixa produtividade e, assim, os produtores optam por melhorar a lavoura dando ênfase às áreas mais antigas e de baixa produtividade (CONAB, 2019).

Um dos fatores que afeta negativamente a produção é a incidência de pragas. São três as principais pragas que afetam a cafeicultura brasileira: ferrugem, *Hemileia vastatrix*, bicho mineiro *Perileucoptera coffeella* (Guérin-Meneville) e broca-do-café *Hypothenemus hampei* (Ferrari). Mesmo com existência de outras pragas, estas se tornam as principais por estarem distribuídas de forma ampla na maioria das lavouras. Dentre as pragas citadas, a broca se destaca por penetrar no grão em todos os seus estádios de maturação, o que afeta intensamente sua qualidade (KROHLING *et al.*, 2017).

De acordo com Almeida *et al.* (2003), o controle dessas pragas é feito com o uso de defensivos que eleva consideravelmente o custo de produção devido ao aumento no número de aplicações, que, por consequência, prejudicam o ambiente causando sua contaminação. Além disso, devido às intensas aplicações, as pragas se tornam mais resistentes ao uso dos produtos químicos e a mortalidade de seus inimigos naturais aumenta, tornando seu combate mais difícil (REIS; SOUZA, 1998).

Dentre os produtos químicos usados para controle do inseto está o Endosufan, responsável por 100% de mortalidade nas lavouras. Porém sua aplicação causou problemas sérios à saúde humana e ao ambiente, fazendo com que seu uso fosse proibido nas lavouras brasileiras em 2013 (FERNANDES *et al.*, 2014).

Levando em consideração este cenário, os pesquisadores brasileiros têm se preocupado em fazer o controle das pragas do cafeeiro de forma eficiente e sustentável. Atualmente no mercado biológico, tem-se utilizado o fungo *Beauveria bassiana* Bals. Vuill (Deuteromycota: Hyphomycetes), que se mostrou favorável para controle da broca (VEJA *et al.*, 2009). No entanto, custear este tipo de controle acaba se tornando inviável, pois o índice de mortalidade que este produto causa se encontra abaixo do nível de dano econômico, fazendo com que seu valor se encontre equivalente ao benefício que se espera utilizando-o (NEVES; HIROSE, 2005).

Segundo Alencar (2015), as bactérias do gênero *Bacillus* têm ganhado grande espaço no âmbito do controle biológico por auxiliar na diminuição de pragas em muitas culturas. Como esse gênero de bactérias atua bem no controle de lepidópteros utilizando o *Bacillus thuringiensis*, elas podem também se tornar eficazes para controlar a *Hypothenemus hampei*, que pertence à ordem das Coleoptera, família das Scolytidae.

O café é uma cultura de agregado valor e importante para o mercado brasileiro. Contudo, alguns fatores como clima, temperatura, incidência de chuvas e umidade, bem como microrganismos e insetos podem influenciar negativamente na produtividade. Entre os fatores bióticos que prejudicam o cafeeiro, destaca-se a broca do café, causando grandes perdas por danificar a qualidade do grão.

Fica evidente a necessidade de pesquisas voltadas ao controle de *Hypothenemus hampei*, com objetivo de conhecer melhor seus hábitos e proporcionar um controle mais eficiente. O uso de novas cepas à base de *Bacillus* sp no controle da broca do café se torna

necessário por possibilitar modernas formas no manejo do inseto, fazendo com que a qualidade do grão melhore, elevando a qualidade do produto.

O presente trabalho teve como objetivo comparar e avaliar o potencial do uso de produtos químicos, produtos biológicos e produtos à base de *Bacillus* spp extraídos de solos da região do Alto Paranaíba (MG), na mortalidade de *Hypothenemus hampei*.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Genética e Biotecnologia (GENEB), do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM). Os insetos foram obtidos por meio da coleta de grãos brocados na Fazenda São Lourenço, localizada em Patos de Minas, região do Alto Paranaíba, Minas Gerais.

Esta lavoura produz grãos da linhagem IAC 99, pertencentes à variedade Catuaí Vermelho, que foram plantados com o espaçamento de um metro entre plantas e quatro metros entre linhas, resultando em um total de 2.500 plantas ha<sup>-1</sup>.

Foram colhidos os grãos que apresentaram a incidência de broca, independentemente do estágio de maturação. Após a colheita, eles foram imersos em uma solução de hipoclorito de sódio a 5% por um minuto. Esse processo de esterilização impede que microrganismos indesejáveis se propaguem posteriormente. Após esse processo, os grãos foram lavados em água corrente por cinco minutos retirando por completo a solução (HIROSE; NEVES, 2002). Para retirar as brocas, os grãos foram abertos manualmente com o bisturi.

O experimento foi instalado em uma sala com temperatura controlada entre 26 ± 2° C e umidade relativa de 60 ± 10%. Para alimentar os insetos, desenvolveu-se a dieta artificial 140 (VILLACORTA; BARRERA, 1993), como descrita na Tabela 1.

**Tabela 1:** Composição da dieta artificial utilizada para a criação de *H. hampei*

Ingredientes	Quantidade
Pó de café	100,0 g
Caseína	20,0 g
Ágar Bacteriológico	21,0 g
Açúcar	12,0 g
Levedura de torula	20,0 g
Nipagim	1,0 g
Sorbato de K	1,0 g
Etanol	10,0 mL
Formaldeído	2,0 mL
Água deionizada	650 mL

Fonte: Villacorta; Barrera, 1993.

Esta dieta foi distribuída em placas de Petri de vidro transparente, com 78,5 cm<sup>2</sup>, sendo estas autoclavadas por 20 minutos a 120°C, esterilizando o recipiente de qualquer microrganismo. Em cada placa, foram colocadas 5 brocas e 2 tabletes de dieta, cada um com dois cm<sup>2</sup>.

Para preparar a solução do fungo, utilizou-se um produto comercial, que possui como base *B. bassiana*. Esse produto foi misturado em 300 mL de água destilada e levado ao agitador magnético até ser diluído completamente.

As bactérias do gênero *Bacillus* foram obtidas do acervo do próprio laboratório. Para o seu crescimento, utilizou-se do meio de cultura Lb Broth Miller (7,5g), diluído também em 300 mL de água destilada utilizando o agitador magnético. Posteriormente, com o auxílio de um pipetador, pipetou-se 1 mL de bactérias em 50 mL da solução e colocados em erlenmeyer, seguindo para a mesa agitadora na velocidade de 50 rotações por minuto (rpm) por 24 h.

O princípio ativo de Clorpirifós deverá ser diluído em 300 mL de água destilada nas proporções de 1,0 L ha<sup>-1</sup>, de acordo com o indicado na bula do produto.

As dietas receberam 0,5 mL do total de cada solução, sendo essa medida distribuída igualmente em 0,25 mL em cada tablete por placa, de acordo com cada tratamento. Após a montagem das placas e o preparo das dietas com as respectivas soluções, as unidades experimentais receberam cinco brocas e posteriormente foram fechadas com um filme plástico e, em seguida, envolvidas em papel alumínio para que assim não ocorresse a incidência de luz.

O experimento foi composto por oito tratamentos e quatro repetições, totalizando 32 parcelas (Tabela 2). O delineamento experimental utilizado foi o delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC).

**Tabela 2:** Representação dos tratamentos, Patos de Minas, MG, 2019

Tratamentos	Descrição
T1	Controle (Água destilada)
T2	<i>Beauveria bassiana</i>
T3	Clorpirifós
T4	Cepa de <i>Bacillus</i> spp 1
T5	Cepa de <i>Bacillus</i> spp 2
T6	Cepa de <i>Bacillus</i> spp 3
T7	Cepa de <i>Bacillus</i> spp 4
T8	Cepa de <i>Bacillus</i> spp 5

Fonte: elaborada pelos autores, 2020.

Após a montagem do experimento, a análise de mortalidade foi feita a cada três dias durante um período de 12 dias. Nos dias de avaliação, uma placa de cada tratamento foi aberta para contabilizar o número de brocas mortas. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANAVA) e as médias foram comparadas no teste Tukey a 5% de probabilidade.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estão apresentados na Tabela 3 os resultados do experimento conduzido no período de 12 dias. Nota-se que o tratamento à base de Clorpirifós, a cepa de *Bacillus* spp 2 e o produto à base de *Beauveria bassiana* obtiveram resultado satisfatório por

ocasionarem maior mortalidade da broca-do-café quando comparados com os demais tratamentos.

As médias dos tratamentos Clorpirifós, *Bacillus* spp 5 e *B. bassiana* não se diferenciam entre si estatisticamente. Em relação aos demais tratamentos, nota-se que a porcentagem de mortalidade é menor que 70%.

**Tabela 3:** Mortalidade (%) causada na broca-do-café por produtos químicos e biológicos, Patos de Minas, MG, 2019

Tratamentos	Mortalidade (%)
Clorpirifós	100 a
Cepa <i>Bacillus</i> spp 2	80 ab
<i>Beauveria bassiana</i>	75 abc
Cepa <i>Bacillus</i> spp 3	65 bc
Cepa <i>Bacillus</i> spp 1	50 cd
Cepa <i>Bacillus</i> spp 4	35 de
Cepa <i>Bacillus</i> spp 5	15 e
Água destilada	10 e

CV.: 19,26%. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ).

Fonte: dados da pesquisa, 2020.

Segundo Mota (2017), foi alcançado até 80% de mortalidade de *H. hampei* quando testadas armadilhas de autoinoculação contendo *B. bassiana*. Outros autores como Santinato *et al.* (2017) e Ono, Camargo e Hass (2017) testaram a aplicabilidade do fungo sobre a broca-do-café e consideraram eficácia desse produto de 89 a 93%, e 68%, respectivamente.

No presente trabalho, a mortalidade obtida com o uso do fungo foi de 75%, o que corresponde a um valor superior ao encontrado por Ono, Camargo e Hass (2017), tornando o resultado obtido equivalente aos previamente citados.

As cepas de *Bacillus* spp 3, 1, 4 e 5 apresentaram respectivamente 65, 50, 35 e 15% de mortalidade ao fim do experimento. Em relação às cepas de *Bacillus* spp 1, 4 e 5, apenas a mortalidade encontrada na cepa 1 chegou a atingir 50% no período de condução. Alencar (2015), que desenvolveu um estudo com a finalidade de testar o controle de *Alphitobius diaperinus* (COLEÓPTERA: TENEBRIONIDAE) submetido a subespécies de *Bacillus thuringiensis*, obteve mortalidade igual a 55%. De acordo com o autor, os resultados mostrados em seu experimento são insignificantes, o que torna, portanto, as mortalidades encontradas nas cepas 1, 4 e 5 irrelevantes.

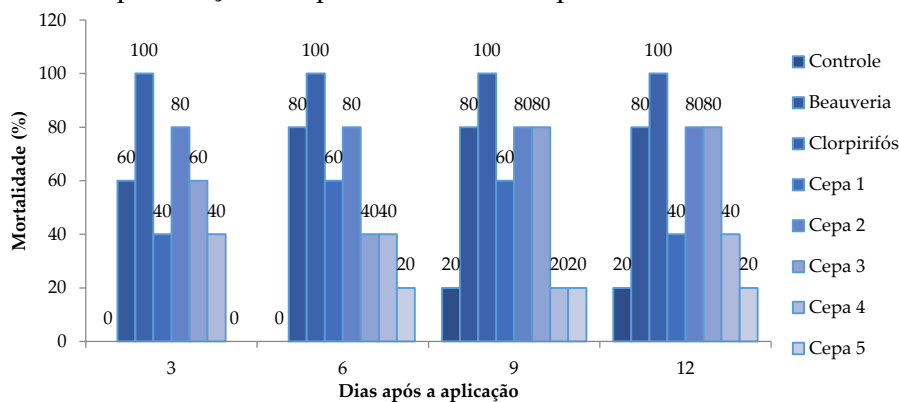
A respeito da cepa 3, a mortalidade obtida foi de 65% nos 12 dias de condução. Estudo desenvolvido por Alves (2011), em bioensaio utilizando *B. thuringiensis* para a mortalidade de coleópteros como o bicudo do algodoeiro e a broca do café, a mortalidade ideal considerada ideal foi acima de 70%. Ainda considerando os dados encontrados pelos pesquisadores citados anteriormente, a cepa de *Bacillus* spp 2 apresentou potencial de mortalidade superior a 70%, sendo mais eficaz que as demais cepas se comparando aos produtos com o princípio de Clorpirifós e o biológico à base do fungo *B. bassiana*.

De acordo com o estudo proposto por Martins (2009), que avaliou a mortalidade de *Anthonomus grandis* (bicudo-do-algodoeiro), COLEÓPTERO CURCULIONIDAE,

aplicando as dietas artificiais destas insetos estirpes de *B. thuringiensis*, foram encontrados 100, 95 e 88% de mortalidade em três isolados de Bt. (ZORZETTI, 2015). Além disso, ao se analisarem 34 isolados de *B.thuringiensis*, 12 estirpes se destacaram sendo consideradas como eficazes e tóxicas quando usadas para o controle de *A. grandis* e *H. hampei*, obtendo-se mortalidades que variaram entre 96% a 100% Dessa forma, surgem novos cenários em relação ao uso dessas bactérias no mercado de produtos biológicos. As bactérias do gênero *Bacillus* têm como característica grande capacidade de formar esporos, o que é favorável para a produção de produtos em escala comercial. Apesar de este gênero apresentar grande variação de características, muitas espécies são consideradas potenciais para o controle de insetos. Com a formação dos esporos, são produzidos antibióticos capazes de se multiplicarem no interior do inseto, causando graves infecções levando-os à morte. O efeito de mortalidade nas brocas que foi proporcionado por *Bacillus* spp. pode ser variável entre as famílias dos Coleópteros. A justificativa pode estar relacionada à espécie de inseto, características de virulência de cada bactéria e o efeito proporcionado pelo antibiótico em cada indivíduo (ANDRADE; HABIB, 1986; MENDELECK, 1993; PAGNO, 2009; ALENCAR, 2015).

Quando analisado o tempo de ação do produto (Figura 1), o tratamento com o princípio de Clorpirifós atingiu o auge da mortalidade das brocas nos primeiros três dias logo após a montagem do experimento. O fungo *Beauveria bassiana* e as cepas de *Bacillus* spp 2 e 3 apresentaram valores aproximados nos três primeiros dias após a aplicação. A mortalidade das brocas evoluiu aos 6 dias para o tratamento com *B. bassiana* e cepa de *Bacillus* 2, porém houve uma redução para a cepa de *Bacillus* 3. Ao nono dia de condução, a mortalidade nos três tratamentos citados se estabilizou. Não ocorreu mortalidade significativa nas cepas de *Bacillus* spp 1, 4 e 5. Estes tratamentos apresentaram estabilidade na mortalidade no sexto dia, sendo que as cepas 1 e 4 apresentaram queda na mortalidade no nono dia de condução. Contudo, a cepa de *Bacillus* spp 5 apresentou baixa mortalidade e se estabilizou no sexto dia de condução. O fungo *Beauveria bassiana* atingiu valores semelhantes de mortalidade em relação às cepas de *Bacillus* 2. Após 6 dias, o fungo controlou 80% das brocas apresentando grande eficiência quando comparada estatisticamente ao produto comercial Clorpirifós e a cepa de *Bacillus* spp 2.

**Figura 1:** Tempo de ação dos produtos testados para o controle da broca-do-café



Fonte: dados da pesquisa, 2020.

O fungo *B. bassiana* se caracteriza como um inseticida biológico de contato. Após entrar em contato com o inseto, os conídios do fungo penetram na cutícula do inseto através de uma combinação de pressão enzimática. Ao longo do processo de infecção, ocorre a liberação de toxinas no interior dos insetos responsáveis pelos danos nos hospedeiros. A morte do inseto ocorre devido à digestão de tecidos internos e pela ação de micotoxinas que são lançadas na hemolinfa do inseto (STURMER *et al.*, 2015).

#### 4 CONCLUSÃO

Concluiu-se que o tratamento à base de Clorpirifós, de *Bacillus* spp 2 e de *Beauveria bassiana* são mais eficazes para o controle do inseto por ocasionarem maior mortalidade quando comparados com demais tratamentos.

#### REFERÊNCIAS

- ALENCAR, R. V. de. **Associação de pós vegetais e *Bacillus thuringiensis* para o controle de *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae)**. 2015. 56 f. (Dissertação de Mestrado em Zootecnia – Área de Concentração: Produção e Nutrição Animal) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2015.
- ALMEIDA, J. E. M. *et al.* Avaliação da compatibilidade de defensivos agrícolas na conservação de microrganismos entomopatogênicos no manejo de pragas do cafeeiro. **Arq. Inst. Biol.**, São Paulo, v. 70, n. 1, p. 79-84, jan./mar. 2003.
- ALVES, M. de C. **Identificação e caracterização de genes cry3, vip1, vip2 E vip1/vip2 em isolados de *Bacillus thuringiensis* e toxicidade em larvas de *Anthonomus grandis* (Boheman, 1883) (Coleoptera: Curculionidae)**. 2011. 83 f. (Dissertação de Mestrado em Agronomia – Área de Concentração: Genética e Melhoramento de Plantas) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Jaboticabal, 2011.
- ANDRADE, C. F. S.; HABIB, M. E. M. Bactérias Entomopatogênicas. *In*: ALVES, S. B. *et al.* **Controle microbiano de insetos**. São Paulo: Manole, 1986. cap. 7, p. 127-170.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Café**, v. 6 – Safra 2019, n. 1, jan. 2019 – Primeiro Levantamento, Brasília, p. 1-62, 2019. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe>.
- CURE, J. R. *et al.* Fenologia e dinâmica populacional da broca do café *Hypothenemus hampei* (Ferr.) relacionadas às fases de desenvolvimento do fruto. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 27, n. 3. Londrina, set. 1998.
- FERNANDES, F. L. *et al.* Controle massal da broca-do-café com armadilhas de garrafa Pet vermelha em cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, n. 8, p. 587-594, 2014.

HIROSE, E.; NEVES, P. M. O. J. Técnica para criação e manutenção da broca-do-café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae), em laboratório. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 1, n. 31, p. 161-164, fev. 2002.

KROHLING, C. A. *et al.* Controle da broca-do-café com o inseticida verismo® em café arábica. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 43, 2017, Poços de Caldas. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2017. 1-3 p.

MARTINS, E. S. **Estudo da atividade de proteínas Cry, derivadas de *Bacillus thuringiensis* ativas para inseto-praga do algodoeiro.** 2009. 158 f. (Tese de Pós-Graduação em Biologia Molecular) – Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

MENDELECK, E. **Patologia e alterações histológicas causadas por *Bacillus thuringiensis* var. *tenebrionis* em cinco coleópteros pragas de cereais armazenados.** 1993. 116 F. Tese de Mestrado em ciências biológicas. UNICAMP, Campinas, 1993.

MOTA, L. H. C. **Estratégias de utilização de *Beauveria bassiana* (Hypocreales: Cordycipitaceae) para o manejo de *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae).** 2017. 117 f. (Tese de Doutorado em Ciências – Área de Concentração: Entomologia) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2017.

NEVES, P. M. O. J.; HIROSE, E. Seleção de isolados de *Beauveria bassiana* para o controle da broca-do-café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 34, n. 1, p. 77-82, 2005.

ONO, E. K.; CAMARGO, S. L. F.; HASS, A. Eficiência do inseticida Trebon 100 SC (Etofenproxi 100 g/L) em associação a formulação de enxofre elementar ou *Beauveria bassiana* no controle da broca do café (*Hypothenemus hampei*). *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 43., 2017, Poços de Caldas. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2017. p. 1-2

PAGNO, R. S. **Avaliação do potencial antagônico de isolados de *Bacillus* spp no controle de fungos fitopatogênicos, causadores de podridões no período pós-colheita da maçã.** Dissertação de Mestrado em Biotecnologia. Universidade de Caxias do Sul. Caxias do Sul, 2009.

REIS, P. R.; SOUZA, J. C. Manejo integrado das pragas do cafeeiro em Minas Gerais. **Inf. Agropecu.**, Belo Horizonte, v. 19, p. 17-25, 1998.

SANTINATO, R. *et al.* *Beauveria bassiana* koopert aplicada em lavoura de café, na ausência de fungicidas, para controle da broca do café, nas condições de sul de Minas e cerrado. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 43., 2017, Serra Negra. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2017. p. 1-2.

STURMER, A. T. *et al.* Estabilidade de proteases produzidas pelo fungo entomopatogênico *Beauveria bassiana*. **Journal of Health Sciences**, [S. l.], v. 5/6, n. 1, p. 85-88, 2015.

VILLACORTA, A.; BARRERA, J. F. Nova dieta merídica para criação de *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae). **Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 22, n. 2, p. 405-409, 1993.

ZORZETTI, J. **Seleção e caracterização morfológica e molecular de isolados de *Bacillus thuringiensis* virulentos a *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae)**. 2015. 97 f. (Tese de Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2015.



# Controle de nematoides na cultura do pimentão

*Control of nematoids in bell pepper culture*

ARTHUR CAIXETA GOMES

Discente do curso de Agronomia (UNIPAM)

E-mail: arthurcg@unipam.edu.br

AMANDA MOREIRA VINHAL PIRES

Discente do curso de Agronomia (UNIPAM)

E-mail: amandamvinhal@gmail.com

DIEGO HENRIQUE DA MOTA

Professor orientador (UNIPAM)

E-mail: diegoh@unipam.edu.br

---

**Resumo:** O Pimentão (*Capsicum annuum*) tem seu lugar bem fixado no mercado agrícola no Brasil e no mundo, o que é demonstrado pela série de pratos em que ele se faz presente. Assim, entende-se o quão é necessário que seu cultivo aconteça da maneira mais fluida e natural possível, sem que pragas como o nematoide (*Meloidogyne incognita*) atrapalhem suas lavouras. Partindo desse ponto, vê-se o quanto é importante que se tenham estudos e experimentos que demonstrem maneiras eficazes de se controlarem esses patógenos. No presente trabalho, buscou-se demonstrar, de maneira comparativa, alternativas viáveis para o controle do nematoide, por meio de dois tratamentos: nematicida à base do ativo Flensulfona - T2, e rotação de cultura utilizando a cultivar Mucuna-preta (*Mucuna aterrima*) - T3, além do tratamento controle - T1. As avaliações foram realizadas 60 dias após a emergência das plântulas. Foram avaliadas as quantidades de ovos presentes nas raízes e nos substratos. Foi utilizado delineamento em blocos casualizados com três tratamentos e oito repetições, e cada parcela experimental foi composta por quatro plantas. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância a 5% de significância, e as médias ajustadas ao modelo de regressão com auxílio do programa estatístico SISVAR. Em relação aos parâmetros avaliados, todos foram significativos. Os tratamentos T2 (Nematicida) e T3 (Mucuna-preta) não demonstraram variação significativa, estatisticamente falando, e ambos apresentaram eficiência em relação ao controle de nematoides na cultura do Pimentão. Pode-se concluir que o uso de tais métodos no combate à *M. incognita* se mostra eficaz.

**Palavras-chave:** *Capsicum annuum*. Controle. *Meloidogyne incognita*. Pimentão.

**Abstract:** The Bell Pepper (*Capsicum annuum*) has a well-established place in the agricultural market in Brazil and in the world, which is demonstrated by the series of dishes in which it is present. Thus, it is understood how necessary it is for its cultivation to happen in the most fluid and natural way possible, without pests such as the nematode (*Meloidogyne incognita*) interfering with the crops. From this point on, we see how important it is to have studies and experiments that demonstrate effective ways to control these pathogens. In the present work, we sought to demonstrate, in a comparative way, viable alternatives for the control of the nematode, through two treatments: nematicide based on the active Flensulfone - T2, and crop rotation using the cultivar Mucuna-preta (*Mucuna aterrima*) - T3, in addition to the control treatment - T1. In

addition, of course, the control treatment - T1. The evaluations were carried out 60 days after seedling emergence. The quantities of eggs present in the roots and in the substrates were evaluated. A randomized block design with three treatments and eight replications was used, and each experimental plot was composed of four plants. The data obtained were subjected to analysis of variance at 5% significance, and the means were adjusted to the regression model using the SISVAR statistical program. Among the evaluated parameters, all were significant. Treatments T2 (Nematicida) and T3 (Mucuna-preta) showed no significant variation, statistically speaking, and both showed efficiency in relation to the control of nematodes in the pepper crop. It can be concluded that the use of such methods in the fight against *M. incognita* is effective.

**Keywords:** Bell Pepper. *Capsicum annuum*. Control. *Meloidogyne incognita*.

---

## 1 INTRODUÇÃO

O Pimentão pertence a um grupo de cultivares da espécie *Capsicum annuum*, muito utilizado na culinária de todo o mundo. Essa cultivar produz frutos com diferentes cores sendo as mais conhecidas o verde, o amarelo e o vermelho. Porém, existem outras variedades bastante exóticas, como o branco, o roxo, o azulado, o preto e o laranja. Essa hortaliça é um alimento muito apreciado, sendo rico em vitaminas e sais minerais. Na escala de Scoville, que faz referência ao grau de ardência de pimentas, o pimentão tem valor zero.

Ele é atualmente um dos vegetais mais consumidos do planeta, tornando-se cada dia mais popular. Do ponto de vista econômico, está entre as dez hortaliças mais importantes do mercado brasileiro (MARCUSI; BÔAS, 2003). Com esse aumento na produção, são utilizados mais hectares plantados dessa cultura, conseqüentemente surgem mais pragas atacando-a, diminuindo assim sua capacidade máxima de colheita. A produtividade do pimentão cultivado em campo fica em torno de 25 a 40 toneladas por hectare e em cultivo protegido chega a 180 toneladas por hectares. (MATOS *et al.*, 2011).

Apesar de sua elevada produção na agricultura brasileira, o cultivo do Pimentão enfrenta uma variedade bem extensa de pragas e doenças capazes de afetar sua produtividade, e não há dúvidas de que os nematoides estão entre as pragas mais comuns e impactantes dessa cultura. Responsáveis por perdas expressivas na produção agrícola e prejuízos milionários aos produtores, os nematoides podem ser encontrados nas mais diversas culturas, com elevado potencial em afetar diretamente a produtividade no campo. Por isso, é fundamental conhecer melhor o que são nematoides, os sintomas que indicam sua presença nas lavouras e as principais formas de combate a essa praga.

Os nematoides são vermes parasitas de plantas, que medem de 0,3 a três milímetros de comprimento, e possuem o corpo em formato cilíndrico, geralmente alongado e com as extremidades afiladas. Eles são capazes de viver em qualquer ambiente que tenha disponibilidade de água e mostram-se extremamente sensíveis à falta deste recurso e a temperaturas extremas. Entretanto, há espécies de nematoides que conseguem resistir ao estresse hídrico durante meses ou anos.

Esses vermes possuem variadas formas de adaptação a mudanças que ocorrem no ambiente, causadas por diversos fatores, entre os quais o manejo dos cultivos, estresse

climático, época de plantio, fisiologia das plantas e melhoramento genético (BLAKELY *et al.*, 2002). Devido a isso, tem-se tornado, a cada dia, mais difícil realizar o controle desses parasitas. A espécie de nematoides das galhas tem sido combatida através do uso de diversas táticas, como a química, a física, a biológica, a mecânica, a cultural, etc. (CAMPOS *et al.*, 2001). O controle químico é muitas vezes utilizado no controle de nematoides das galhas, porém os produtos químicos são altamente tóxicos e de longo efeito residual, considerando que as cultivares disponíveis no mercado apresentam ciclo relativamente curto (WILCKEN *et al.*, 2005).

Os danos que podem ser percebidos pela ação desses organismos, quando em densidade populacional alta, são o nanismo e murchação das plantas e pouco desenvolvimento do tubérculo, afetando significativamente a produção. No local da raiz onde o nematoide penetra e a partir de onde começa a alimentar-se, ocorre a formação de células gigantes, ou seja, aumento de tamanho (hipertrofia) e multiplicação de células (hiperplasia). Observa-se, então, a formação de galhas de variados tamanhos. Quando a infestação é severa, os tubérculos são menores e ocorre baixa produção. O sistema radicular torna-se ineficiente na absorção de água e nutrientes, afetando o crescimento e desenvolvimento das plantas.

O cultivo com cobertura de solo, não só na cultura do pimentão, tem apresentado uma série de vantagens, como aumento de produtividade, melhora na qualidade dos frutos, diminuição da sazonalidade da oferta, melhor aproveitamento dos fatores de produção, principalmente adubos, defensivos e água (MARTINS, 2003). Em decorrência desse fato é que o presente trabalho deseja estimar a capacidade de resposta que uma planta de cobertura, a leguminosa *Mucuna-preta*, tem de neutralizar os nematoides de um solo contaminado. A Seção de Conservação do Solo, do Instituto Agrônomo de Campinas, demonstrou a importância dessa prática de rotação de cultura, não só na produtividade das culturas produtivas como também no controle da erosão (BERTONI; LOMBARDI-NETO 1990).

Dentre as estratégias de manejo, a utilização de resistência é, sem dúvida, uma das alternativas mais desejáveis, considerando que é compatível com outras práticas de manejo e não é prejudicial ao ambiente (FANCELLI, 2003).

Em pesquisa publicada na Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campos *et al.* (1995) constataram o efeito benéfico da rotação de culturas para seu rendimento. Além disso, estudos nos quais se aplicaram nematicidas no plantio de diversas variedades constataram que esses produtos contribuíram para aumentos significativos de produtividade agrícola da cultura em solos infestados por nematoides (DINARDO-MIRANDA *et al.*, 2001).

Nos últimos cem anos, as práticas utilizadas para se obterem cultivos sadios têm se baseado na utilização de material de plantio sadio, isento de patógenos; utilização de área isenta de patógenos, com adequada fertilização; alta qualidade de água para irrigação e emprego de práticas de manejo protetoras e preventivas, como utilização de variedades resistentes e pulverizações periódicas, impedindo o desenvolvimento de possíveis pragas (COOK, 2000).

Tem-se conhecimento da alta importância da horticultura para nossa região e para o Brasil, em especial, da cultura do Pimentão, que tem um mercado bastante inflado. Diante de problemas que o produtor possa vir a ter, o presente trabalho

objetivou estimar, por métodos comparativos, a capacidade de reação do solo contra esses vermes, com a ação de um nematicida microbiológico feito à base do princípio ativo Fluensulfona e de uma leguminosa Mucuna-preta (*Mucuna aterrima*), resistente aos danos causados pelos nematoides, realizando-se a rotação de cultura com esta.

## 2 METODOLOGIA

O experimento foi realizado por meio de pesquisas de campo e conduzido na estufa da Fazenda Santa Cecília, situada no município de Carmo do Paranaíba – MG. Serviu para medir a capacidade de reação do solo contaminado por nematoides, em contato com dois tratamentos, o uso de um nematicida microbiológico e a realização de uma rotação de cultura com uma planta de cobertura que é resistente ao verme.

O solo utilizado neste trabalho consistiu em um substrato preparado com solo e areia lavada em proporção 2:1. Todo esse substrato foi esterilizado em autoclave por duas horas, a 127 °C e 1,5 atm. Após isso, ele foi colocado em 24 vasos; em seguida, fez-se a deposição de cerca de 5.000 ovos de *M. incognita* (nematoides), com auxílio de uma micropipeta, em cada um deles. Os solos ficaram em processo de descanso, para a melhor adaptação dos nematoides no ambiente.

Dois dias depois, foi efetuada a semeadura do Pimentão (*Capsicum annuum*) em 16 vasos e da leguminosa Mucuna-preta (*Mucuna aterrima*) nos oito vasos restantes. Sendo assim, o trabalho teve os seguintes tratamentos:

**Tabela 1:** Descrição dos tratamentos, UNIPAM, Patos de Minas, MG

	Tratamento	Descrição
T <sub>1</sub>	Controle	Testemunha
T <sub>2</sub>	Nematicida	Fluensulfona
T <sub>3</sub>	Rotação de Cultura	Mucuna-preta

Fonte: dados da pesquisa.

Para se entender melhor cada um deles, segue detalhamento:

1. controle, sem qualquer intervenção humana, dos nematoides;
2. tratamento das sementes de pimentão com um nematicida à base do princípio ativo Fluensulfona, realizado no Laboratório de Análise de Sementes do Centro Universitário de Patos de Minas – UNIPAM; posteriormente, essas sementes vieram a ser plantadas nos vasos, contaminados pelos vermes;
3. rotação de cultura realizando o plantio da Mucuna-preta, que é tolerante e combatente aos nematoides, semeada no local de infestação dos vermes; após isso, plantou-se o pimentão.

Cada tratamento contou com oito repetições, totalizando os 24 vasos.

As plantas de Mucuna-preta foram retiradas do local após 60 dias do plantio e deram espaço a um novo semeio de Pimentão. Estimaram-se os benefícios que essa planta traria para o solo, diminuindo ou até extinguindo a população de nematoides do local. Esse novo semeio foi realizado apenas nos oito vasos onde inicialmente foram plantadas as sementes de Mucuna. Sessenta dias depois, elas foram submetidas às mesmas avaliações; por métodos comparativos, estimaram-se as melhores alternativas,

dentre as analisadas, para o controle dessa praga que tanto prejudica a produção nacional de hortaliças.

O método de análise realizado consistiu na trituração das raízes, durante 20 segundos, com uma solução de sódio a meio por cento de concentração. Após isso, a solução foi jogada em uma peneira 500 mesh; junto a isso, foi adicionada água corrente. A solução foi transferida para tubos que continham água destilada, para centrifugação por quatro minutos, a 1.800 RPM. Depois de mais quatro minutos, descartou-se o líquido superficial dos tubos, completando a solução que ficou no fundo dos tubos com outra solução de sacarose na proporção de 454 gramas de açúcar para um litro de água, encaminhando novamente para centrífuga durante um período de um minuto na mesma velocidade. Completando-se esse tempo, a solução superficial novamente foi despejada sobre uma peneira de mesmo calibre, sendo lavada, em seguida, com água destilada, para a retirada da sacarose, direcionando-se a solução restante da peneira para um Becker, com o auxílio de uma pipeta.

Para análise do solo, coletaram-se cem centímetros cúbicos de solo do substrato de cada vaso, que foram misturados em dois litros de água normal, com o auxílio de um balde. Quando a solução estava homogênea, aguardou-se mais um minuto para que houvesse a decantação. Após esse estágio, toda a solução superficial foi passada por uma peneira de 20 mesh junto à outra de 400 mesh, adicionando-se também água corrente. O mesmo processo foi utilizado para a extração das raízes. Após a retirada de todos os ovos de cada tratamento, foi contabilizado o número de ovos por sistema radicular e do solo, usando-se um microscópio. Em seguida, foi calculado o fator de reprodução, que era a variável que se buscava. Os resultados obtidos foram aplicados à análise de variância estatística e ao teste de Scott-Knott, a cinco por cento de probabilidade.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tendo em vista os resultados que o experimento apresentou, foi possível observar que tanto o Nematicida à base do ativo Fluensulfona, quanto a rotação de cultura feita com a cultivar Mucuna-preta foram tolerantes à *M. incógnita*. Eles não se diferenciaram estatisticamente entre si, porém se diferenciaram bastante do tratamento Controle, que foi feito sem nenhuma intervenção à praga. Isso é amplamente visível quando se observa o Coeficiente de Variação (CV), constado na Tabela 2, o qual representou uma taxa de cinquenta e três por cento. Considerando-se que o fator de reprodução (FR) representou, em todos os tratamentos, um valor acima de um (também constado na Tabela 2) e levando-se em consideração aquilo que já falava Oostenbrink (1966) com referência à sua escala, entende-se que todas as cultivares são consideradas resistentes.

**Tabela 2:** Fator de reprodução (FR), quantidade de ovos constatados nas raízes e no substrato. Patos de Minas-MG, 2020

Tratamentos	Raízes	Substrato	Fator de Reprodução (FR)
T1	191.032	272.400	54.17 b
T2	27.100	98.420	21.94 a
T3	34.650	111.710	25.18 a
CV(%)= 53%			

Fonte: dados da pesquisa.

Levando-se isso em consideração, percebe-se que a cultivar *Capsicum annuum* em si não mostra nenhuma força contra o patógeno, mas, quando associada a algum tipo de intervenção reativa ao mesmo, seu cultivo pode ser feito sem muitas perdas em produtividade.

Dias Neto (2014) relatou que o produto com Fluensulfona reduziu em 55% o número de nematoides na raiz. Araújo Neto (2018) verificou também que esse produto apresentou diferença significativa, diminuindo a população de *M. incognita* em raiz. Confirmam-se, assim, os resultados encontrados neste experimento para o tratamento dois (T2). De forma semelhante, Costa (2015), desenvolvendo trabalhos de rotação de cultura para controle de nematoides, observou que sua população foi reduzida na raiz em níveis consideráveis em até 45 dias após a inoculação, o que reafirma aquilo que se visualizou com os resultados obtidos com o tratamento três (T3).

Levando-se mais uma vez em consideração a importância da horticultura no Brasil e entendendo-se a força que o mercado da cultura do Pimentão (*Capsicum annuum*) tem, é de extrema importância que trabalhos como este, os quais demonstram alternativas viáveis para o controle de patógenos como o nematoide (*Meloidogyne incognita*), sejam feitos e apresentem soluções que ajudem a manter as expectativas de produtividade preestabelecidas pelo produtor.

#### 4 CONCLUSÃO

Conclui-se que os tratamentos utilizados neste experimento afetaram, de forma eficiente, a colonização da raiz pelos nematoides, demonstrando serem alternativas viáveis para o combate de tais vermes. Não houve diferença estatística entre os tratamentos T2 e T3, porém o controle químico se mostra um pouco mais eficaz.

#### REFERÊNCIAS

ARAÚJO NETO, J. L. A. **Efeito do uso de nematicidas biológicos no controle de *Pratylenchus brachyurus* na cultura de soja no leste maranhense.** 2018. 28f. Monografia (Bacharelado em Agronomia) Universidade Federal do Maranhão, Centro de Ciências Agrárias e Ambientais, Chapadinha, 2018.

BERTONI, J.; LOMBARDI-NETO, F. **Conservação do solo.** São Paulo: Ícone, 1990.

- BLAKELY, J. K.; NEHER, D. A.; SPONGBERG, A. L. Soil invertebrate and microbial communities, and decomposition as indicators of polycyclic aromatic hydrocarbon contamination. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 21, p. 71–88, 2002.
- CAMPOS, B. C. *et al.* Estabilidade estrutural de um latossolo vermelho-escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, p. 121-126, 1995.
- CAMPOS, V. P. *et al.* Manejo de nematoides em hortaliças. *In*: SILVA, L. H. C. P.; CAMPOS, J. R.; NOJOSA, G. B. A. **Manejo integrado: doenças e pragas em hortaliças**. Lavras: UFLA, 2001. p. 125-158.
- COOK, R. J. Advances on plant healthy management in the twentieth century. **Annual Review Phytopathology**, Palo Alto, v. 38, p. 95-116, 2000.
- COSTA, M. A. **Biocontrole de nematoides com fungos**. 2015. 44 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2015.
- DIAS, W. A. *et al.* Nematoides em soja: identificação e controle. **Circular Técnica**. Londrina: Embrapa, 2010.
- DIAS NETO, J. A. **Associação e compatibilidade de produtos químicos e os fungos *Trichoderma 18 harzianum* e *Paecilomyces lilacinus* no manejo de fitonematoides na cultura da soja**. 2014. 81 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Chapadão do Sul, 2014.
- DINARDO-MIRANDA, L. L. *et al.* Efeitos da interação entre nematicidas e herbicidas em cana-de-açúcar. **Nematologia Brasileira**, v. 25, p. 197-203, 2001.
- FANCELLI, M. Resistência e alternativas de controle de pragas. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE BANANICULTURA, 5., WORKSHOP DO GENOMA MUSA, 1., 2003. Paracatu. **Anais [...]**. Cruz das Almas: Gráfica e Editora Nova Civilização, 2003. p. 127-133.
- MARCUSSI, F. F. N.; BÔAS, R.L.V. Teores de macronutrientes no desenvolvimento da planta de pimentão sob fertirrigação. **Irriga**, Botucatu, v. 8, n. 2, p. 120-131, 2003.
- MARTINS, G. Cultivo em ambiente protegido: o desafio da plasticultura. *In*: FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2003. cap. 10, p. 138-151.
- MATOS, F. A. C. *et al.* **Pimentão: passo a passo: saiba como cultivar hortaliças para colher bons negócios**. Brasília: Sebrae, 2011. (Agricultura familiar).

OOSTENBRINK, M. Major characteristics of the relation between nematodes and plants. **Mededeligen Landbowhogeschool**, v. 66, p. 3-46, 1966.

RAMOS JÚNIOR, E. U. *et al.* Nematicidas químicos e biológicos no controle do nematoide das lesões radiculares e seu efeito na produtividade da soja em plantio direto. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO NA PALHA, 16., 2018. **Sistema de plantio direto**: entenda os desafios atuais: prepare-se para o futuro. Sorriso, ago. 2018.

WILCKEN S. R. S; GARCIA, M. J. M.; SILVA, N. Resistência de alface do tipo americana à *Meloidogyne incognita* Raça 2. **Nematologia Brasileira**, v. 29, n. 2 p. 267-271, 2004. Disponível em:  
[https://www.researchgate.net/publication/237144128\\_Resistencia\\_de\\_Alfaca\\_do\\_Tipo\\_Americana\\_a\\_Meloidogyne\\_incognita\\_raca\\_2](https://www.researchgate.net/publication/237144128_Resistencia_de_Alfaca_do_Tipo_Americana_a_Meloidogyne_incognita_raca_2).



# Desenvolvimento inicial do cafeeiro submetido a diferentes fontes e doses de fertilizantes fosfatados com tecnologia de liberação

*Initial development of coffee plants subjected to different sources and doses of phosphate fertilizers with release technology*

LUÍS EDUARDO DIAS VAZ

Discente do curso de Agronomia (UNIPAM)

E-mail: [luiseduardo@unipam.edu.br](mailto:luiseduardo@unipam.edu.br)

CARLOS HENRIQUE EITERER DE SOUZA

Docente do curso de Agronomia (UNIPAM)

E-mail: [carloshenrique@unipam.edu.br](mailto:carloshenrique@unipam.edu.br)

---

**Resumo:** Um dos mais relevantes fatores que promove o desenvolvimento das mudas de café é a adubação fosfatada. Diversas estratégias têm sido utilizadas para aumentar a eficiência dessa adubação, com destaque para os fertilizantes com tecnologia de liberação. Objetivou-se, com este trabalho, avaliar o desenvolvimento inicial do cafeeiro submetido a doses e fontes fosfatadas com tecnologias de liberação. O delineamento utilizado foi o DBC, montado em esquema fatorial  $4 \times 4 + 1$ , sendo quatro fontes fosfatadas e quatro doses (40, 80, 160, 320 mg/dm<sup>3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e três repetições. Foram avaliados o fósforo foliar, o volume de raiz, a massa seca da parte aérea, a massa seca das raízes, a altura de planta e o diâmetro de caule. Após 120 dias, concluiu-se que, para todos os parâmetros avaliados, não houve diferença significativa para as fontes, somente para as doses. As variáveis avaliadas apresentaram uma resposta quadrática específica para cada dose.

**Palavras-chave:** *Coffea arabica* L. Fósforo. Quadrática.

**Abstract:** One of the most relevant factors that promote the development of coffee seedlings is phosphate fertilization. Several strategies have been used to increase the efficiency of this fertilization, especially fertilizers with release technology. The objective of this study was to evaluate the initial development of coffee trees submitted to doses and sources of phosphate with release technologies. A DBC design was used in a  $4 \times 4 + 1$  factorial scheme, with four phosphate sources and four doses (40, 80, 160, 320 mg/dm<sup>3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) and three repetitions. Leaf phosphorus, root volume, aboveground dry mass, root dry mass, plant height and stem diameter were evaluated. After 120 days, it was concluded that, for all parameters evaluated, there was no significant difference for the sources, only for the doses. The variables evaluated presented a specific quadratic response for each dose.

**Keywords:** *Coffea arabica* L. Phosphorus. Quadratic.

---

## 1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura se destaca pela sua influência na economia do Brasil e do Mundo (XIMENES, 2006). Essa cultura é geradora de muitos empregos diretos e indiretos (NOGUEIRA *et al.*, 2009), além de ser responsável por boa parte das exportações brasileiras. O Brasil contribui com 24% das exportações mundiais de café, sendo o maior produtor e exportador dessa *commodity* (FURLANI JUNIOR *et al.*, 2007). A área plantada de café arábica (*Coffea arábica* L.) nessa safra no país gira em torno de 1.806,6 mil hectares, com estimativa de produtividade para o ano de 2021, com ciclo de bialidade negativa, de 23 scs/ha. (CONAB, 2021).

Segundo a Embrapa Solos (2002), os solos brasileiros, em geral, apresentam baixa fertilidade natural. Aliada à alta produtividade, faz-se necessária a reposição dos nutrientes exportados pela cultura do café (EFFGEN *et al.*, 2008). Um desses nutrientes é o Fósforo (P), elemento de grande importância para o metabolismo das plantas, sendo requisitado principalmente nas fases iniciais do ciclo de vida dos vegetais (NOVAIS *et al.*, 2007). A grande resposta das plantas à nutrição fosfatada no estágio inicial pode estar relacionada ao papel do P na síntese de proteínas, por constituir nucleoproteínas necessárias à divisão celular, atuar no processo de absorção iônica, além de ser importante no desenvolvimento do sistema radicular (MALAVOLTA, 1980).

No entanto, o conteúdo de P no cafeeiro é relativamente pequeno, sendo necessária a utilização de doses excessivas de fertilizantes fosfatados nos sulcos de plantio no início de seu desenvolvimento. A disponibilidade de P é reduzida pela fixação ao ferro, ao alumínio e ao cálcio, que o insolubilizam, reduzindo sua difusão até as raízes, que são pequenas em sua fase inicial, dificultando a sua absorção (MALAVOLTA, 1980).

Na ausência desse nutriente, o sistema radicular, ainda pouco desenvolvido, tem menor emissão de raízes secundárias para absorver P, o que certamente prejudica o desenvolvimento da planta (GRANT *et al.*, 2001). Com o crescimento radicular, aumenta-se o volume de solo explorado; além disso, as associações micorrízicas podem contribuir para a ampliação da capacidade de absorção de P pela planta, resultando no desenvolvimento de mudas de alta qualidade (SAGGIN-JÚNIOR *et al.*, 1994; SAGGIN-JÚNIOR; SIQUEIRA, 1995).

O objetivo do trabalho foi avaliar o desenvolvimento inicial do cafeeiro submetido a doses e fontes fosfatadas com tecnologias de liberação.

## 2 METODOLOGIA

O experimento foi montado em vasos e instalado em casa de vegetação, no Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), localizado no município de Patos de Minas, MG. No experimento, foi utilizada uma amostra de solo classificado como Latossolo Vermelho distrófico (EMBRAPA, 2013), coletado na profundidade de 0-20 cm. Essa amostra foi submetida à caracterização química e física, seguindo a metodologia proposta por Van Raij *et al.* (2011), apresentando os seguintes resultados (Tabela 1).

**Tabela 1:** Caracterização química do solo utilizado para instalação do experimento

Profundidade	pH	H+Al	Al	Ca	Mg	K	P	P-rem	CTC	V	MO
cm	H <sub>2</sub> O		cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			mg dm <sup>-3</sup>		mg L <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup>	%	dag kg <sup>-1</sup>
0-20	5,73	2,30	0,03	3,80	4,90	132,94	33,05	18,34	11,34	79,72	1,45

Extratores: pH em água, K e P-assimilável por Mehlich1, P-remanescente por solução equilíbrio (CaCl<sub>2</sub> + KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>), teores de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Al<sup>3+</sup> trocáveis extraídos por KCl; acidez potencial por Acetato de Cálcio; matéria orgânica total (MOS) por titulometria.

Fonte: dados da pesquisa, 2020.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso (DBC), montado em esquema fatorial 4 x 4 + 1 sem aplicação de P, com três repetições. Os tratamentos foram constituídos por quatro fontes fosfatadas, sendo MAP CONVENCIONAL, MAP POLIMERIZADO, MAP AVAIL e fonte organomineral (FOM), aplicados em quatro doses de 40, 80, 160, 320 mg/dm<sup>3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. A parcela experimental foi composta por um vaso plástico com volume total de 5 dm<sup>3</sup>, com uma muda de cafeeiro por vaso, utilizando a cultivar *Coffea arabica* L. cv. Acaia IAC 474-19.

Após a caracterização química do solo, a saturação por bases foi elevada para 60% (GUIMARÃES *et al.*, 1999), sendo o calcário incorporado ao solo úmido, sob lona, e feita a incubação por um período de 60 dias. Passado esse período, o solo foi seco ao ar livre e passado em peneira de 2 mm, com a finalidade de padronizar os tamanhos das partículas. Posteriormente, os vasos foram preenchidos com o solo e neles aplicados os fertilizantes respectivos a cada tratamento, seguindo a recomendação de Guimarães *et al.* (1999). Ao longo do experimento, os vasos foram mantidos com uma capacidade de campo de 60%.

O experimento teve duração de quatro meses; ao final dele, foi avaliada a altura de planta (AP) e o diâmetro de caule (DC). Para realizar a avaliação de altura de planta, foi utilizada uma fita métrica graduada em centímetros, medindo do colo da planta até o ápice. Para avaliação de diâmetro de caule, foi utilizado um paquímetro digital com precisão de 0,01 mm, medindo o caule abaixo do primeiro par de folhas. Ao final do experimento, também foram avaliados fósforo foliar (PF), volume radicular (VR), massa seca de parte aérea (MSPA), massa seca de raiz (MSR).

Para essas avaliações, as plantas foram retiradas dos vasos e separadas em parte aéreas e sistema radicular. Para a avaliação de volume radicular, as raízes foram lavadas com auxílio de jatos de água para a retirada das partículas de solo. Posteriormente, o volume radicular foi avaliado, utilizando-se duas provetas com volume de um litro cada uma; toda a raiz foi adicionada em uma das provetas. Com auxílio da outra proveta aferida com um litro de água, foi adicionada água na proveta contendo a raiz. Dessa forma, o volume em mL remanescente na proveta foi o volume da raiz em cm<sup>3</sup>. Para as avaliações de MSPA e MSR, as plantas foram separadas em folhas, caule e raiz. Após a separação, as partes vegetais foram acondicionadas em sacos de papel e levadas para a estufa de circulação de ar forçada, a 75 °C, até atingirem massa constante. Após a secagem, as amostras foram pesadas em balança analítica com precisão de 0,01 g.

As amostras de MSPA e MSR foram utilizadas para a quantificação do teor de P contido em cada parte da planta. Para isso, as amostras foram moídas em moinho de facas do tipo Willey; após isso, foi feita a quantificação do teor de P contido nas amostras

pelo método de colorimetria amarelo de vanadato, em espectrofotômetro calibrado a um comprimento de onda de 420 nm (SILVA, 2009).

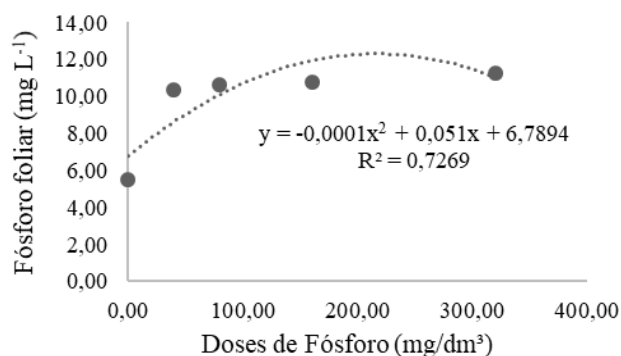
As médias foram submetidas à análise de variância e comparadas pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade para fontes e regressão para doses de  $P_2O_5$  (FERREIRA, 2010).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os efeitos da pandemia do COVID-19 influenciaram diretamente nos resultados do experimento, pois causaram a montagem tardia do experimento e a impossibilidade de irrigação e aplicações de adubações complementares e de fungicidas em períodos posteriores. Com as altas temperaturas da casa de vegetação e a falta de molhamento dos cafeeiros, as mudas murcharam várias vezes, causando perda na qualidade delas, o que influenciou totalmente os resultados do experimento.

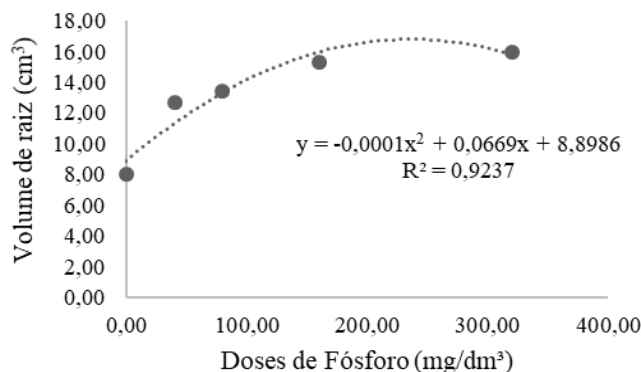
O teor de fósforo foliar (Figura 1), o volume de raiz (Figura 2), a massa seca de parte aérea (Figura 3), a massa seca de raiz (Figura 4), a altura de planta (Figura 5) e o diâmetro de caule (Figura 6) foram significativamente influenciados apenas pelas doses de fósforo.

**Figura 1:** Teor de fósforo foliar em resposta às doses de fósforo



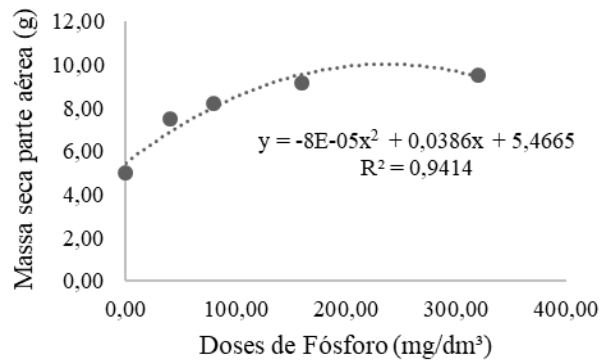
Fonte: dados da pesquisa.

**Figura 2:** Volume de raiz em resposta às doses de fósforo



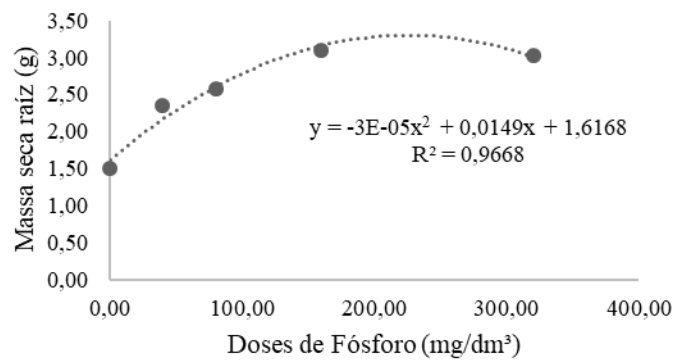
Fonte: dados da pesquisa.

**Figura 3:** Massa seca de parte aérea em resposta às doses de fósforo



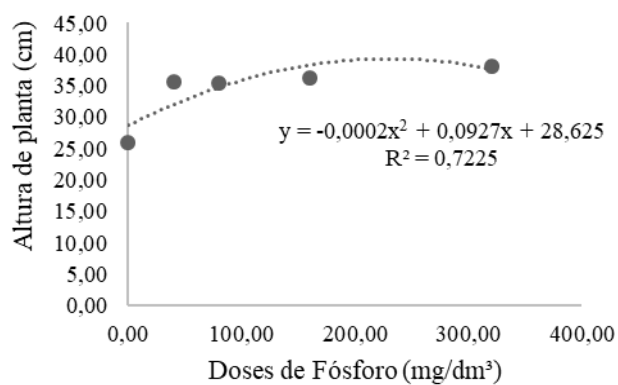
Fonte: dados da pesquisa.

**Figura 4:** Massa seca de raiz em resposta às doses de fósforo



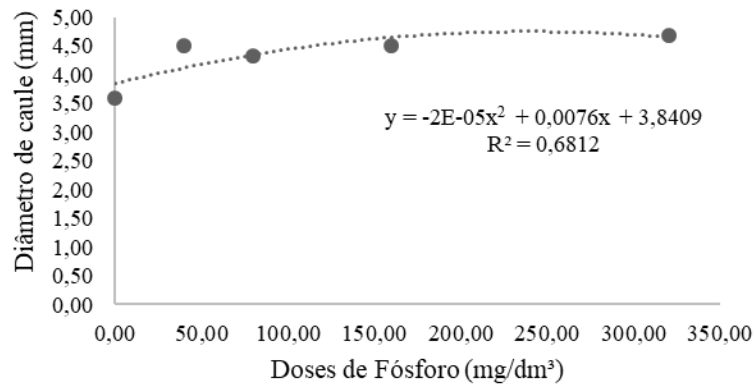
Fonte: dados da pesquisa.

**Figura 5:** Altura de planta em resposta às doses de fósforo



Fonte: dados da pesquisa.

Figura 6: Diâmetro de caule em resposta às doses de fósforo



Fonte: dados da pesquisa.

Todos os parâmetros avaliados apresentaram resposta quadrática, sendo que o aumento das dosagens de fósforo alcançou um ponto de máxima eficiência. A partir desse ponto, reduziu-se a eficiência de sua utilização, o que é coerente com a “Lei dos Incrementos Decrescentes”.

O teor P nas folhas do cafeeiro não diferiu significativamente entre as doses  $P_2O_5$ , sendo significativa somente se comparado à dose 0 de fósforo. O maior acúmulo de P nas folhas do cafeeiro aconteceu no ponto de máxima eficiência, na dosagem de 215,87 mg/dm³ de  $P_2O_5$ , alcançando 12,30 mg/L<sup>-1</sup> de fósforo foliar (Figura 1).

Os dados encontrados para PF corroboram os resultados de Silveira (2015), que, avaliando as características de crescimento, fisiológicas e nutricionais e a eficiência agrônômica da adubação fosfatada de plantas de café, encontrou resultados semelhantes para essa variável, obtendo resultado próximo, na dosagem de 1430 mg/dm³ de  $P_2O_5$ , alcançando 10,50 mg/L<sup>-1</sup> de fosforo foliar.

A dosagem de 251,46 mg/dm³ de  $P_2O_5$  proporcionou aumento na variável VR, alcançando 16,27 cm³ de volume radicular (Figura 2). O sistema radicular é considerado fator de grande importância na produção, pois um sistema radicular vigoroso pode explorar maior volume de solo e absorver mais água e nutrientes e, assim, influenciar positivamente a produtividade (FAGERIA, 1998).

Nota-se que as raízes não se desenvolveram bem na ausência de fósforo (Figura 2) e podem ter-se acumulado nas faixas que apresentavam maior disponibilidade desse nutriente. De acordo com Drew (1975), as raízes crescem preferencialmente nas regiões que contêm concentrações altas e favoráveis de nutrientes, destacando-se o maior efeito do P no crescimento das raízes.

O aumento das doses de fósforo promoveu a elevação nos teores de MSPA e MSR, que alcançaram pontos de máxima eficiência nas dosagens de 235,05 e 226,68 mg/dm³ de  $P_2O_5$ , respectivamente, obtendo um valor máximo de 10,01 e 3,30 g de matéria seca, respectivamente (Figuras 3 e 4). Segundo Guimarães e Reis (2010), altos níveis de P podem beneficiar a absorção de alguns elementos, como N, P, Ca, Mg, B e Mo. Porém, essas elevadas dosagens podem tornar-se prejudiciais para a aquisição de outros nutrientes, como K, Cu, Fe, Mn e Zn. Essa relação antagônica entre os minerais

compromete o balanço de nutrientes nas plantas, influenciando o crescimento e desenvolvimento delas (SANTINATO *et al.*, 2014).

Observando-se o desempenho da variável AP, nota-se que esta alcançou um ponto máximo de crescimento correspondente à dose de 230,41 mg/dm<sup>3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, atingindo 39,37 cm de altura (Figura 5). Já a variável diâmetro de caule alcançou ponto máximo de crescimento correspondente às doses de 235,47 mg/dm<sup>3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, chegando ao valor de 4,74 mm de diâmetro (Figura 6).

Em trabalho semelhante realizado por Chagas (2016), a altura de plantas aumentou com a adubação fosfatada, alcançando 75,1 cm no ponto de máxima eficiência, com a dose de 960 mg/dm<sup>3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ao se utilizar adubação fosfatada polimerizada, valores que diferem do presente trabalho, o que pode ser explicado devido às altas temperaturas da casa de vegetação e à ausência de molhamento das plantas em determinado período.

Na variável DC, as mudas não apresentaram diferença significativa em função da aplicação dos fertilizantes fosfatados, diferindo somente da dose 0 (Figura 6). O diâmetro do caule é um dos parâmetros mais significativos para se determinar a qualidade da muda, sendo que maiores valores de DC implicam melhor equilíbrio do crescimento da parte aérea das plantas (GOMES; PAIVA, 2012).

Para Mexal e Lands (1990) e Carneiro (1995), a altura das plantas proporciona uma estimativa do indicador do crescimento inicial e da capacidade de sobrevivência das mudas no campo; quando associada com o diâmetro do caule, estabelece importantes parâmetros morfológicos para se determinar o crescimento das mudas.

Nota-se que, na dose zero de fertilização fosfatada, as variáveis que envolvem o crescimento das plantas (AP, DC, MSR, MSPA e VR) apresentam valores bem abaixo, o que comprova a necessidade de adubação fosfatada para o ótimo desenvolvimento das mudas (MULLER *et al.*, 1997). Em contrapartida, a maior dosagem dos fertilizantes não foi eficiente para que as plantas de café desenvolvessem o seu máximo potencial.

Uma possível razão para o baixo desempenho dos fertilizantes é que o tempo da realização do experimento foi curto. De acordo com Branco (2001), a longo prazo, a reação dos fertilizantes fosfatados é mais eficiente, ocasionando a liberação gradual do fósforo no solo, principalmente se se considerarem os que apresentam tecnologia de liberação, que demandam maior tempo para serem completamente liberados no solo.

Ainda assim, tem-se a possibilidade de o fósforo ficar retido pelos colóides do solo, por um prazo relativamente longo, o que pode ocasionar baixa eficiência na absorção desse nutriente pelas plantas. Em um curto prazo, as fontes de baixa solubilidade não conseguem manter níveis adequados de fósforo para as plantas, devido a sua baixa velocidade inicial de dissolução (MARINHO; ALBUQUERQUE, 1980).

#### 4 CONCLUSÃO

Para todos os parâmetros avaliados, não foram observadas diferenças significativas entre as fontes utilizadas. Somente as doses se mostraram eficazes.

Todos as variáveis analisadas apresentaram resposta quadrática, sendo que o aumento das dosagens de fósforo alcançou um ponto de máxima eficiência específica para cada dose.

## REFERÊNCIAS

- BRANCO, S. M.; MURGEL, P. H.; CAVINATTO, V. M. Compostagem: solubilização biológica de rocha fosfática na produção de fertilizante organomineral. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 6, n. 3, p. 115-122, 2001.
- CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: UFPR/FUPEF/ UENF, 1995.
- CHAGAS, Wantuir Filipe Teixeira *et al.* Eficiência agronômica do superfosfato triplo revestido por polímeros no crescimento inicial do cafeeiro. **Coffee Science**, Lavras, v. 11, n. 3, p. 426-434, jul./set. 2016.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: café**, Brasília, v. 8, n. 2, p. 1-63, maio 2021.
- DREW, M. C. Comparison of the effects of a localized supply of phosphate, nitrate, ammonium and potassium on the growth of the seminal root system, and the shoot, in 62 barley. **New Phytologist**. v. 75, n. 3, p. 479-490, 1975.
- EFFGEN, T. A. M.; PASSOS, R. R.; LIMA, J. S. S.; BORGES, E. N; DARDENGO, M C. J. D. REIS, E. F. Atributos químicos do solo e produtividade de lavouras de cafeeiro Conilon submetidas a diferentes tratos culturais no Sul do Estado do Espírito Santo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 24, n. 2, p. 7-18, 2008.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Uso Agrícola dos Solos Brasileiros: o recurso natural solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Rio de Janeiro, 2013. 353 p.
- FAGERIA, N. K. Otimização da eficiência nutricional na produção de culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, n. 1, p. 6-16, 1998.
- FERREIRA, D. F. **Sisvar: sistema de análise de variância**. Lavras: UFLA, 2010.
- FURLANI JUNIOR, E.; BORGES, W. L. B.; LAZARINI, E.; FAZUOLI, L. C.; ANDREOTTI, M. Avaliação de cultivares de café arábica em região marginal. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 29, n. 2, p. 197-203, 2007.
- GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. **Viveiros florestais: propagação sexuada**. Viçosa: Editora UFV, 2012.



GRANT, C. A.; FLATEN, D. N.; TOMAIEWICZ, D. J.; SHEPPARD, S. C. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, v. 95, p. 1-16, 2001.

GUIMARÃES, P. T. G. *et al.* Cafeeiro. *In*: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZVENEGAS, V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: CFSEMG, 1999. p. 289-302.

GUIMARÃES, P. T. G.; REIS, T. H. P. Nutrição e adubação do cafeeiro. *In*: REIS, P. R.; CUNHA, R. L. da (Ed.). **Café arábica do plantio à colheita**. Lavras: Epamig, 2010.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 1980.

MARINHO, M. L.; ALBUQUERQUE, G. A. C. Resposta da cana-de-açúcar a níveis de P e correlação com análise foliar. *In*: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 1., 1979, Maceió. **Anais[...]**. Maceió: STAB, 1980. v. 2, p. 328-333.

MEXAL, J. L.; LANDS, T. D. Target seedling concepts: height and diameter. *In*: TARGET SEEDLING SYMPOSIUM, MEETING OF THE WESTERN FOREST NURSERY ASSOCIATIONS, GENERAL TECHNICAL REPORT RM-200, 1990, Roseburg. **Proceedings[...]**. Fort Collins: United States Department of Agriculture; Forest Service, 1990. p. 17-35.

MÜLLER, M. L.; MIGLIORANZA, E.; FONSECA, E. P. Produção de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) cv. Mundo Novo em tubetes. **Revista Unimar**, v. 19, n. 3, p. 777-786, 1997.

NOGUEIRA, N. O.; MARTINS, L. D.; TOMAZ, M. A.; ANDRADE, F. V.; CANDIDO, A. O.; DONAGEMMA, G. K. Avaliação do desenvolvimento de raízes de café arábica submetidos a diferentes materiais corretivos de solo. *In*: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 6., 2009, Vitória - ES. **Anais[...]**. Brasília: Embrapa Café, 2009. p. 1-5.

NOVAIS, R. F., SMYTH, T. J., NUNES, F. N. Fósforo. *In*: NOVAIS, R. F., ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 276-374.

SAGGIN JÚNIOR, O. J.; SIQUEIRA, J. O. Avaliação da eficiência simbiótica de fungos endomicorrízicos para o cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 19, p. 221-228, 1995.

SAGGIN-JÚNIOR, O. J.; SIQUEIRA, J. O.; GUIMARÃES, P. T. G.; OLIVEIRA, E. Interação fungos micorrízicos versus superfosfato e seus efeitos no crescimento e teores de nutrientes do cafeeiro em solo não fumigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, n. 1, p. 27-36, 1994.

SANTINATO, F.; CAIONE, G.; TAVARES, T. O.; PRADO, R. D. M. Doses of phosphorus associated with nitrogen on development of coffee seedlings. **Coffee Science**, v. 9, n. 3, p. 419-426, 2014.

SILVA, F. C. (Org.). **Manual de análises químicas de solos plantas e fertilizantes**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos; Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2009.

SILVEIRA, Oliveira *et al.* Características de crescimento, fisiológicas, nutricionais e eficiência agronômica da adubação fosfatada de plantas de café. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 35., 2015, Natal. **Resumo**. Disponível em: <https://www.eventosolos.org.br/cbcs2015/arearestrita/arquivos/994.pdf>.

VAN RAIJ, B.; ANDRADE, J. C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. (Ed.) **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2011.

XIMENES, F. T. D. **Análise da coordenação da cadeia agroindustrial orientada pela qualidade o caso Illy café**. 2006. 113 f. Dissertação (Mestrado em Agronegócios) – Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

# Influência da associação fertilizantes e bioestimulantes na fisiologia da cultura de soja

*Influence of the association of fertilizers and biostimulants on the physiology of the soybean crop*

LETÍCIA MOREIRA DA SILVA

Discente do curso de Agronomia (UNIPAM)

E-mail: [leticiamoreirasilva@unipam.edu.br](mailto:leticiamoreirasilva@unipam.edu.br)

EVANDRO BINOTTO FAGAN

Professor orientador (UNIPAM)

E-mail: [evbinotto@unipam.edu.br](mailto:evbinotto@unipam.edu.br)

---

**Resumo:** Objetivou-se avaliar a influência do uso de fertilizantes associados com bioestimulantes nas variáveis fenométricas e bioquímicas da cultura de soja. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no Centro Universitário de Patos de Minas, em Patos de Minas, entre julho e outubro +de 2020. Utilizou-se a cultura de soja cultivar M 6210 IPRO, em delineamento experimental de blocos casualizados, sendo os vasos de 11dm<sup>3</sup>. Os tratamentos foram os seguintes: T<sub>1</sub> [Controle]; T<sub>2</sub> [Ácidos orgânicos + Ácidos Húmicos e Fúlvicos]; T<sub>3</sub> [Adição de ácidos a base de exsudato de raízes]; T<sub>4</sub> [Hormônios (AIB; GA3 e Cinetina)]. Foi realizada adubação de plantio com o fertilizante formulado 08-24-12 (N-P-K), sendo 300 Kg ha<sup>-1</sup>. Analisaram-se atividade da enzima nitrato redutase, volume de raiz e massa de matéria seca de raiz, folhas, caule e peroxidação de lípidios. Os resultados foram submetidos à análise de variância, e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. Concluiu-se que a utilização de hormônios influencia beneficemente nas variáveis fenométricas na cultura de soja.

**Palavras-chave:** Ácidos Húmicos. Ácidos Fúlvicos. Hormônios.

**Abstract:** The objective was to evaluate the influence of the use of fertilizers associated with biostimulants on the phenometric and biochemical variables of the soybean crop. The experiment was conducted in a greenhouse, at the Centro Universitário de Patos de Minas, in Patos de Minas, between July and October + 2020. Soybean culture, cultivar M 6210 IPRO, was used in a randomized block experimental design, with 11dm<sup>3</sup> pots. The treatments were as follow: T<sub>1</sub> [Control]; T<sub>2</sub> [Organic acids + Humic and Fulvic acids]; T<sub>3</sub> [Addition of acids to root exudate]; T<sub>4</sub> [Hormones (AIB; GA3 and Cinetina)]. Planting fertilization was carried out with the formulated fertilizer 08-24-12 (NPK), being 300 Kg ha<sup>-1</sup>. Nitrate reductase enzyme activity, root volume and dry matter of root, leaves, stem and lipid peroxidation were analyzed. The results were subjected to analysis of variance and the means compared by Tukey test at 5% significance. It was concluded that the use of hormones beneficially influences the phenometric variables in soybean culture.

**Keywords:** Humic Acids. Fulvic Acids. Hormones.

---

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de soja, com estimativa de produção em torno de 120,4 milhões de toneladas na safra 2019/20 (CONAB, 2019). Entre os componentes de produtividade da cultura, tem-se o número de vagens por planta, grãos por vagem e o peso dos grãos, que são determinados por processos fisiológicos que ocorrem desde a germinação até a maturação dos grãos (CHAVES *et al.*, 2009).

Esses processos são afetados pelo nível de estresse a que as plantas estão submetidas no campo, podendo ser bióticos ou abióticos. Dentre estes, os que mais limitam a produtividade são a baixa nutrição nos solos e fatores climáticos (ANDRADE, 2013). Essas situações potencializam a produção de espécies reativas de oxigênio (ERO), que, quando produzidas em altas concentrações, causam danos nas células, gerando quedas na produtividade da cultura (SIES, 1991; SILVA *et al.*, 2015).

Devido aos danos causados pelas EROs, cada organismo desenvolveu mecanismos próprios de defesa, que podem ser enzimáticos (enzimas antioxidantes) ou não (vitaminas, oligoelementos e bioflavonóides). Esses mecanismos podem ser impulsionados por técnicas de manejo, como a adubação correta dos solos, associada à aplicação de substâncias conhecidas como indutoras de resistência. Essas substâncias alteram o comportamento fisiológico da planta, tornando-as mais adaptadas a condições adversas, interferindo diretamente na produtividade (SOARES, 2016).

Entre essas substâncias, destaca-se o uso de compostos bioreguladores. Segundo Nardi *et al.* (2016), bioreguladores são substâncias que estimulam a absorção e a eficiência de uso de nutrientes, potencializam o desenvolvimento da cultura, aumentam a tolerância de plantas a estresses bióticos e abióticos e promovem uma melhoria na qualidade das plantas. Essas substâncias podem apresentar diversas origens, sendo, em geral, compostos orgânicos, como hormônios, substâncias húmicas, ácidos orgânicos e ácidos exsudatos de raízes (VASCONCELOS *et al.*, 2009; CALVO; NELSON; KLOEPPER, 2014).

## 2 MATERIAL E MÉTODO

### 2.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi implantado entre julho e outubro de 2020, em casa de vegetação localizada no Centro Universitário de Patos de Minas - UNIPAM, localizado em Patos de Minas – MG. O local apresenta clima tropical de altitude (Cwa), com precipitação média anual em torno de 1400 mm, sendo a temperatura média anual igual a 21,1°C, a máxima anual, 27,8°C, conforme dados da Estação Meteorológica de Sertãozinho (EPAMIG).

Foi utilizada a cultura de soja (*Glycyne max* L. Merrill) cultivar M6210 IPRO, grupo de maturação 6.2 e hábito de crescimento indeterminado. Foram utilizados vasos plásticos com capacidade para 11 dm<sup>3</sup>, preenchidos com solo e areia na proporção 1:1. Foi adotado delineamento de blocos casualizados (DBC).

## 2.2 TRATAMENTOS E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi composto por quatro tratamentos, conforme descrito na Tabela 1, sendo cinco repetições, totalizando 20 parcelas. Foram semeadas dez sementes por vaso e, posteriormente, foi realizado o desbaste, mantendo-se três plantas por vaso, quando elas se encontraram no estágio fenológico V<sub>2</sub> (presença de dois nós).

O monitoramento da disponibilidade hídrica foi realizado através do método de pesagens. Plantas sem deficiência hídrica apresentam o solo com 80% da capacidade de campo. O fornecimento de nutrientes foi realizado no início do ensaio, com adição do fertilizante junto ao solo, 5 cm abaixo da semente.

**Tabela 1:** Descrição dos tratamentos utilizados

Tratamentos	Descrição	Dose (kg ha <sup>-1</sup> )
T <sub>1</sub>	Sem Bioestimulantes	x
T <sub>2</sub>	Ácidos Orgânicos + Ácidos Húmicos e Fúlvicos	300
T <sub>3</sub>	Adição de ácidos a base de exsudato de raízes	300
T <sub>4</sub>	Hormônios (AIB; GA <sub>3</sub> e Cinetina)	300

OBS: Todos os tratamentos receberam os tratamentos 08-24-12 + 8 S (462 MAP + 142 KCl + 250 Poli + 146 sulfato de amônia); 300 kg ha<sup>-1</sup>; (1g planta): 5g/vaso.

Fonte: dados da pesquisa, 2020.

## 2.3 AVALIAÇÕES: MASSA DE MATÉRIA SECA DE RAIZ, CAULE, FOLHA E TOTAL

Foi realizada a coleta de quatro plantas, em cada repetição, para as avaliações de massa seca em V<sub>6</sub>.

No momento da coleta das plantas, foi realizada a separação de folhas e caule. Posteriormente, esses órgãos foram colocados em sacos de papel individualizados, identificados e levados à estufa de secagem de ventilação forçada de ar, a 65 °C, até massa constante para a determinação da massa de matéria seca. O somatório de todos os órgãos resulta na massa de matéria seca total das plantas. As pesagens foram realizadas em balança digital com precisão de 0,01 grama.

## 2.4 ENZIMA NITRATO REDUTASE

Para a determinação foliar da atividade da enzima nitrato redutase (ANR), foi coletada uma folha completamente expandida no terço médio da planta, sendo que, a cada determinação, uma planta foi avaliada por tratamento.

Para a avaliação da ANR, foi realizado o preparo das amostras, através do corte de folhas em pedaços pequenos. Destes, foram pesados 200 mg na balança analítica e colocados em tubos de ensaio de 15 mL, contendo 4 mL de KNO<sub>3</sub> 0,25 M, em tampão fosfato. Os tubos de ensaios foram tampados, envolvidos em papel de alumínio e mantidos em banho maria a 35°C durante 2 h; foram agitados de 5 em 5 minutos. Em seguida, foi pipetado 1 mL da solução de cada tubo de ensaio para balão volumétrico de 50 mL para cada um dos respectivos tratamentos. Depois, foi adicionada H<sub>2</sub>O destilada até completar 25 mL do balão; a seguir, 1 mL de ácido sulfanílico. A solução foi mantida

em repouso de 5 a 10 min. Posteriormente, foram adicionados 1 mL de alfa-naftalamina e 1 mL do tampão de acetato de sódio, completou-se o volume a 50 mL com H<sub>2</sub>O destilada. A análise foi realizada depois de 10 e antes de 30 minutos no Espectrômetro, o qual foi ajustado ao valor zero com água destilada, a uma leitura de 560 nm. As avaliações de ANR foram realizadas em V<sub>3</sub> e V<sub>6</sub>.

## 2.5 PEROXIDAÇÃO DE LIPÍDIOS

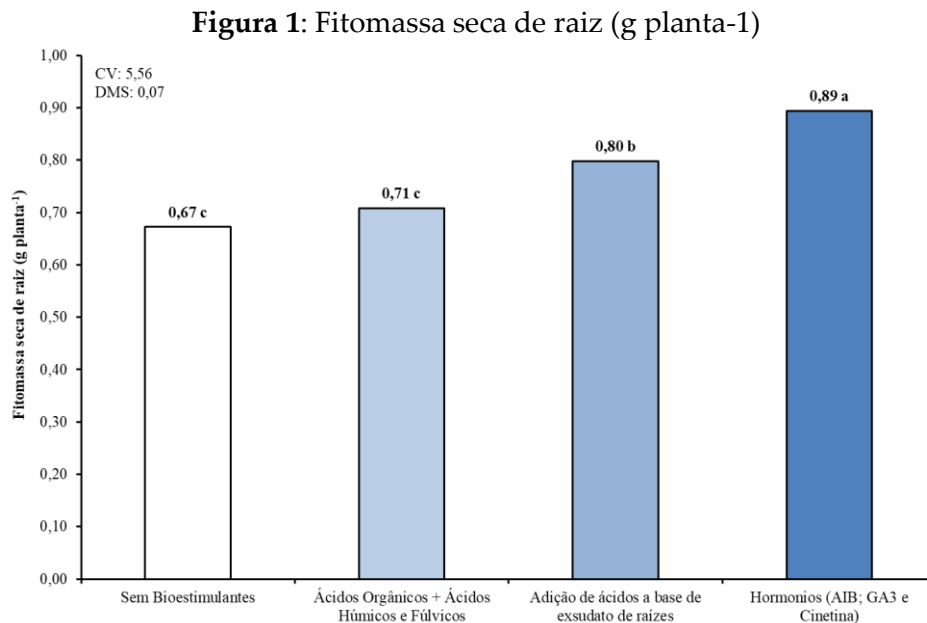
Foi determinada de acordo com a técnica de Heath e Packer (1968), citada por Rama Devi e Prasad (1998). Para isso, foram pesados 200 mg do material vegetal moído, que foi homogeneizado em 5 mL de solução contendo ácido tiobarbitúrico (TBA) 0,25% e ácido tricloroacético (TCA) 10%. Em seguida, o conteúdo foi transferido para tubos de ensaio com rosca e papel filme e incubado em banho maria a 90 °C, por 1 h. Após resfriamento, o homogeneizado foi centrifugado a 10.000 x g por 15 minutos, à temperatura ambiente; em seguida, o sobrenadante coletado de cada amostra foi submetido a leituras de absorbância em espectrofotômetro UV-visível a 560 e 600 nm.

## 2.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, e as médias comparadas entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para fitomassa seca de raiz (Figura 1), não foi obtido resultado significativo.

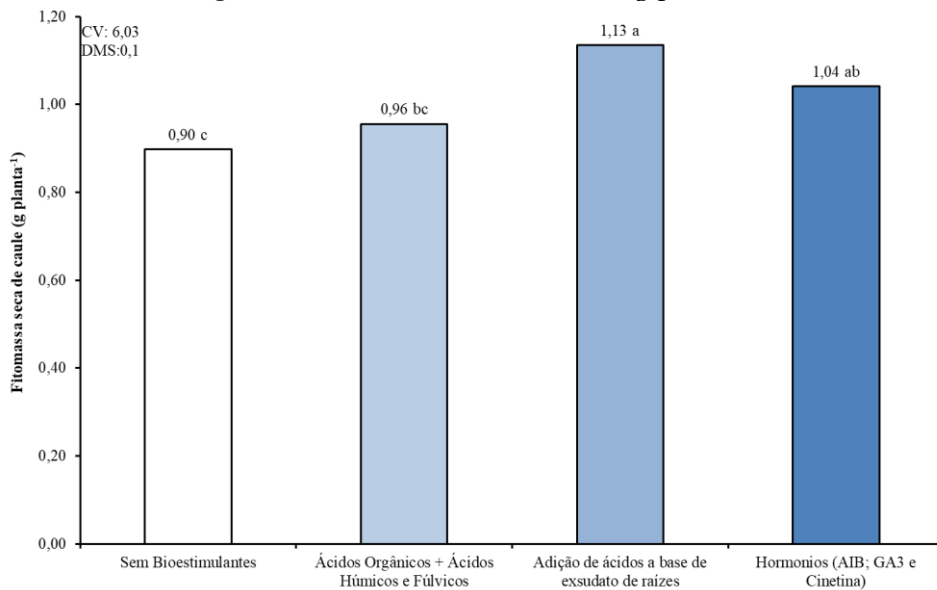


\*Não significativo. Os resultados não diferem entre si.

Fonte: dados da pesquisa, 2020.

Para fitomassa seca de caule (Figura 2), não foi obtido resultado significativo.

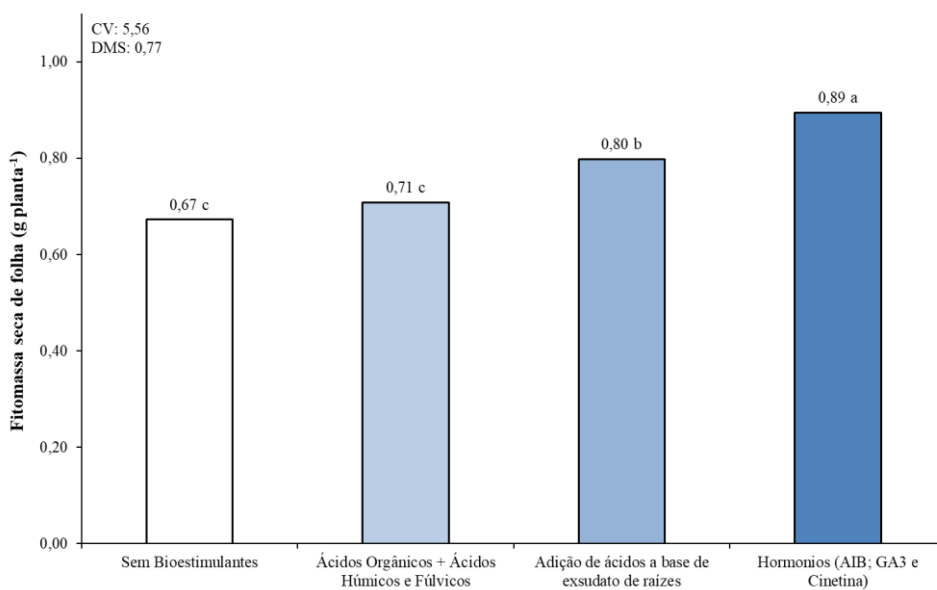
**Figura 2:** Fitomassa seca de caule (g planta<sup>-1</sup>)



\*Não significativo. Os resultados não diferem entre si.

Fonte: dados da pesquisa, 2020.

**Figura 3:** Fitomassa seca de folha (g planta<sup>-1</sup>)



Fonte: dados da pesquisa, 2020.

Para fitomassa seca de folhas (Figura 3), foi obtido resultado significativo. O tratamento com hormônios mostrou maior incremento em relação ao controle.

Os hormônios possuem um papel de grande importância, pois podem uniformizar a germinação, controlar o desenvolvimento vegetativo, aumentar a fixação de flores e frutos, antecipar ou até mesmo atrasar a maturação dos produtos de interesse comercial. (BUZZELLO, 2010).

#### 4 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, concluiu-se que a utilização de fertilizantes associados com bioestimulantes influencia nas variáveis fenométricas na cultura de soja.

#### REFERÊNCIAS

- ANDRADE, C. A. **O papel do peróxido de hidrogênio na tolerância de soja (*Glicine max*) ao alagamento**. 2013. 57 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – UFLA, Lavras, 2013.
- BUZZELLO, G. L. **Uso de reguladores no controle do crescimento e no desempenho agrônômico da cultura da soja cultivar CD 214 RR**. 2010. 157 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – ITFPRA/PPGA, Pato Branco, 2010.
- CALVO, P.; NELSON, L.; KLOEPPER, J. W. Agricultural uses of plant biostimulants. **Plant and Soil**, v. 383, p. 3-41, 2014.
- CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, v. 103, n. 4, p. 551-560, 2009.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos**. Brasília, v. 6, n. 8, 2019.
- HEATH, R. L.; PACKER, L. Photoperoxidation in isolated chloroplast I. Kinetics and Stoichiometry of fatty acid peroxidation. **Arch. Biochem. Biophys.**, v. 125, n. 2, p. 189-198, 1968.
- KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes, 1928.
- NARDI, S.; PIZZEGHELLO, D.; SCHIAVON, M.; ERTANI, A. Plant biostimulants: physiological responses induced by preprotein hydrolyzed-based products and humic substances in plant metabolism. **Scientia Agricola**, v. 73, n. 1, p. 18-23, 2016.
- RAMA DEVI, S.; PRASAD, M. N. V. Copper toxicity in *Ceratophyllum demersum* L. (Coontail), a free floating macrophyte: response of antioxidant enzymes and antioxidants. **Plant Science**, Amsterdam, v. 138, p. 157-165, 1998.
- SIES, H. Oxidative stress: from basic research to clinical application. **Am.J.Med.**, v. 91 (suppl 3C), p. 31S38S, 1991.



SILVA, A. F.; SEDIYAMA, T.; BORÉM, A.; SILVA, F. C. S. Cultivares. *In*: SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BORÉM, A. **Soja: do plantio a colheita**. Viçosa: Editora UFV. cap. 6, p. 149-167, 2015.

SOARES, L. H. **Alterações fisiológicas e fenométricas na cultura de soja devido ao uso de lactofen, cinetina, ácido salicílico e boro**. 2016. 169 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

VASCONCELOS, A. C. F.; ZHANG, X. Z.; ERVIN, E. H.; KIEHL, J. D. Enzymatic antioxidant responses to biostimulants in maize and soybean subject to drought. *Scientia Agricola*, v. 66, p. 395-402, 2009.

# Métodos de inoculação de *Azospirillum brasilense* (Rhodospirillaceae) associado à adubação nitrogenada na cultura do milho

*Inoculation methods of Azospirillum brasilense (Rhodospirillaceae) associated with nitrogen fertilization in maize crop*

DOUGLAS RODRIGUES OLIVEIRA  
Discente do curso de Agronomia (UNIPAM)  
E-mail: douglasrodrigues95@hotmail.com

LUÍS HENRIQUE SOARES  
Professor orientador (UNIPAM)  
E-mail: luishs@unipam.edu.br

---

**Resumo:** O milho é considerado um dos principais cereais cultivados no mundo. O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito da inoculação com *Azospirillum brasiliense* associado à adubação nitrogenada na cultura do milho. O estudo foi conduzido em casa de vegetação, cultivado em vasos. Os tratamentos foram postos em delineamento de blocos casualizados sendo 6 tratamentos e 5 repetições. Os tratamentos foram compostos da seguinte maneira: Tratamento 1 - Controle (sem inoculação e adubação nitrogenada); tratamento 2 - Somente nitrogênio; tratamento 3 - *Azospirillum brasiliense* via semente; tratamento 4 - *Azospirillum brasiliense* via foliar; tratamento 5 - Nitrogênio + *Azospirillum brasiliense* via semente e tratamento 6- Nitrogênio + *Azospirillum brasiliense* via foliar. Houve resultados significativos para altura de plantas, diâmetro de colmo, teor de clorofila, número de folhas e massa seca de folhas. A inoculação via foliar e via sementes, associada ao adubo nitrogenado, apresentou maiores resultados, quando comparados aos tratamentos sem adubo nitrogenado.

**Palavras-chave:** Milho. Inoculação. Nitrogênio.

**Abstract:** Corn is considered one of the main cereals grown in the world. The objective of this work was to evaluate the effect of inoculation with *Azospirillum brasiliense* associated with nitrogen fertilization in corn. The study was conducted in a greenhouse, grown in pots. The treatments were placed in a randomized block design with 6 treatments and 5 repetitions. The treatments were composed as follows: Treatment 1 - Control (without inoculation and nitrogen fertilization); treatment 2 - Nitrogen only; treatment 3 - *Azospirillum brasiliense* via seed; treatment 4 - *Azospirillum brasiliense* via leaf; treatment 5 - Nitrogen + *Azospirillum brasiliense* via seed and treatment 6- Nitrogen + *Azospirillum brasiliense* via leaf. There were significant results for plant height, stem diameter, chlorophyll content, number of leaves and dry leaf mass. The inoculation via leaf and via seeds, associated with nitrogen fertilizer, showed better results when compared to treatments without nitrogen fertilizer.

**Keywords:** Corn. Inoculation. Nitrogen.

---

## 1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é um dos principais cereais cultivados no Brasil e no mundo. É a base de inúmeros produtos utilizados para alimentação humana, além de ser o principal componente de energia para nutrição animal. Serve para alimentação animal tanto em forma de grão quanto em forma processada, dando origem a rações e a matéria-prima para a indústria, em função da quantidade ou da qualidade das reservas acumuladas nos grãos (ALVES *et al.*, 2015).

O nitrogênio (N) é o nutriente requerido em maior quantidade pela cultura e é o que mais limita a produção. Ele exerce função importante nos processos da planta como constituinte de enzimas, proteínas, ácidos nucleicos, coenzimas e clorofila (FARINELLI; LEMOS, 2012).

Segundo Mortate *et al.* (2018), o aumento da produtividade de grãos depende de vários fatores. Um deles é a eficiência da absorção de nitrogênio (N) pela planta e sua translocação para os grãos. Além de ser indispensável para a cultura do milho, o nitrogênio (N) também é o elemento que mais ajuda para o incremento dos custos na cultura (MORTATE *et al.*, 2018).

Por causa da alta demanda energética do processo de fabricação de fertilizantes nitrogenados, há alguns impactos provocados ao meio ambiente (ROCHA *et al.*, 2013). Brum *et al.* (2016) registram o excesso de nitrato nos mananciais como um dos efeitos negativos causados pelo uso de fertilizantes nitrogenados.

Uma das formas para se conseguir manter o rendimento da cultura do milho e a diminuição do uso dos fertilizantes nitrogenados é a inoculação de sementes com o uso de bactérias diazotróficas, que tem a capacidade de fixar o nitrogênio (N) atmosférico, deixando-o disponível para a planta. O nitrogênio (N) que é fixado pela bactéria torna-se disponível para a planta pela excreção direta da bactéria ou pela mineralização de bactérias mortas (PANDOLFO *et al.*, 2015). Uma das bactérias que faz esse papel é a do gênero *Azospirillum*.

Além do benefício da fixação biológica de nitrogênio, a inoculação com *Azospirillum brasilense* impulsiona um crescimento melhor da parte aérea e do sistema radicular da planta, por meio da produção de hormônios promotores de crescimento, como as giberelinas, as auxinas e as citocininas (TAIZ; ZEIGER, 2013). As bactérias promotoras de crescimento de plantas impulsionam o desenvolvimento das plantas por alguns mecanismos, estando incluída a síntese de fitormônios; além disso, promove melhoria da nutrição nitrogenada e de outros nutrientes, minimização de estresse e controle biológico da microbiota patogênica. Destaca-se que essas bactérias auxiliam no incremento da superfície de absorção das raízes da planta e, com isso, ocorre aumento considerável do volume de solo explorado (HUNGRIA *et al.*, 2010).

Uma das alternativas de se reduzir a utilização de adubos nitrogenados é a aplicação da bactéria *Azospirillum brasiliense* associada ao nitrogênio. Alguns trabalhos relatam os benefícios dessa bactéria no crescimento de raízes, parte aérea e na fixação biológica de nitrogênio.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito da inoculação com *Azospirillum brasiliense* associado à adubação nitrogenada na cultura do milho.

## 2 METODOLOGIA

Este estudo foi realizado em casa de vegetação, localizada no Centro Universitário Patos de Minas - UNIPAM, em Patos de Minas, Minas Gerais.

O delineamento experimental utilizado foi o delineamento em blocos casualizados (DBC), com seis tratamentos e cinco repetições (Tabela 1).

**Tabela 1:** Descrição dos tratamentos utilizados no ensaio

Tratamentos	Descrição	Dose	Época de aplicação do <i>Azospirillum</i>
T1	Controle	0 Kg/ ha <sup>-1</sup> de N	-
T2	Nitrogênio	20 Kg/há ha <sup>-1</sup> e 140 kg/ha <sup>-1</sup>	-
T3	<i>Azospirillum brasiliense</i> * via semente	100mL para 25 kg de semente	TS
T4	<i>Azospirillum brasiliense</i> via foliar	500 mL.ha <sup>-1</sup>	V <sub>4</sub>
T5	Nitrogênio + <i>Azospirillum brasiliense</i> via semente	20 Kg/ ha <sup>-1</sup> (plantio)140 kg/ ha <sup>-1</sup> (cobertura) e 100mL para 25 kg de semente	TS
T6	Nitrogênio + <i>Azospirillum brasiliense</i> via foliar	20 Kg/ ha <sup>-1</sup> (plantio)140 kg/ ha <sup>-1</sup> (cobertura) e 500 mL.ha <sup>-1</sup>	V <sub>4</sub>

\* Produto comercial denominado de Azos.

Fonte: dados da pesquisa, 2020.

**Tabela 2:** Análise de solo do estudo na camada de 0 a 20 centímetros

pH	P-rem	g	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC <sub>t</sub>	CTC <sub>r</sub>
Água	mg/dm <sup>3</sup>	dag/kg	mg/dm <sup>3</sup>		cmolc/dm <sup>3</sup>						
5,25	2,81	1,64	2,53	17,00	0,92	0,18	0,07	4,42	1,14	1,21	5,56
m	V	B	Cu	Fe	Mn	Zn	S	Argila	Silte	Areia	COT
%		mg/dm <sup>3</sup>									dag/kg
5,8	20,6	0,06	1,8	40,4	2,5	0,5	2,4	790	106	104	0,95

Fonte: dados da pesquisa, 2020.

Para a realização do estudo, coletou-se o solo para profundidade de 0 a 20 cm. As amostras foram enviadas para o laboratório de análises de solo da Terrena em Patos de Minas.

O solo foi peneirado. Utilizou-se a proporção de 2:1, sendo essa proporção dois litros de terra para um de areia. Em seguida, o solo peneirado e homogeneizado foi autoclavado a fim de se eliminarem os microrganismos presentes.

A semeadura foi realizada no dia, que foi o dia 19 de dezembro de 2019. Fez-se a inoculação do produto Azos® nas sementes de milho. Estas foram colocadas na sombra e deixadas por um período de 60 minutos. Após esse período, foram semeadas. Para fazer essa inoculação, as sementes foram pesadas numa balança de precisão modelo G Cehara, com precisão de 0,01 g. Em seguida, utilizou-se um béquer de um litro a fim de que se colocasse a dosagem recomendada do produto e da água, ambos misturados com um bastão de vidro e colocados em um saco plástico e deixados à sombra.

Os adubos que foram utilizados no estudo tiveram como base cálculos seguindo o livro 5ª aproximação, o qual ajudou na interpretação da análise de solo. Utilizaram-se

os adubos ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio, os quais tiveram as seguintes dosagens: 0,250 gramas no dia da semeadura de ureia por vaso, o equivalente a 20 Kg/ha<sup>-1</sup>; 1,800 gramas aos 20 após a semeadura em cada vaso, o equivalente a 140 Kg/ha<sup>-1</sup>; 3,700 gramas de superfosfato simples por vaso, o equivalente a 120 Kg/ha<sup>-1</sup>, o qual foi aplicado totalmente no dia da semeadura; 0,850 gramas de cloreto de potássio, o equivalente a 90 Kg/ha<sup>-1</sup>, utilizado totalmente durante a semeadura.

Para alcançar esses valores, foi utilizada a balança de precisão 0,0001 g de modelo AY220, para pesá-los, colocando-os em copos pequenos de plástico, os quais foram identificados. Para o plantio, foram utilizadas sementes do híbrido P3340VYHR. Semearam-se seis sementes por vaso, de forma manual. O desbaste ocorreu aos 15 dias após a semeadura, deixando duas plantas por vaso. Nesse procedimento, deixaram-se as plantas que apresentaram melhor vigor visualmente.

Para aplicação do nitrogênio na cobertura, o adubo ureia foi pesado em balança de precisão 0,001 g, do modelo Marte, colocado em copos pequenos de plásticos devidamente identificados e levados para o local da aplicação. Foi feito um risco no solo, no formato de um círculo. Após isso, colocou-se o adubo. Depois de feita a aplicação, os vasos foram irrigados, diariamente, com o mesmo volume de água.

A inoculação via foliar ocorreu no momento em que o milho estava no estágio V4 (quatro folhas expandidas), aos 23 dias após a semeadura. Para se utilizar a dosagem recomendada, usou-se uma pipeta para coletar o produto e passar para o béquer. Em seguida, fez-se a mistura com água, aplicou-se em dois tratamentos do estudo, em um total de 20 plantas aplicadas. Utilizaram-se 80 mL de água para aplicação e 0,18 mL do produto Azos<sup>®</sup> para aplicação total, a qual foi realizada através de borrifador.

No decorrer do estudo, necessitou-se de irrigação com uma solução de Johnson para as plantas, devido a sintomas de deficiência do nutriente fósforo. Ao invés de se molhar com a água normalmente, a solução foi preparada e aplicada durante 2 dias, aos 28 dias após a semeadura; aos 42 dias à semeadura, foi aplicada em todos os vasos do estudo.

Os nutrientes que compõem a solução de Johnson (1957) e sua dosagem utilizada quando foi usada no estudo serão apresentados a seguir na Tabela 3.

**Tabela 3:** Solução de Johnson (1957) aplicada no ensaio

Sais	g/1000 L
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O - Nitrato de cálcio	457,7
KNO <sub>3</sub> - Nitrato de potássio	251,3
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> - Fosfato de potássio	142,9
MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O - Sulfato de magnésio	251,3
FeETDA - Ferro quelatizado	23,8
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> - Ácido bórico	1,3
MnSO <sub>4</sub> - Sulfato de manganês	0,794
ZnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O - Sulfato de zinco	0,106
CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O - Sulfato de cobre	0,026
H <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O-(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo 7O <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O - Ácido molibídico	0,013

Observação: A solução nutritiva passou por adaptações, portanto os sais em destaque são os utilizados pelo laboratório Nufep.

Fonte: dados da pesquisa, 2020.

No dia 31 de janeiro, fez-se o uso de um fungicida para controle de surgimento de uma doença conhecida como helmintosporiose. Utilizou-se o produto opera. Fez-se a aplicação em todos os tratamentos, mesmo sem haver a doença neles, para melhor prevenção. Utilizou-se, para essa aplicação, 330 mL de água e 818 microlitros de produto. A aplicação aconteceu com um borrifador.

A primeira avaliação do estudo foi realizada aos 10 dias depois de feita a inoculação via foliar. Essa primeira avaliação ocorreu com as seguintes avaliações: altura de plantas, diâmetro de colmo, teor de clorofila, número de folhas. A segunda avaliação ocorreu 20 dias depois de feita a inoculação via foliar, com os mesmos parâmetros para avaliação.

## 2.1 AVALIAÇÕES

### 2.1.1 Altura de plantas

Para realizar a avaliação de altura de plantas, a planta foi medida com o auxílio de uma trena de cinco metros, medindo-se da superfície do solo junto à planta até a última folha expandida. Mediram-se as duas plantas do vaso e utilizou-se sua média para os testes estatísticos. Foi feito assim para todo os vasos do estudo e para as avaliações de diâmetro de colmo, número de folhas, massa seca de raiz e parte área e volume de raiz.

### 2.1.2 Diâmetro de colmo

Para o diâmetro de colmo, a planta foi medida com um paquímetro digital, medindo-se cinco centímetros acima do solo.

### 2.1.3 Teor de clorofila

O teor de clorofila das plantas foi medido com a ajuda do clorofilômetro, chamado SPAD. Usou-se o modelo Konica Minolta. Mediram-se quatro folhas por planta, sendo as que se situavam no terço médio.

Para a segunda avaliação, foram medidas quatro folhas por planta do vaso, sendo folhas do terço médio e do terço superior.

### 2.1.4 Número de folhas

A avaliação do número de folhas foi feita manualmente, considerando-se somente folhas expandidas.

### 2.1.5 Volume de raiz

Para a determinação do volume de raiz, retiraram-se as plantas do vaso, peneirando toda a terra do vaso; lavaram-se as raízes em água corrente. Então, separou-

se a planta com o auxílio de uma faca, cortando-a em folha, colmo e raízes, colocados em papel Kraft e identificados.

No laboratório, identificou-se o volume de raiz, o qual ocorreu utilizando-se duas provetas de 500 mL, estando uma proveta com água até os 500mL e a outra vazia. Então, colocaram-se as raízes da amostra na proveta que ficou vazia; pegou-se a água da proveta que estava com água e colocou-a na proveta em que havia as raízes. O que sobrou de água na proveta que tinha somente água foi considerado o volume de raiz.

### 2.1.6 Massa seca de raiz e parte aérea

Após a identificação do volume de raiz, colocaram-se as raízes, em papel Kraft, identificadas, que foram levadas para a estufa de ar com circulação forçada e deixadas para secagem durante 72 horas, em uma temperatura de 65° C. Posteriormente à secagem, as amostras foram pesadas em balança de precisão do modelo Marte, que é uma balança de precisão de 0,01g. O colmo e as folhas que foram separados e colocados em papel Kraft, também foram colocados na estufa à mesma temperatura, quantidade de horas; após isso, pesados na mesma balança que as raízes.

O experimento na casa de vegetação teve duração de 50 dias e, após isso, foi levado para o laboratório para serem feitas as avaliações de volume de raiz e massa seca de raízes e parte aérea, as quais foram descritas acima.

### 2.1.7 Análise estatística

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANAVA), e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se o programa SISVAR, versão 5.6 (FERREIRA, 2000).

## 3 RESULTADOS

**Tabela 4:** Valores obtidos de altura de plantas de duas avaliações em centímetros (cm), aos 36 dias pós semeadura e aos 46 dias pós semeadura

Tratamentos	Altura (cm)	
	36 dias	46 dias
Controle	71,400b	83,80c
Somente Nitrogênio	87,100a	97,60ab
Azos via semente	78,600b	90,40bc
Azos via foliar	77,500b	90,80bc
Nitrogênio + Azos via semente	89,800a	103,90a
Nitrogênio + Azos via foliar	91,625a	105,00a
CV(%)=	5,02	5,69
DMS=	8,44	11,011

Observação: médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Fonte: dados da pesquisa, 2020.

Os resultados obtidos tanto na primeira como na segunda avaliação foram significativos pelo Teste Tukey a 5%. Tiveram seus melhores resultados os tratamentos contendo o produto Azos® via semente associado ao adubo nitrogenado ureia e o outro tratamento contendo o produto Azos® via foliar associado ao adubo nitrogenado. O tratamento que apresentou somente a utilização de adubo nitrogênio teve resultados tão consideráveis como os outros dois citados anteriormente. Para a segunda avaliação, os melhores resultados foram os tratamentos contendo nitrogênio + Azos® via semente e o tratamento contendo nitrogênio + Azos® via foliar.

Os resultados são justificados por alguns autores. Segundo Coelho *et al.* (2017), a interação entre a bactéria e a planta pode ocorrer de forma direta e indireta. Na forma direta, essa interação entre planta e bactéria pode proporcionar a biossíntese de hormônios promotores do crescimento como citocinina, giberelina que atua no alongamento do caule, auxina e de reguladores de crescimento como óxido nítrico, além da fixação biológica de nitrogênio.

Outro fator que ajudou para que os tratamentos contendo *Azospirillum brasiliense* e adubação nitrogenada possuísem melhores resultados foi o seguinte: a planta de milho, além das características da bactéria, teve também o auxílio do adubo nitrogenado; além de ser um constituinte primário dos nucleotídeos, o nitrogênio faz parte da molécula de clorofila e de diversas enzimas que estão ligadas ao crescimento e ao desenvolvimento das plantas e atua em alguns processos da planta como respiração e fotossíntese (MARSCHNER, 1995; MALAVOLTA, 2006).

Resultados similares foram encontrados por Kappes *et al.* (2013), que obtiveram maior altura de plantas com inoculação via sementes de *A. brasiliense*, com aplicação de nitrogênio em cobertura, em trabalho realizado no campo.

Por sua vez, Hungria (2011) relata alguns trabalhos sobre a utilização de *Azospirillum spp.* em inoculação via sementes e, em outros trabalhos, em via foliar que possibilitou as plantas de milho maior altura, maior área foliar, maior teor de nitrogênio nas folhas e aumento do número de espigas, em ensaios realizados em campo.

**Tabela 5:** Valores obtidos para diâmetro do colmo pelo paquímetro digital em milímetros (mm), primeira avaliação (36 dias após semeadura), segunda avaliação (46 dias após a semeadura)

Tratamentos	Diâmetro de colmo (cm)	
	36 dias	46 dias
Controle	11,32b	11,700b
Somente Nitrogênio	14,72a	15,350a
Azos via semente	12,34b	13,340b
Azos via foliar	12,49b	13,220b
Nitrogênio + Azos via semente	15,36a	15,750a
Nitrogênio + Azos via foliar	16,15a	16,325a
CV(%)=	6,00	6,46
DMS=	1,672	1,872

Observação: médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Fonte: dados da pesquisa, 2020.



Os resultados obtidos para o parâmetro de diâmetro do colmo, tanto na primeira avaliação quanto na segunda avaliação, mostraram-se significativos pelo teste Tukey a 5%. Na primeira avaliação, os melhores resultados foram os seguintes tratamentos: somente nitrogênio, adubação nitrogenada associada ao produto Azos® via semente e o tratamento contendo adubação nitrogenada associada ao produto Azos® via foliar. Já na segunda avaliação, os tratamentos que apresentaram melhores resultados foram os mesmos da primeira avaliação, sendo o tratamento contendo somente nitrogênio, o tratamento contendo adubo nitrogenado associado ao produto Azos® via semente e tendo também o tratamento contendo adubação nitrogenada associado com o produto Azos® via foliar. O tratamento que conteve somente adubação nitrogenada, tanto na primeira como na segunda avaliação, teve resultados tão significativos quanto aos descritos anteriormente.

O milho armazena, no colmo, grande parte das reservas de amido, que serão utilizadas depois na produção de grãos. Os tratamentos que tiverem maior diâmetro de colmo terão mais reservas no enchimento de grãos (ROCKENBACH *et al.*, 2017).

O diâmetro do colmo está relacionado ao percentual de acamamento e quebraimento de planta na gramínea conhecida como milho, fato que pode resultar em perdas significativas na produção (KAPPES *et al.*, 2013). Sendo assim, os colmos que apresentaram ser mais grossos têm menores chances de acamamento; os tratamentos que apresentaram adubo nitrogenado no experimento têm essas chances reduzidas.

Resultados similares aparecem em experimento realizado por Guimarães *et al.* (2014), sendo utilizado o *Azospirillum brasiliense* via sementes, no trabalho; houve também inoculação de *Herbaspirillum seropidicae*, em diferentes tipos de solos; as plantas com inoculação apresentaram resultados superiores no parâmetro de diâmetro de colmo, em experimento conduzido em casa de vegetação.

Um fator para que os tratamentos que não possuíssem nitrogênio tivessem resultados menores é o seguinte: a planta de milho tem o nitrogênio como nutriente mais importante; sua deficiência pode gerar colmos mais finos e aumento da taxa de tombamento das plantas (FERREIRA, 2012). Em função disso, os tratamentos que apresentaram a inoculação de produto Azos® tanto via foliar como via semente associada à adubação nitrogenada apresentaram resultados consideráveis; a inoculação com bactérias que são do gênero *Azospirillum* ajudam na absorção de nitrogênio; as bactérias têm a capacidade de sintetizar fitormônios, promovendo o aumento de raízes laterais e pelos radiculares, o que faz com que a planta amplie sua superfície de contato com os nutrientes, fazendo assim com que a planta possa absorver mais água e nutrientes, inclusive o nitrogênio (STEENHOUDT; VANDERLEYDEN, 2000).

**Tabela 6:** Valores obtidos para teor de clorofila da folha do milho pelo aparelho Spad, primeira avaliação (36 dias após semeadura), segunda avaliação (46 dias após a semeadura)

Tratamentos	Teor de clorofila (Índice Spad)	
	36 dias	46 dias
Controle	28,720c	19,940c
Somente Nitrogênio	33,460bc	25,360bc
Azos via semente	26,440c	20,700bc
Azos via foliar	24,600c	20,560c
Nitrogênio + Azos via semente	34,940a	28,280a
Nitrogênio + Azos via foliar	37,075a	26,475a
CV(%)=	8,53	9,82
DMS=	5,337	4,698

Observação: médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Fonte: dados da pesquisa, 2020.

Para o parâmetro teor de clorofila, o estudo apresentou resultados significativos na primeira e na segunda avaliação pelo teste de Tukey a 5%.

Na primeira avaliação, os melhores resultados foram para os tratamentos que apresentaram associação entre o produto Azos® e a adubação nitrogenada, sendo o tratamento com adubação nitrogenada e Azos® via foliar, seguido do tratamento de adubação nitrogenada junto com Azos® via semente.

Para a segunda avaliação, os tratamentos que apresentaram os melhores resultados também foram os tratamentos em que havia a associação entre nitrogênio e o produto Azos®, via foliar ou via semente, com os seguintes valores: adubação nitrogenada associada ao produto Azos® via semente e tratamento com adubação nitrogenada associada ao produto Azos® via foliar. Os resultados da segunda avaliação diminuíram em relação à primeira avaliação, possivelmente pelo fato de o teor de clorofila na segunda avaliação ter sido medido em duas folhas do terço médio e duas do terço superior que são folhas mais novas. Isso reduziu o teor de clorofila da primeira para segunda avaliação.

Os resultados são justificados devido ao *Azospirillum brasilense* ser uma bactéria capaz de fazer a fixação biológica de nitrogênio, pelo fato de possuir a enzima nitrogenase, sendo assim ela reduz o N<sub>2</sub> atmosférico para N<sub>3</sub>, disponibilizando para a planta uma forma que seja assimilável para ela (FREITAS; RODRIGUES, 2010). O nitrogênio faz parte de mecanismos da fotossíntese, faz parte da molécula de clorofila, enzimas, coenzimas e DNA da planta (GAZOLA *et al.*, 2014). Com isso, os tratamentos que possuem o nitrogênio associado ao *A. brasilense* tiveram maiores teores de clorofila.

Um fator para o tratamento de *A. brasilense* separado do nitrogênio não ter sobressaído sobre os tratamentos em que tiveram associação é que essa bactéria é considerada complementar para os fertilizantes químicos usados para melhorar o rendimento das culturas em que são utilizados (HAYAT *et al.*, 2010).

Alguns autores também relatam em seus trabalhos resultados maiores no parâmetro teor de clorofila. Quadros *et al.* (2014) relatam, em um experimento realizado no campo, maior valor para três tipos de híbridos de milho quando foram inoculados

via semente com uma mistura de três bactérias do gênero *Azospirillum*, entre elas estava *A.brasiliense*.

Costa *et al.* (2015), em um experimento realizado no campo, avaliaram o resultado da eficiência de inoculante com *Azospirillum brasilense* no crescimento e na produtividade de milho de segunda safra. No experimento, foi utilizada inoculação via semente e via foliar associada ao adubo nitrogenado na cobertura. Quando inoculado, houve um aumento de 4% no teor de clorofila, comparado ao tratamento em que não houve inoculação, em experimento realizado no campo.

**Tabela 7:** Avaliação do número de folhas por planta, Patos de Minas, 2020

Tratamentos	Número de folhas
Nitrogênio + Azos via foliar	7,75a
Nitrogênio + Azos via semente	7,50a
Somente Nitrogênio	7,30a
Azos via semente	6,20b
Azos via foliar	6,00b
Controle	5,90b
CV(%)=	5,00
DMS=	0,687

Observação: médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Fonte: dados da pesquisa, 2020.

Para esses resultados, foram levados em conta os resultados referentes à primeira avaliação feita, visto que a segunda avaliação obteve os mesmos resultados da primeira. O tempo de avaliação de uma para outra foi de 10 dias.

Os resultados referentes ao número de folhas por planta apresentaram efeito significativo. Os tratamentos que apresentaram a adubação nitrogenada juntamente com uma forma de inoculação via semente ou foliar obtiveram os melhores resultados. O tratamento que apresentou somente adubação nitrogenada também apresentou um resultado igual estatisticamente comparado aos descritos anteriormente.

Entretanto os tratamentos que apresentaram somente a inoculação seja via semente, seja via foliar e o controle, o qual não houve uso de adubo nitrogenado nem inoculação, obtiveram resultados significativamente abaixo em relação aos outros.

O produto utilizado é o Azos®, o qual é constituído da bactéria *Azospirillum brasilense*, que é uma bactéria promotora de crescimento, a qual corresponde a micro-organismos que são benéficos às plantas e que têm a capacidade de colonizar as raízes e as folhas, a região da filosfera, rizosfera e os tecidos internos da planta (HUNGRIA *et al.*, 2010). Com isso, os tratamentos que utilizaram a bactéria com o nitrogênio apresentaram os melhores resultados, juntamente com o tratamento que utilizou somente nitrogênio.

Outro fator é que a inoculação com *Azospirillum brasilense* impulsiona um crescimento melhor da parte aérea e do sistema radicular da planta através da produção de hormônios promotores de crescimento, como as giberelinas, auxinas e citocininas (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Um fator relevante a se considerar é o seguinte: o fato de os tratamentos com somente a inoculação de uma das formas e o controle terem apresentado um menor

número de folhas deve-se à ausência de nitrogênio, visto que este é um dos nutrientes mais importantes na cultura, e sua ausência pode influenciar no desenvolvimento da planta, podendo até causar amarelecimento nas folhas mais velhas e até a queda delas (ROCKENBACH *et al.*, 2017).

**Tabela 8:** Massa seca de raiz (MSR) em gramas e volume de raiz (VR) em mL

Tratamentos	MSR	VR
Controle	14,648ab	7,60a
Somente Nitrogênio	10,838b	10,30a
Azos via semente	16,498ab	12,20a
Azos via foliar	20,542a	12,70a
Nitrogênio + Azos via semente	14,792ab	10,90a
Nitrogênio + Azos via foliar	16,973ab	10,87a
CV(%)=	28,28	24,95
DMS=	9,042	5,475

Observação: médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Fonte: dados da pesquisa, 2020.

Para massa seca de raízes e volume de raiz, os resultados se apresentaram não significativos pelo teste de Tukey a 5%.

Durante a condução do estudo, foi verificada uma deficiência de fósforo em todos os tratamentos, porém os tratamentos que apresentaram somente nitrogênio e os que possuíam a inoculação via semente associada ao adubo nitrogenado como também o tratamento que possuía inoculação via foliar associada ao adubo nitrogenado foram os tratamentos que apresentaram índices mais elevados na deficiência de fósforo.

Sendo o fósforo um nutriente importante para o crescimento radicular, um dos fatores que pode ter ocasionado a deficiência do fósforo é a baixa eficiência de aproveitamento desse nutriente pela cultura, fato que ocorre pela alta capacidade de adsorção do fósforo ao solo, adicionado ao solo, o que reduz sua disponibilidade às plantas. (GAZOLA *et al.*, 2013).

Outro fator possível é que o nutriente fósforo possui lenta taxa de difusão na solução do solo, o que o torna menos disponível na rizosfera (ALMEIDA *et al.*, 2016). Um fator que deve ser levado em conta é a taxa de eficiência do nutriente fósforo, visto que esta leva em consideração a eficiência na absorção, que é obtida pela quantidade do nutriente extraído pela planta e pela quantidade do nutriente extraído no solo, o que, no estudo, foi calculado por outro método (PEREIRA *et al.*, 2013).

Um motivo também é que a eficiência do fósforo está relacionada à própria capacidade de solubilidade das fontes. O fato de os fertilizantes comerciais apresentarem maior solubilidade tem influência na absorção da planta, visto que a liberação rápida do nutriente pode ajudar a favorecer o processo de adsorção deste e a precipitação das formas que são solúveis pelos componentes do solo, tornando o nutriente mais indisponível para a planta. Quando maior é o teor de argila no solo, maior será a expressão desse acontecimento. O estudo possuía um solo de 79% de argila (NOVAIS; SMYTH, 1999). Guimaraes *et al.* (2014) também relatam que o crescimento do sistema radicular do milho é influenciado por fatores químicos, biológicos e físicos do solo.

Outros fatores relacionados podem ser as formas de inoculação, as variações do ambiente e do solo, as características das estripes e as características genéticas das plantas, que podem influenciar na resposta da bactéria a gramínea (HUNGRIA, 2011; MORAIS, 2012).

No experimento de Casanovas *et al.* (2002), observou-se que a inoculação com *Azospirillum brasiliense* via sementes aumentou o volume de raízes em experimento realizado em casa de vegetação com adição de adubo nitrogenado, embora, no presente estudo, isso não tenha ocorrido.

Ocorrem também resultados não significativos em trabalhos com *Azospirillum sp.* Verona *et al.* (2010) relataram resultados não significativos para as variáveis altura, massa seca de raiz para as plantas de milho que foram inoculadas via semente em experimento conduzido em casa de vegetação, sendo que o experimento não apresentou doses de adubo nitrogenado.

Diferentemente do estudo, experimento realizado por Milléo *et al.* (2016) apresentou resultados positivos em experimento realizado em campo, quando foi usada inoculação via sementes de *Azospirillum brasiliense* associada ao adubo nitrogenado, para massa seca de raízes. Sendo o volume de raiz relacionado com as raízes e a massa seca de raízes também, esse parâmetro, no estudo, teve resultados não significativos.

**Tabela 9:** Valores obtidos de massa seca de folhas (MSF) em gramas e massa seca do colmo (MSC) em gramas

Tratamentos	MSF	MSC
Controle	6,818b	6,830a
Somente Nitrogênio	9,316ab	12,684a
Azos via semente	6,948b	9,782a
Azos via foliar	6,858b	9,688a
Nitrogênio + Azos via semente	10,874a	9,994a
Nitrogênio + Azos via foliar	10,838a	11,360a
CV(%)=	20,23	44,88
DMS=	6,818b	9,166

Observação: médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Fonte: dados da pesquisa, 2020.

Os resultados de massa seca de folhas foram significativos pelo teste Tukey a 5%, já os resultados de massa seca do colmo apresentaram-se não significativos.

Os melhores resultados foram os tratamentos contendo adubação nitrogenada associada ao produto Azos® via semente, seguidos do tratamento contendo adubação nitrogenada juntamente com o produto Azos® via foliar.

O resultado se justifica pela combinação entre os hormônios de crescimento excretados pelo *A. brasiliense*, com a disponibilidade de nitrogênio ideal para o solo, sendo assim, havendo um caso de sinergismo com o nitrogênio (HUNGRIA, 2011).

Houve resultados significativos para massa seca de parte aérea, em experimento realizado por Aosani *et al.* (2018), com o uso de *Azospirillum brasiliense* via sementes na cultura do milho, associado ao nitrogênio realizado em campo.

Experimento realizado por Quadros *et al.* (2014) para parâmetro de massa seca apresentou resultado significativo também na inoculação via sementes em experimento realizado no campo, com ausência de nitrogênio. Seu resultado foi associado à produção de fitormônios da bactéria; além disso, há relatos de outros autores, em que houve o aumento do número de raízes, o que poderia estar aumentando a retenção de nutrientes e água pelas plantas.

Em contrapartida, um experimento realizado por Silva (2013), com o uso de *A. brasiliense* em inoculação de sementes em experimento conduzido em casa de vegetação em tratamentos associados com nitrogênio e sem nitrogênio, não apresentou resultados significativos para o parâmetro parte aérea.

Em relação à massa seca de colmo, os resultados se apresentaram não significativos.

#### 4 CONCLUSÃO

Os tratamentos que tiveram a inoculação de *Azospirillum brasiliense* via foliar ou via semente associada à adubação nitrogenada apresentaram maiores resultados para altura de plantas, teor de clorofila e massa seca de folhas para estudo cultivado em vaso.

A inoculação via foliar e via sementes associada ao adubo nitrogenado apresentou maiores resultados, comparados aos tratamentos sem adubo nitrogenado.

#### REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, T. *et al.* Eficiência de fertilizante fosfatado protegido na cultura do milho. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 17, n. 1, p. 29-35, 2016.
- ALVES, B. *et al.* Divergência genética de milho transgênico em relação à produtividade de grãos e da qualidade nutricional. **Ciência Rural**, Santa Maria v. 45, n. 5, p. 884-891, 2015.
- AOSANI, A. *et al.* Eficiência da inoculação com *Azospirillum brasiliense* na cultura do milho e adubação nitrogenada. **Unoesc & Ciência**, Joaçaba, v. 9, n. 2, p. 137-146, jun. 2018.
- BRUM, M.S. *et al.* Components of corn crop yield under inoculation with *Azospirillum brasiliense* using integrated crop-livestock system. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 38, n. 4, p. 485-492, 2016.
- CASANOVAS, E. M. *et al.* *Azospirillum* Inoculation Mitigates Water Stress Effects in Maize Seedlings. **Comunicações de Pesquisa Cereal**, v. 30, p. 343-350, 2002.
- COELHO, A. E. *et al.* Inoculação de sementes com *Azospirillum brasiliense* em plantas de milho submetidas à restrição hídrica. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 16, n. 2, abr./jun., p. 186-192, 2017.

CONAB. **Acompanhamento de grãos da safra brasileira**, Brasília, v. 7, n. 11, p. 1-31, ago. 2020.

COSTA, R. R. G. F.; QUIRINO, G. S. F., NAVES, D. C. F.; SANTOS, C. B. S. ROCHA, A. F. S. Efficiency of inoculant with *Azospirillum brasiliense* on the growth and yield of secont-harvest maize, **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 3, p. 304-311, 2015.

FARINELLI, R.; LEMOS, L. B. Nitrogênio em cobertura na cultura do milho em preparo convencional e plantio direto consolidados. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 1, p. 63-70, 2012.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. *In*: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais [...]**. São Carlos: SIB, 2000. p. 255-258.

FERREIRA, M. M.; Sintomas de deficiência de macro e micronutrientes de plantas de milho híbrido BRS 1010. **Revista Agro@ambiente On-line**, [S. l.], v. 6, n. 1, p. 74-83, 2012.

FONTOURA, S. M. V.; BAYER, C. Ammonia volatilization in no-till system in the south central region of the State of Paraná, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa MG, v. 34, n. 5, p. 1677-1684, 2010.

FREITAS, Isabel Cristina Vinhal; RODRIGUES, Mariana Bueno. Fixação biológica do nitrogênio na cultura do milho. **Agropecuária Técnica**, Areia, v. 31, n. 2, p. 143-154, 2010.

GAZOLA, Diego *et al.* Aplicação foliar de aminoácidos e adubação nitrogenada de cobertura na cultura do milho safrinha. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 7, p. 700-707, fev. 2014.

GAZOLA, R. N. *et al.* Efeito residual da aplicação de fosfato monoamônio revestido por diferentes polímeros na cultura de milho. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 6, p. 876-884, nov./dez. 2013.

GUIMARÃES, V. F. *et al.* Morphophysiological characteristics of maize inoculated cultivated in different types of soil. **African Journal of Agricultural Research**, v. 9, n. 11, p. 2919-2924, 2014.

GYANESHWAR, P. *et al.* Role of soil microorganisms in improving P nutrition of plants. **Plant Soil**, v. 245, p. 83-93, 2002.

HAYAT, R. *et al.* Soil beneficial bacteria and their role in plant growth promotion: a review. **Annals of Microbiology**, v. 60, n. 4, p. 579- 598, 2010.

HUNGRIA, M. *et al.* O. Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. **Plant and Soil**, v. 331, n. 1-2, p. 413-425, 2010.

HUNGRIA, M. **Inoculação com *Azospirillum brasilense***: inovação em rendimento a baixo custo. Londrina: Embrapa Soja, 2011.

KAPPES, Claudinei *et al.* Inoculação de sementes com bactéria diazotrófica e aplicação de nitrogênio em cobertura e foliar em milho. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 2, p. 527-538, fev. 2013.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Ceres, 2006.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego: Academic Press, 1995.

MARTINS, F. B. *et al.* Classificação Climática de Köppen e de Thornthwaite para Minas Gerais: cenário atual e projeções futuras. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, n. 1, p. 1-28, nov. 2018.

MILLÉO, R. *et al.* Avaliação da eficiência agronômica da inoculação de *Azospirillum sp.* na cultura do milho. **Scientia Agraria**, v. 17, n. 3, p. 14-23, 2016.

MORAIS, T. P. **Adubação nitrogenada e inoculação com *Azospirillum brasilense* em híbridos de milho**. 2012. 70 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.

MORTATE, R. K. *et al.* Resposta do milho (*Zea mays* L.) à adubação foliar e via solo de nitrogênio. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 5, n. 1, p. 1-6, jan./mar. 2018.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, 1999.

PANDOLFO, C. M. *et al.* Desempenho de milho inoculado com *Azospirillum brasilense* associado a doses de nitrogênio em cobertura. **Agropecu. Catarin**, Florianópolis, v. 27, p. 94-9, 2015.

PEREIRA, F. B. *et al.* Relação entre os caracteres determinantes das eficiências no uso de nitrogênio e fósforo em milho. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 5, p. 636-645, set/out. 2013.

QUADROS, P. D. *et al.* Desempenho agronômico a campo de híbridos de milho inoculados com *Azospirillum*. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, n. 2, p. 209-218, 2014.



- RIBEIRO, A. C; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. **5ª Aproximação:** recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. Viçosa, MG: SBCS, 1999.
- ROCHA, G. O. *et al.* Chemistry without borders: the energy challenges. **Química Nova**, São Paulo, v. 36, n. 10, p. 1540-1551, 2013.
- ROCKENBACH, M. D. A. *et al.* Eficiência da aplicação de *Azospirillum brasilense* associado ao nitrogênio na cultura do milho. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 6, n. 1, p. 33-44, mar. 2017.
- SILVA, Lígia Maria Maraschi da. **Desempenho agrônômico de milho em função do tratamento de sementes com *Azospirillum brasiliense* sob diferentes doses de nitrogênio mineral.** 2013. 72 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2013.
- STEENHOUDT, O.; VANDERLEYDEN, J. *Azospirillum*, a free-living nitrogen-fixing bacterium closely associated with grasses: genetic, biochemical and ecological aspects. **FEMS Microbiology Reviews**, v. 24, n. 4, p. 487-506, 2000.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal.** 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUÍZ DE FORA. **Determinação da capacidade de campo em diferentes tipos de solo.** Juiz de Fora, 2018.
- VERONA, D.A. *et al.* **Tratamento de sementes de milho com Zeavit, Stimulate e inoculação com *Azospirillum sp.*** In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 28., 2010, Goiânia. **Anais [...].** Goiânia: Associação Brasileira de milho e sorgo, 2010, p. 3731-3737.

# Potencial de absorção de fósforo por plantas inoculadas com micorriza arbuscular

*Phosphorus potential uptake by plants inoculated with arbuscular mycorrhiza*

ADRIANO AUGUSTO DE SOUZA MENDES

Discente do curso de Agronomia (UNIPAM)  
E-mail: [adrianosouza@unipam.edu.br](mailto:adrianosouza@unipam.edu.br)

KARLA VILAÇA MARTINS

Professora orientadora (UNIPAM)  
E-mail: [karlavm@unipam.edu.br](mailto:karlavm@unipam.edu.br)

---

**Resumo:** O desenvolvimento de espécies vegetais tem se beneficiado direta e indiretamente de associação com fungos micorrízicos arbusculares. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a interação de fungos micorrízicos arbusculares com a cultura do milho e a da moringa. O estudo foi realizado em casa de vegetação localizada na empresa Nooa Ciência e Tecnologia, situada no Complexo Industrial JK, às margens da BR 365, no município de Patos de Minas em Minas Gerais. O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados, constituído de cinco tratamentos e oito repetições, em um total de 40 parcelas. Cada parcela foi constituída de vasos plásticos com capacidade de 5 dm<sup>3</sup>. Avaliaram-se a altura, o diâmetro e a massa de matéria seca de raiz e parte aérea aos 60 dias após a semeadura. Com base nos resultados apresentados nesse estudo, concluiu-se que o tratamento de sementes fungos micorrízicos arbusculares não interferiu no desenvolvimento inicial de plantas de moringa e de milho.

**Palavras-chave:** Nutrição mineral. *Rhizophagus intraradices*. Tratamento de sementes.

**Abstract:** The development of plant species has benefited directly and indirectly from association with arbuscular mycorrhizal fungi. Thus, this project aimed to evaluate the interaction of arbuscular mycorrhizal fungi with corn and moringa crops. The study was carried out in a greenhouse located at the company Nooa Ciência e Tecnologia, located in the JK Industrial Complex, on the margins of BR 365 in the municipality of Patos de Minas, in Minas Gerais. The experimental design adopted was randomized blocks consisting of five treatments and eight replications in a total of 40 plots. Each plot consisted of plastic pots with a capacity of 5 dm<sup>3</sup>. The height, diameter and dry mass of root and shoot were evaluated 60 days after sowing. Based on the results presented in this study, it was concluded that the treatment of arbuscular mycorrhizal fungi seeds did not interfere in the initial development of moringa and maize plants.

**Keywords:** Mineral nutrition. *Rhizophagus intraradices*. Seed treatment.

---

## 1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de espécies vegetais tem se beneficiado direta e indiretamente de associação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA) desde o surgimento das plantas terrestres (SMITH; READ, 2008). Esses fungos propiciam uma

série de benefícios às plantas associadas e ao ecossistema no entorno (JEFFRIES *et al.*, 2003; BERRUTI *et al.*, 2015).

Dentre os benefícios diretos, os mais conhecidos são o maior aporte de nutrientes, notadamente fósforo (P), maior tolerância a estresses ambientais (seca, metais, pragas, doenças, etc.), culminando com maior desenvolvimento vegetal e, conseqüentemente, maior produtividade. Além dos benefícios diretos, os FMA também propiciam uma série de benefícios indiretos ao ecossistema associativo.

Os FMA participam ativamente da formação e da estruturação do solo, atuam como importantes interventores no acúmulo de matéria orgânica (MO) do solo, estimulam a atividade metabólica de outros microrganismos do solo, conferindo maior homeostase ao ecossistema produtivo (RILLIG; MUMMEY, 2006).

Os solos brasileiros, principalmente em áreas de Cerrado, têm como características serem pobres em nutrientes, sendo o fósforo um dos nutrientes mais difíceis de se trabalhar, por ser imóvel no solo, o que dificulta sua absorção pela planta. O uso crescente de fertilizantes fosfatados para corrigir o problema de baixa disponibilidade de fósforo tem um forte impacto econômico e ambiental, uma vez que os processos químicos de produção desses fertilizantes são de custo elevado em termos energéticos, além de utilizarem fontes não renováveis e finitas de energia.

O P total do solo pode estar na forma orgânica ou inorgânica, sendo que o fósforo orgânico pode contribuir com até 50% da composição total de fósforo nos solos, principalmente em sistema de plantio direto (GYANESHWAR *et al.*, 2002). O fósforo de origem orgânica ocorre principalmente na forma indisponível de fosfato inositol (fitato) e outras como fosfomonoésteres, fosfolipídios, ácidos nucleicos e fosfotriésteres (GYANESHWAR *et al.*, 2002), podendo se tornar disponível pela mineralização por enzimas fosfatases liberadas pelas raízes e pelos microrganismos.

O conhecimento e o entendimento das interações solo-planta são cada vez mais importantes. E os FMA fazem parte dessas interações, tendo papel importantíssimo no desenvolvimento das plantas (WAKELIN *et al.*, 2004; VASSILEV *et al.*, 2006).

Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a interação de fungos micorrízicos arbusculares com plantas de moringa e de milho.

## 2 MATERIAL E METÓDOS

O presente estudo foi realizado em casa de vegetação localizada na empresa Nooa Ciência e Tecnologia, situada no Complexo Industrial JK, às margens da BR 365, no município de Patos de Minas em Minas Gerais.

Para condução do ensaio, utilizaram-se plantas de moringa (*Moringa oleifera* Lam.) e de milho (*Zea mays* L.). A semeadura foi realizada no dia 12 de novembro de 2019.

O solo utilizado foi coletado na fazenda Vera, localizada no município de Patos de Minas, Minas Gerais. Após a coleta do solo, foi realizada a análise química do solo e, de acordo com os resultados, foram realizadas as devidas correções e adubações.

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados, constituído de cinco tratamentos e oito repetições (Tabela 1), em um total de 40 parcelas. Cada parcela foi constituída de vasos plásticos com capacidade de 5 dm<sup>3</sup>.

**Tabela 1:** Descrição dos tratamentos e doses

Tratamento	Dose de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg dm <sup>-3</sup>	Tratamento de sementes 120 g ha <sup>-1</sup>
1	0	<i>Rhizophagus intraradices</i>
2	75	<i>Rhizophagus intraradices</i>
3	150	<i>Rhizophagus intraradices</i>
4	300	<i>Rhizophagus intraradices</i>
5	600	<i>Rhizophagus intraradices</i>

Fonte: dados da pesquisa, 2020.

O controle de plantas daninhas foi realizado de forma manual. Não houve incidência de pragas e doenças, sendo desnecessário realizar o controle com produtos químicos. A irrigação foi ministrada diariamente no fim da tarde.

Avaliaram-se a altura, o diâmetro e a massa de matéria seca de raiz e parte aérea aos 60 dias após a semeadura. A altura foi considerada desde o colo até o ápice de cada planta, medida com trena graduada em centímetros (cm), e o diâmetro do colo medido com paquímetro graduado em milímetros (mm), tomado a 1 cm do solo.

Para a massa de matéria seca de raiz e parte aérea, cada órgão da planta foi acondicionado, separadamente, em sacos de papel, e a secagem das diferentes partes da planta foi realizada utilizando-se o método padrão de secagem em estufa com circulação de ar forçada e com temperatura de 60° C, até peso constante. A pesagem da massa de matéria seca de parte aérea e do sistema radicular foi efetuada em balança digital com precisão de 0,001 grama.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (teste F), e as médias comparadas pelo teste Tukey, a 5% de significância.

### 3 RESULTADO E DISCUSSÃO

Não foi observada diferença estatística para o diâmetro, a altura e a massa de matéria seca da parte aérea de plantas de moringa aos 60 dias após a semeadura (Tabela 2).

Houve maior desenvolvimento do sistema radicular quando as plantas de moringa foram adubadas com 300 e 600 mg dm<sup>-3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Nesses tratamentos, a massa de matéria seca de raiz foi, em média, de 8 g planta<sup>-1</sup>, enquanto no tratamento Controle (sem adubação), utilizando-se apenas o tratamento de sementes com micorriza, a massa de matéria seca da raiz foi em média de 0,5 g planta<sup>-1</sup> (Tabela 2).

**Tabela 2:** Diâmetro, altura e massa de matéria seca de parte aérea e raiz aos 60 dias após a semeadura de plantas de moringa

Tratamento	Diâmetro (mm)	Altura (cm)	PSPA (g)	PSR (g)
1	0,23 ns	86 ns	4,57 ns	0,52 b <sup>1</sup>
2	0,27	89	5,89	0,81 b
3	0,27	91	6,00	0,75 b
4	0,27	93	6,26	7,06 a
5	0,27	92	8,45	8,45 a
<b>CV (%)</b>	<b>16,5</b>	<b>12,4</b>	<b>33,2</b>	<b>40,3</b>

ns: não significativo ao teste de f. <sup>1</sup>médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: dados da pesquisa, 2020.

Com relação ao desenvolvimento das plantas de milho, não se observa diferença estatística para a altura, índice Spad e massa de matéria seca de raiz (Tabela 3).

O maior crescimento das plantas foi observado quando as plantas de milho foram adubadas, quando comparadas às plantas do tratamento Controle (sem adubação), usando apenas o tratamento de sementes com micorriza (Tabela 3).

**Tabela 3:** Diâmetro, altura, Spad e massa de matéria seca de folha, caule e raiz aos 60 dias após a semeadura de plantas de milho

Tratamento	Diâmetro (mm)	Altura (cm)	Spad	Folha (g)	Caule (g)	Raiz (g)
1	0,50 b <sup>1</sup>	116 ns	31,6 ns	19,04 b	14,72 b	7,31 ns
2	0,65 a	121	34,1	22,75 ab	26,37 a	11,20
3	0,64 ab	119	35,0	24,77 ab	21,31 ab	8,11
4	0,69 a	117	34,6	27,44 a	23,54 a	8,90
5	0,67 a	114	36,2	28,05 a	24,68 a	10,45
<b>CV (%)</b>	<b>15,1</b>	<b>13,5</b>	<b>10,4</b>	<b>17,7</b>	<b>22,5</b>	<b>39,3</b>

ns: não significativo ao teste de F. <sup>1</sup> médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: dados da pesquisa, 2020.

A fertilização do solo com P tende a incrementar o teor desse elemento no solo, e o seu aumento tem correlação direta com aumento de produtividade. Isso ocorre porque a sua disponibilidade no solo é limitada, principalmente em solos da região do Cerrado, que possuem alta concentração de cargas positivas nos colóides e podem adsorver o fosfato (OLIVEIRA JÚNIOR *et al.*, 2010).

Os fungos micorrízicos arbusculares têm um papel importante nos sistemas agrícolas, aumentando a absorção de nutrientes, especialmente fósforo (CARDOSO; KUYPER, 2006).

Não se observou, nesse estudo, o efeito do tratamento de sementes com micorriza na maior absorção de fósforo do solo.

#### 4 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, concluiu-se que o tratamento de sementes fungos micorrízicos arbusculares não interferiu no desenvolvimento inicial de plantas de moringa e de milho.

#### REFERÊNCIAS

- AUGE, R. M. Water relations, drought and vesicular arbuscular mycorrhizal symbiosis. **Mycorrhiza**, v. 11, p. 3-42, 2001.
- BELLEI, M. M.; CARVALHO, E. M. S. Ectomicorrizas. *In*: CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. **Microbiologia do Solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 1992. cap. 21, p. 297-318.
- BERRUTI, A. *et al.* Arbuscular Mycorrhizal Fungi as natural biofertilizers: let's benefit from past successes. **Frontiers in Microbiology**, v. 6, p. 1-13, 2015.
- BONFANTE-FASOLO, P. Anatomy and morphology of VA mycorrhizae. *In*: POWELL, C. L.; BAGYARAJ, D. J. (Ed.) **VA Mycorrhiza**. Boca Raton: CRC Press, 1984. cap. 2, p. 5-33.
- BONFANTE, P.; PEROTO, S. Strategies of arbuscular mycorrhizal fungi when infecting host plants. **New Phytologist**, v. 30, p. 3-21, 1995.
- CARDOSO, E. *et al.* **Microbiologia do Solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992.
- CARDOSO, I. M.; KUYPER, T. W. Mycorrhizas and tropical soil fertility. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 116, n. 1-2, p. 72-84, 2006.
- GIRI, B. *et al.* Mycorrhizal Tecniches/VAM Technology in establishment of plant under salinity stress conditions. *In*: MUREJI, K. G.; MANOHARACHARY, C.; CHAMOLA, B. P. **Techniques in mycorrhizal studies**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002.
- GYANESHWAR, P. *et al.* Role of soil microorganisms in improving P nutrition of plants. **Plant and Soil**, The Hague, v. 245, p. 83-93, 2002.
- JEFFRIES, P. *et al.* The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. **Biology and Fertility of Soils**, v. 37, p. 1-16, 2003.
- MARCHNER, H.; DELL, B. Nutrient uptake in myorrhizal symbiosis. **Plant and Soil**, v. 159, p. 89-102, 1994.

OLIVEIRA JÚNIOR, A.; CASTRO, C.; KLEPKER, D.; OLIVEIRA, F. A. Soja. *In*. PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. **Boas práticas para o uso eficiente de fertilizantes: culturas**: v. 3, Piracicaba: IPNI, 2010. cap. 1, p. 5-42.

PAVAN KUMAR, P. *et al.* Genotype dependent variation in VAM infection and growth response of twelve cultivars of sesame (*Sesamum indicum* L.). **Journal of the Indian Botanical Society**, v. 77, n. 1-4, p. 71-74, 1998.

RICH, J. R.; BIRD, G. W. Association of early-season vesicular-arbuscular mycorrhizae with increased growth and development of cotton. **Phytopathology**, v. 64, n. 11, p. 1421-1425.

RILLIG, M. C.; MUMMEY, D. L. Mycorrhizas and soil structure. **New Phytology**, v. 171, p. 41-53, 2006.

SILVEIRA, A. P. D. Micorrizas. *In*: CARDOSO, E. *et al.* **Microbiologia do Solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. cap. 19, p. 282.

SIMON, L. *et al.* Origin and diversification of endomycorrhizal fungi and coincidence with vascular land plants. **Nature**, v. 363, p. 67-69, 1993.

SIMPSON, D.; DAFT, M. J. Interactions between water stress and different mycorrhizal inocula on plant growth and mycorrhizal development in maize and sorghum. **Plant and Soil**, v. 121, p. 179-186, 1990.

SMITH, S. E.; READ, D. J. **Mycorrhizal symbiosis**. 3. rd. London: Academic. Press, 2008.

VASSILEV, N.; MEDINA, A.; AZCÓN, R.; VASSILEVA, M. Microbial solubilization of rock phosphate on media containing agro-industrial wastes and effect of the resulting products on plant growth and P uptake. **Plant Soil**, v. 287, p. 77-84, 2006.

WAKELIN, S. A. *et al.* Phosphate solubilization by *Penicillium* spp. closely associated with wheat roots. **Biology and Fertility of Soils**, v. 40, p. 36-43, 2004.

# Reação de cultivares de bananeiras ao *Meloidogyne incógnita*

*Reaction of banana cultivars to the Meloidogyne incognita*

LOURENÇO ANTÔNIO MELO GONTIJO

Discente do curso de Agronomia (UNIPAM)

E-mail: Lourencogontijo45@unipam.edu.br

LUCAS DA SILVA MENDES

Professor orientador (UNIPAM)

E-mail: lucassm@unipam.edu.br

---

**Resumo:** A resistência genética de plantas aos nematoides é um dos métodos mais eficientes e econômicos de se evitarem as perdas ocasionadas por esses microrganismos. Assim, o objetivo do experimento foi avaliar a reação de cultivares de bananeiras à *Meloidogyne incognita*, por meio do fator de reprodução. Foram adotados 5 tratamentos: a testemunha (com plantas de pimentão para ver a viabilidade do inóculo), o tratamento 1 (com a banana prata anã), o tratamento 2 (com a banana maçã) o tratamento 3 (com a banana prata catarina) e o tratamento 4 (com a banana maçã princesa). Utilizou-se de delineamento em blocos casualizados, com cinco repetições, perfazendo-se um total de 25 unidades experimentais. Todos os tratamentos culturais foram realizados de acordo a necessidade da planta. Após realizada a desmontagem e análise dos dados, concluiu-se que todas cultivares são suscetíveis, pois houve a reprodução do *Meloidogyne incognita*.

**Palavras-chave:** Resistência Genética. Nematoides. Fator de reprodução.

**Abstract:** The genetic resistance of plants to nematodes is one of the most efficient and economical methods of preventing losses caused by these microorganisms. Thus, the objective of the experiment was to evaluate the reaction of banana cultivars to *Meloidogyne incognita*, through the reproduction factor. Five (5) treatments were adopted: the control (with pepper plants to check the viability of the inoculum), treatment 1 (with banana prata anã), treatment 2 (with apple banana) and treatment 3 (with silver banana catarina) and treatment 4 (with Princess Apple banana). A randomized block with five replications was used, making up a total of 25 experimental units. All cultural treatments were carried out according to the need of the plant. After disassembling and analyzing the data, it was concluded that all cultivars are susceptible, as there was reproduction of *Meloidogyne incognita*.

**Keywords:** Genetic Resistance. Nematodes. Reproduction factor.

---

## 1 INTRODUÇÃO

A bananeira é uma das frutas mais populares no Brasil. Faz parte da dieta alimentar das mais diversas classes sociais, seja natural, cozida ou frita, seja processada na forma de doces ou passas. A produção brasileira de banana está distribuída nas 27 unidades da Federação, incluindo o Distrito Federal, destacando-se, depois da laranja,



como a fruta mais importante em área colhida, quantidade produzida, valor da produção e consumo. (FLORI, 2007). Os Estados de São Paulo, Bahia, Pará, Santa Catarina, Minas Gerais, Pernambuco e Ceará são os mais representativos, tanto em área colhida quanto em produção de banana no Brasil. Os sete estados responderam por, aproximadamente, 62% da área colhida e 71% da produção em 2008. O Estado de São Paulo ocupa a primeira posição em área e em produção e a segunda em rendimento. O valor da produção da bananicultura nacional em 2008, em torno de R\$ 2,0 bilhões, também revela a importância da cultura frente à fruticultura nacional. (ALMEIDA, 2008).

Apesar de o Brasil ser o segundo maior produtor mundial, com produção estimada em seis milhões de toneladas anuais, exporta apenas cerca de 1% desta produção. Como todas as culturas plantadas em grandes áreas, a banana ocupa cerca de 530.000 ha em nosso país, os problemas aparecem e, muitas vezes, tornam-se economicamente danosos. (FLORI, 2007). Com a bananeira não tem sido diferente, registrando-se um grande número de doenças que afetam diversas partes da planta (raiz, rizoma, pseudocaule, folha, fruto). Entre os patógenos causadores dessas doenças, estão os vírus, as bactérias, os nematoides e os fungos. Os últimos são, sem dúvida, os mais importantes. (BORGES; SOUZA; ALVES, 2000).

Os nematoides provocam redução no crescimento das plantas, amarelecimento e até mesmo morte destas, além de facilitar a entrada de patógenos. As plantas atacadas apresentam menor absorção de água e nutrientes, o que leva a uma redução de produtividade potencial. A presença de nematoides no sistema radicular de bananeiras constitui um dos maiores problemas da cultura, causando, em média, decréscimo de 25% na produção, chegando, em alguns casos, até a 90% (ZEM; RODRIGUES 2008). Para controlá-los, a melhor medida é não ter o nematoide na área de cultivo.

Para implantação de um bananal em área nunca cultivada com essa fruteira, amostras de solo devem ser enviadas a um laboratório nematológico para análise e comprovação da isenção do parasito no local. Feito isso, instalar a lavoura com mudas oriundas de cultura de tecidos ou de viveiros idôneos, ou seja, mudas sem nematoides (ROSSI 2005).

Para o controle do nematoide, tem-se mostrado eficiente a prática de rotação de culturas com plantas antagonistas, mantendo-se as populações abaixo do limiar de dano econômico, não oferecendo riscos ao ambiente (FERRAZ; VALLE, 1995). Realizar esse controle de forma eficiente é importante, uma vez os nematicidas químicos têm seu uso cada vez mais restrito devido à sua alta toxicidade e à baixa eficácia de controle depois de repetidas aplicações (DONG; ZHANG 2006). Se o cultivo de plantas com tais características não for realizado em uma área de alta infestação, a área poderá ficar ainda mais infestada, inviabilizando outros cultivos no local (NEVES *et al.*, 2016).

A resistência genética de plantas aos nematoides é um dos métodos mais eficientes e econômicos de se evitarem as perdas ocasionadas por esses microrganismos (ROBERTS, 2002). A partir do conhecimento prévio da população de nematoides presentes na área de cultivo, o agricultor deve escolher e realizar o plantio de genótipos resistentes. É importante lembrar que apenas a utilização de cultivares e híbridos com baixo fator de reprodução (FR) de nematoides não é suficiente para assegurar resultados satisfatórios da lavoura. A essa prática devem ser adotadas medidas complementares.

No entanto, antes de posicionar uma cultivar com baixo FR, é importante identificar qual a espécie predominante na área. Isso porque, na maioria das vezes, temos cultivares com FR específicos para cada espécie de nematoides, assim, caso seja plantada uma cultivar com resistência a cisto em uma área com galha, o problema irá permanecer, podendo até se agravar (ROBERTS, 2002). Nesse contexto, é de grande importância destacar-se uma cultivar de bananeira, que é tão importante para o Brasil, que seja resistente ao *Meloidogyne incognita*.

## 2 METODOLOGIA

O experimento foi implantado em casa de vegetação, no Centro Universitário de Patos de Minas – UNIPAM, Patos de Minas - MG, e foi conduzido de março de 2020 a junho de 2020. O clima predominante é o tropical de altitude, com temperatura média anual de 21°C. Utilizaram-se as cultivares de banana prata anã, de banana maçã, de banana prata catarina e de banana maçã princesa. Foram adotados 5 tratamentos: a testemunha (com plantas de pimentão para ver a viabilidade do inóculo), o tratamento 1 (com a banana prata anã), o tratamento 2 (com a banana maçã) o tratamento 3 (com a banana prata catarina) e o tratamento 4 (com a banana maçã princesa). Utilizou-se de delineamento em blocos casualizados, com cinco repetições, perfazendo-se um total de 25 unidades experimentais.

**Tabela 1:** Descrição dos tratamentos que foram utilizados no experimento

Tratamentos	Descrição
T0	Testemunha (plantas de pimentão Magali)
T1	<i>Musa spp</i> (Prata Anã)
T2	<i>Musa spp</i> (Maçã)
T3	<i>Musa spp</i> (Prata Catarina)
T4	<i>Musa spp</i> (Maçã Princesa)

Fonte: dados da pesquisa, 2020.

Foi colocada uma muda por vaso, e cada vaso contendo 40 litros de volume, sendo seu substrato autoclavado preparado com solo e areia lavada em proporção 2:1. O substrato foi autoclavado no laboratório de fitopatologia do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM). O plantio também foi realizado no laboratório de fitopatologia do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM). Após serem realizadas todas as parcelas, foram encaminhadas para a casa de vegetação. Foi aplicada, em todas as parcelas, a cada quinze dias, começando um dia após a emergência, a solução nutritiva conforme proposta por Johnson *et al.* (1957), para que a planta pudesse nutrir-se corretamente durante todo o período do experimento.

Duas semanas após o plantio, quando as plantas já tinham atingido o estágio V3, foi realizado um desbaste, de modo a deixar apenas uma planta por vaso. Nesse dia, também foi realizada a inoculação de 5000 ovos de *M. incognita* por tratamento, com o auxílio de uma pipeta, utilizando-se o inóculo calibrado extraído das plantas de pimentão mantidas em casa de vegetação. Assim, o inóculo foi pipetado e depositado nas proximidades da raiz. Aos 60 dias após a inoculação, época em que os nematoides

ultrapassaram o prazo necessário para completar seu ciclo de reprodução, o experimento foi desmontado, e todas as parcelas foram encaminhadas para o laboratório de fitopatologia do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), onde foram feitas a extração e a quantificação de ovos das raízes e do solo, para posteriormente ser calculado o fator de reprodução (FR).

A extração das raízes foi realizada segundo a metodologia de Boneti e Ferraz (1981), que consiste em triturar as raízes por 20 segundos em um liquidificador de baixa rotação, juntamente com uma solução de hipoclorito de sódio a 0,5% de concentração. Em seguida, a solução foi passada para uma peneira de 500 mesh, onde foi lavada com água corrente. A solução lavada foi transferida para tubos falcon com água destilada para que pudesse ser centrifugada com o auxílio de uma centrífuga, por 4 minutos a 1800 RPM. Após os 4 minutos, descartou-se o líquido sobrenadante dos tubos falcon, completando-se a solução restante no fundo dos tubos com solução de sacarose, na proporção de 454g de açúcar refinado para 1L de água, encaminhando-a novamente para centrifuga, por 1 minuto, a 1800 RPM. Completando-se 1 minuto, a solução sobrenadante foi despejada novamente sobre a peneira de 500 mesh, sendo lavada, em seguida, com água destilada para a retirada da sacarose, encaminhando a solução da peneira para um Becker com o auxílio de uma pisseta.

Para realizar a extração do solo, foi utilizada a metodologia de Jenkins (1964). Foram coletados cem centímetros cúbicos de solo por vaso, posteriormente misturando-se em 2L de água corrente com o auxílio de um balde. Após a solução se homogeneizar, esperou-se 1 minuto para ser decantada. Após a decantação, despejou-se a solução sobrenadante sobre uma peneira de 20 mesh acoplada a outra de 400 mesh, lavando-se a solução da segunda peneira com água corrente. O restante do processo é o mesmo utilizado para a extração das raízes. Após a extração dos ovos de cada tratamento, foi contabilizado o número de ovos/sistema radicular e do solo, com o auxílio de microscópio e lâmina de peters. Em seguida, foi calculado o fator de reprodução (FR), que foi a variável analisada. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e ao teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 VIABILIDADE DO INÓCULO

A viabilidade do inóculo de *M. incognita* foi confirmada em razão do alto FR obtido nas cultivares de pimentão Magali (Tabela 2). A cultivar de pimentão Magali não apresentou mecanismos prejudiciais à reprodução de *M. incognita*, atingindo as expectativas como testemunha, alcançando altos valores de reprodução. Silva, Ferraz e Santos (1989) afirmam que a resistência de algumas plantas aos nematoides do gênero *Meloidogyne* spp. é associada a vários mecanismos que são ativos antes, durante e depois da penetração do nematoide na planta. Os mecanismos mencionados anteriormente podem agir como barreiras mecânicas, fisiológicas ou químicas, impedindo o encontro do nematoide com o tecido, resultando em alterações morfológicas e fisiológicas em resposta à infecção (SILVA; FERRAZ; SANTOS, 1989).

Os resultados obtidos confirmaram a viabilidade do inóculo. Notou-se maior suscetibilidade de grande parte das espécies de pimentão ao *M. incognita* quando Oliveira (2007) testou 10 cultivares, constando que todas foram suscetíveis e se portaram como multiplicadoras do patógeno, como foi observado neste experimento.

O convívio entre a planta hospedeira e nematoides endoparasitas sedentários como os do gênero *Meloidogyne* spp. é de um grau muito alto de especialidade e muito complexo (WILLIAMSON; HUSSEY, 1996). Outras atividades que inspiram incubação, atração, penetração dos tecidos do hospedeiro, assim como o reconhecimento do tecido de alta infecção e indução do sítio de alimentação através da alteração anatômica nas células e alterações na expressão genética da planta são fundamentais para que a infecção aconteça com êxito (DAVIS; MITCHUM, 2005).

### 3.2 FATOR DE REPRODUÇÃO

Analisando-se os resultados do experimento, foi possível observar que não houve resistência das cultivares de bananeiras, permitindo a reprodução do *M. incognita*, que não se diferenciam estatisticamente entre si, porém todas as cultivares de bananeira se diferiram estatisticamente da testemunha composta pelo pimentão Magali. O fator de reprodução (FR) foi obtido em todos os tratamentos sendo >1 (Tabela 2). Segundo a escala proposta por Oostenbrink (1966), este é o fator máximo para que as cultivares sejam considerados resistentes. Os resultados colhidos no experimento permitiram perceber grande aumento na população de *M. incognita* nas cultivares analisadas, concluindo que as bananeiras atuam como multiplicadoras desse patógeno.

**Tabela 2:** Valores de fator de reprodução (FR), quantidade de ovos constatados nas raízes, quantidade de ovos e eventuais juvenis constatados no substrato, obtidos após a avaliação dos tratamentos

Quantidade ovos + juvenis na fase j*			
Tratamentos	Raízes	Substrato	Fator de Reprodução (FR)
T1	147000,00	234666,6667	47,52 b
T2	30000,00	108000,00	21,72 a
T3	33000,00	99000,00	19,93 a
T4	30000,00	90000,00	18,12 a
T5	34000,00	117000,00	23,53 a
CV(%)= 38,49%			

\* Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Scott-Knot a 5% de probabilidade.

Fonte: dados da pesquisa, 2020.

Os resultados obtidos neste trabalho, mostrando que as cultivares são suscetíveis à reprodução do patógeno, concordam com os resultados obtidos por Boas *et al.* (2002), Pinto *et al.* (2005), Moens *et al.* (2006) e Tenente *et al.* (2008), que conduziram experimentos em casa de vegetação, mostrando resultados em que a reprodução do patógeno em diversas cultivares era possível, evidenciando que elas eram suscetíveis ao *M. incognita*. Bergh *et al.* (2006) comprovou também, em condição de campo, a

suscetibilidade dessas cultivares a esse patógeno, mostrando a redução da altura das plantas e do diâmetro do pseudocaule.

Há variados comportamentos do cultivar prata anã junto ao *M. incognita*. De acordo com Boas *et al.* (2002), as cultivares prata anã apresentaram-se como moderadamente resistentes ao *M. incognita*. Pinto *et al.* (2005) também considerou tal cultivar como pouco resistente a essa espécie de nematoides de galhas, enquanto no presente trabalho tal cultivar caracterizou-se como suscetível.

Essa discordância se deve, provavelmente, às metodologias utilizadas nos diversos experimentos, como níveis de inóculo, idade da planta, tempo de condução do experimento, volume do vaso, composição do substrato e condições de temperaturas (COFCEWICZ *et al.*, 2004; QUÉNÉHERVÉ, 1988). Essa teoria se confirma, pois, os resultados obtidos por Boas *et al.* (2002) e Pinto *et al.* (2005) divergiram-se em alguns pontos. Nesses experimentos, foi avaliada apenas a quantidade de ovos contida nas raízes, desconsiderando-se o substrato. Em nosso experimento, foi observada a quantidade obtida nos substratos para avaliar o FR. É importante constatar a importância de se usar a quantidade de ovos avaliada no substrato no momento de se calcular o FR, pois a não realização desse processo pode ocasionar erro bastante significativo no valor final do FR.

Algumas cultivares de bananeiras foram consideradas suscetíveis a *M. incognita* em estudos realizados por Cofcewicz *et al.* (2004), assim como no presente trabalho, mostrando que existem bananeiras com elevado FR, permitindo a multiplicação *M. incognita*, o que é preocupante, pois os nematoides causam grandes problemas à bananeira acarretando perdas inestimáveis (BERGH *et al.*, 2006), uma vez que as bananeiras são plantas de extrema importância para a alimentação nacional e internacional.

#### 4 CONCLUSÃO

Conclui-se que as cultivares de bananeiras utilizadas nas condições em que foram expostas comportaram-se como suscetíveis ao parasitismo do *M. incognita* e atuam como multiplicadores do patógeno.

#### REFERÊNCIAS

ALMEIDA, C. O.; SOUZA, J. da S.; CORDEIRO, Z. J. M. **Aspectos socioeconômicos:** banana: produção: aspectos técnicos. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2008. (Frutas do Brasil, 1).

ALMEIDA, A. M. R.; FERREIRA, L. P.; YORINORI, J. T.; SILVA, J. F. V.; HENNING, A. A. Doenças da soja. In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; BERGAMIM FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A.; REZENDE, J. A. M. **Manual de fitopatologia:** volume 2: doenças das plantas cultivadas. 3. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1997. cap. 61, p. 596-61.

- BERGH, I. V.; NGUYET, D. T. M.; NGUYEN, T. T.; NHI, H. H.; DE WAELE, D. Influence of *Pratylenchus coffeae* and *Meloidogyne* spp. on plant growth and yield of banana (*Musa* spp.) in Vietnam. **Nematology**, v. 8, n. 2, p. 265-271, 2006.
- BOAS, L. C. V.; TENENTE, R. C. V.; GONZAGA, V.; SILVA NETO, S. P da; ROCHA, H. S. Reação de clones de bananeira (*Musa* spp.) ao nematóide *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White, 1919) Chitwood, 1949, raça 2. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, n. 3, p. 690-693, 2002.
- BONETI, J. I. S.; FERRAZ, S. Modificação do método de Hussey e Barker para a extração de ovos de *Meloidogyne exigua* no cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, v. 6, n. 3, p. 553, 1981
- BORGES, A. L.; OLIVEIRA, A. M. G. **Nutrição, calagem e adubação M. Banana:** produção: aspectos técnicos. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000.
- BORGES, A. L.; SOUZA, L. da S.; ALVES, E. J. **Exigências e dafoclimáticas:** banana: produção: aspectos técnicos. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000.
- BORGES, A. L.; SOUZA, L. da S. (Ed.). **O cultivo da bananeira.** Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2004.
- CAVALCANTE, A. T.; CAVALCANTE, U. M. T. Propagação da bananeira. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 04, n. 3, p. 97-102, 1982.
- COFCEWICZ, E. T.; CARNEIRO, R. M.; CORDEIRO, C. M.; FARIA, J. L. C.; QUÉNÉHERVÉ, P. Reação de cultivares de bananeira a diferentes espécies de nematóides das galhas. **Nematologia Brasileira**, v. 28, n. 1, p. 11- 22.
- DAVIS, E. L.; MITCHUM, M. G. Nematodes: sofisticated parasit of legumes. **Plant Physiology**, Raleigh, v. 49, p. 1182-1188, 2005.
- DONG; ZHANG. Nematóides associados a diferentes cultivares de bananeira. **R. Bras. Fruticultura**, v. 1, n. 1, p. 55-59, 2006.
- FLORI, J. E. *et al.* Correlações entre características morfológicas e produtivas em bananeira. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, p. 35-40, 2007.
- FERRAZ, S.; VALLE, L. A. C. Utilização de plantas antagônicas no controle de fitonematoides. *In:* CONGRESSO NACIONAL DE NEMATOLOGIA TROPICAL, 4., 1995, Rio Quente. **Anais [...]**. Rio Quente: SBN/ONTA, 1995. p. 257-276.

JENKINS, W. R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant disease reporter**, v. 48, n. 9, p. 692, 1964.

JOHNSON, C. M.; STOUT, P. R.; BROYER, T. C.; CARLTON, A. B. Comparative chlorine requirement of different plant species. **Plant and Soil**, Berkeley, v. 8, n. 3, p. 337-353, 1957.

MOENS, T.; ARAYA, M.; SWENNEN, R.; WAELE, D. D. Reproduction and pathogenicity of *Helicotylenchus multicinctus*, *Meloidogyne incognita* and *Pratylenchus coffeae*, and their interaction with *Radopholus similis* on Musa. **Nematology**, v. 8, n. 1, p. 45-48.

MOREIRA, R. S.; SAES, L. A. C. Considerações sobre o banco de germoplasma do IAC. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 7., 1984, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: SBF/EMPASC, 1984. p. 220-236.

OLIVEIRA, C. D. **Enxertia de plantas de pimentão em *Capsicum* spp. no manejo de nematoide de galha**. 2007, 155 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Jaboticabal, 2007.

OODEY, J. B.; FRANKLIN, M. T.; HOOPER, D. J. Os nemátodos parasitas de plantas catalogados em seus anfitriões. **Tech. Comum. CommonwBur, Helminth.**, v. 30, n. 21 2005.

OOSTENBRINK, M. Major characteristics of the relation between nematodes and plants. **Mededeligen Landbowhogeschool**, v. 66, p. 3-46, 1966.

PINTO, A. C. B.; BORZUK, M.; SOUSA, A. I. de M.; TENENTE, R. C. V.; SILVA NETO, S. P. da; CARRIJO, O. A. Busca de clones de bananeira com resistência ao nematoide *Meloidogyne incognita*. **Summa Phytopathologica**, v. 31, p. 176-177, 2005.

QUÉNÉHERVÉ, P. Population of nematodes in soils under banana cv. Poyo in the Ivory Coast: 2. influence of soil texture, pH and organic matter on nematode populations. **Revue de Nématologie**, v. 11, n. 2, p. 245-251, 1988.

ROSSI, C. D. R. M. **Bananeira: cultivo sob condição irrigada**. 2. ed. Recife: SEBRAE – PE, 2005.

TENENTE, R. C. V.; FONSECA, M. B.; SOUSA-VILARDI, A. I. M.; SILVA, S. D. O.; SILVA NETO, S.; SILVA, E. G.; CARRIJO, O. A.; ARAYA, M. Reaction of different banana (*Musa* spp.) cultivars to *Meloidogyne incognita* race 1 and 4. **Nematologia Brasileira**, v. 32, n. 4, p. 285-293, 2008.

ROBERTS, P. A. Concepts and consequences of resistance. *In*: STARR, J. L.; COOK, R.; BRIDGE, J. (Ed.) **Plant resistance of parasitic nematodes**. Wallingford: CAB International, 2002. p. 23-41.

SILVA, S. de O. *et al.* Bananeira. *In*: BRUCKNER, C. H. (Ed.). **Melhoramento de Fruteiras Tropicais**. Viçosa: UFV, 2002. p. 101-157.

SILVA, G. S.; FERRAZ, S.; SANTOS, J. M. Atração, penetração e desenvolvimento de larvas de *Meloidogyne javanica* em raízes de *Crotalaria* spp. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 13, p. 151-163, 1989.

WILLIAMSON, V. M.; HUSSEY, R. S. Nematode pathogenesis and resistance in plants. **The Plant Cell**, v. 8, p. 1735-1745, 1996.

ZEM, A. C.; RODRIGUES, J. A. S. Nematóides associados a diferentes cultivares de bananeira. **R. Bras. Fruticultura**, v. 1, n. 1, p. 55-59, 2008.



# Uso de *Trichoderma harzianum* na produção de mudas de maracujazeiro

*Use of Trichoderma harzianum in the production of passion fruit seedlings*

MATHEUS REIS CAMARGOS

Discente do curso de Agronomia (UNIPAM)

E-mail: matheusreis1002@gmail.com

JANAINE MYRNA RODRIGUES REIS

Professora orientadora (UNIPAM)

E-mail: janaine@unipam.edu.br

---

**Resumo:** O maracujá é uma fruta que tem aumentado o consumo nos últimos anos, tanto *in natura* quanto em forma de polpas, e a produção de mudas de boa qualidade é essencial para garantir o bom desenvolvimento da cultura e alcançar uma maior produtividade. O objetivo do trabalho foi avaliar o fungo *Trichoderma harzianum* na forma de produto comercial como indutor de crescimento e desenvolvimento de mudas de maracujazeiro-amarelo. Os tratamentos foram constituídos por 5 doses (0,2,4,6,10 g/L) do produto comercial Trianum®, inoculados no substrato, utilizando o delineamento DBC com 4 blocos. Foram avaliados a altura da parte aérea, o diâmetro de caule, a massa seca da parte aérea e a massa seca das raízes. Após 60 dias, concluiu-se que a utilização de 6 g/L do produto Trianum® promoveu maior massa seca de parte aérea e de raízes e que não houve diferença significativa entre os tratamentos para diâmetro e altura de parte aérea.

**Palavras-chave:** Maracujá. *Passiflora edulis*. Vigor.

**Abstract:** Passion fruit is a fruit that has increased in consumption in recent years, both in natura and in the form of pulp, and the production of good quality seedlings is essential to ensure the good development of the crop and achieve greater productivity. Thus, the objective of this work was to evaluate the fungus *Trichoderma harzianum* as a commercial product as an inducer of growth and development of yellow passion fruit seedlings. The treatments consisted of 5 doses (0,2,4,6,10 g/L) of the commercial product Trianum® inoculated in the substrate, using the DBC design with 4 blocks. Shoot height, stem diameter, shoot dry mass, root dry mass were evaluated. After 60 days, it was concluded that the use of 6 g/L of the product Trianum®, promoted greater dry mass of aerial part and roots and that there was no significant difference between treatments for diameter and height of aerial part.

**Key-words:** Passion fruit. *Passiflora edulis*. Force.

---

## 1 INTRODUÇÃO

O maracujazeiro (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*), nos dias atuais, está em grande expansão no mercado de frutíferas, tanto para o consumo “in natura” como para a produção de sucos e polpas (PITA, 2012). A espécie *Passiflora edulis* possui elevado

consumo e, conseqüentemente, alta produção, sendo responsável por 95% do maracujá presente no mercado. Isso ocorre em virtude de suas vantagens como qualidade na produção do fruto, rendimento de polpa, vigor e produtividade (ZERAÍK *et al.*, 2010)

Segundo o IBGE, a produção do maracujá no Brasil no ano de 2019 foi de 593.429 toneladas, com uma área colhida de 41.584 ha, sendo Bahia, Ceará e Santa Catarina os estados com maiores números de produtividade (EMBRAPA, 2019). A forma mais utilizada para a disseminação da cultura é de propagação sexuada, por meio da utilização de mudas providas de sementes graças ao baixo custo de produção e plantas mais vigorosas (LEONEL; PEDROSO, 2005).

Entre as etapas iniciais do sistema de produção agrícola, está a produção de mudas, uma vez que esse sistema tem grande interferência no resultado final das plantas na lavoura (LEONEL; PEDROSO, 2005). Um aspecto pouco estudado na qualidade do substrato é o efeito microbiano no vigor das mudas produzidas. Considera-se que a microbiota do solo tende a efetivar resultados diretos e indiretos na qualidade dos frutos finais (ANDREOLA; FERNANDES, 2007).

A adição de agentes de desenvolvimento de plantas como microrganismos para o crescimento vegetal tende a ser uma tática de grande importância para a agricultura na atualidade, tornando-a mais sustentável e com custos menos elevados para os produtores (MACHADO *et al.*, 2012). Fungos do gênero *Trichoderma* têm grande influência no aumento da expansão do crescimento vegetativo de plântulas. O fungo tem influências positivas na germinação de sementes, na formação de substâncias que auxiliam o crescimento e a nutrição das plantas, essencialmente a interação do fósforo com a planta (OLIVEIRA *et al.*, 2012).

O *Trichoderma spp.* são fungos de reprodução assexuada e de vida livre, que se encontram com maior frequência em regiões tropicais e de clima temperado presentes no solo local (HARMAN *et al.*, 2000). Algumas espécies de *Trichoderma* têm utilização na agricultura como promotores de crescimento vegetal e no tratamento de patogenicias, pertencentes à sub-divisão *Deuteromycotina*, que engloba muitas espécies de genes diferentes (BISSET, 1991).

O objetivo desse trabalho foi avaliar a influência de diferentes doses de *Trichoderma* na produção de mudas de maracujazeiro amarelo.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Sítio Espigão, situado no município de Patos de Minas - MG, durante o período de novembro de 2020 a fevereiro de 2021. As avaliações foram realizadas no laboratório de Bromatologia, localizado no Bloco H no UNIPAM - Patos de Minas - MG.

As sementes foram semeadas em sacos de polietileno com dimensões de 12 x 20 cm, com utilização do substrato comercial Carolina Soil® e a cultivar Golden® da Feltrin Sementes. A semeadura foi realizada na profundidade de um centímetro e foram usadas três sementes por recipiente. Um desbaste foi efetuado quando as mudas alcançaram cinco centímetros de altura, com a intenção de manter uma muda por recipiente. Foi feita a irrigação diária segundo a necessidade hídrica da cultura até o dia da avaliação.

Utilizou-se o produto comercial Trianum® (*Trichoderma harzianum*), incorporado ao substrato no momento da semeadura nas dosagens: T1: controle; T2: 2 g/L; T3: 4 g/L; T4: 6 g/L; T5: 10 g/L. O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados (DBC), com quatro repetições e cinco tratamentos, totalizando 20 parcelas experimentais. Cada parcela foi constituída por seis plantas, totalizando 120 plantas.

As avaliações das mudas foram após 60 dias da emergência, e os critérios analisados foram diâmetro do caule, altura da parte aérea, massa seca das raízes e massa seca da parte aérea. A altura da parte aérea foi levada em conta a partir do nível do substrato até o topo da planta, sendo a avaliação feita com a utilização de uma régua graduada em centímetros.

Os dados de massa seca das raízes e da parte aérea foram obtidos em balança de precisão logo após as amostras passarem pela estufa de ar forçado a 65° C por 48 horas. O diâmetro do caule foi avaliado em milímetros com a utilização de um paquímetro, seguindo como avaliação a distância entre o colo da planta e a extremidade do broto terminal do ramo principal.

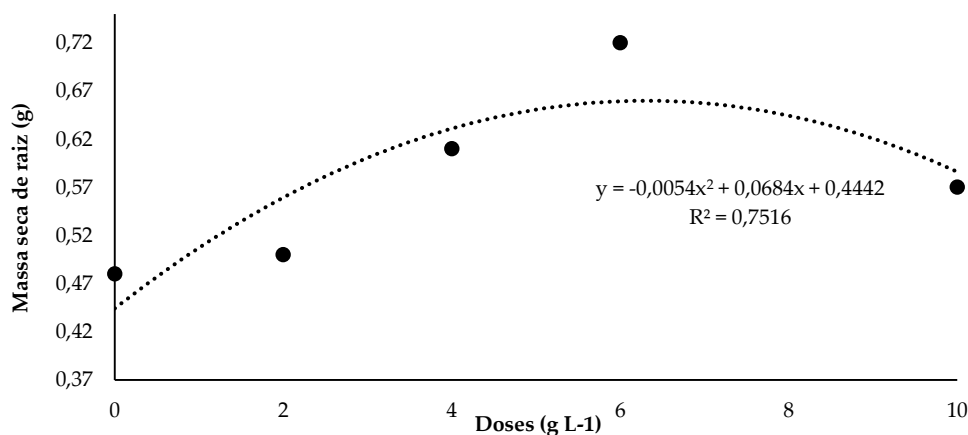
Os dados foram submetidos à análise de variância a 5% de significância, e as medidas ajustadas aos modelos de regressão com o auxílio do software Sisvar (FERREIRA, 2014).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para os parâmetros de massa seca da parte aérea e raízes, verificou-se efeito significativo das doses de *Trichoderma harzianum* pela análise de regressão ao nível de 5% de significância.

Quando avaliada a massa seca de raízes, obteve-se um ajuste quadrático, em que se verificou um incremento em relação ao T1 (0 g/L) com o aumento das doses, atingindo o ponto máximo no T4 (6 g/L), como pode ser observado na (Figura 1).

**Figura 1:** Massa seca de raiz (g) de mudas de maracujazeiro em diferentes doses de *Trichoderma harzianum* aplicados no substrato, Patos de Minas, Minas Gerais, 2021



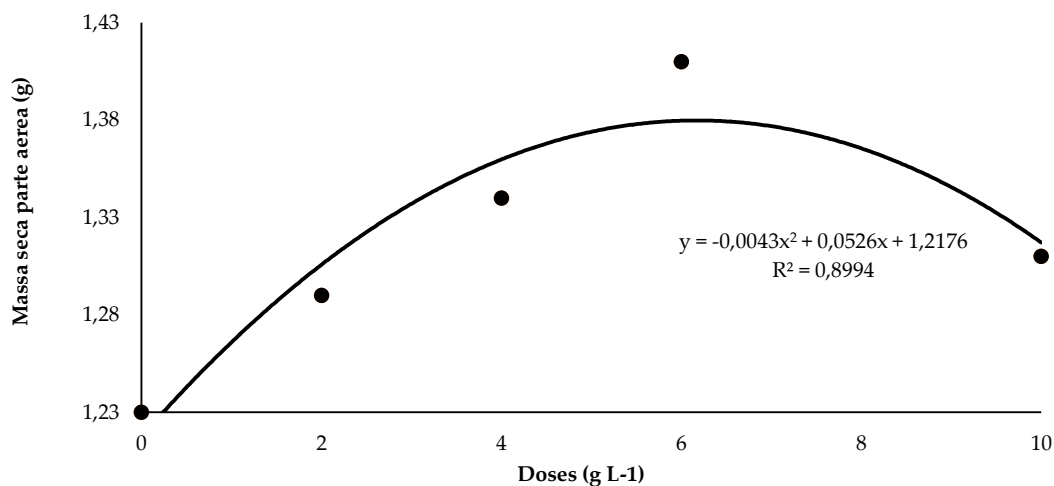
Fonte: dados da pesquisa, 2021.

Resultados de incremento de matéria seca de raízes com a inoculação de sementes de milho híbrido com a utilização do *Trichoderma harzianum* foram observados por Resende *et al.* (2004), em experimento conduzido em casa de vegetação.

O auxílio no desenvolvimento radicular em plantas com a aplicação de *Trichoderma harzianum* em diferentes doses também foi observado por Harman (2000) em culturas como soja (*Glycine Max*), pimentão (*Capsicum annuum Group*) e tomate (*Solanum lycopersicum*), em que foi obtido incremento na massa de raízes, sugerindo o provável auxílio do fungo na absorção de nutrientes e no crescimento radicular.

Em relação à massa seca da parte aérea, verificou-se que a partir do T1 (0g) até o tratamento T4 (6g) foi observado um acréscimo referente à dosagem inoculada no substrato (Figura 2).

**Figura 2:** Massa seca da parte aérea (g) de mudas de maracujazeiro em diferentes doses de *Trichoderma harzianum* aplicados no substrato, Patos de Minas, Minas Gerais, 2021



Fonte: dados da pesquisa, 2021.

Resultados que reforçam a utilização do *Trichoderma* como indutor de crescimento em plantas foram observados por Carvalho Filho (2008), quando foi analisado o desenvolvimento de plântulas de *Eucalipus urophylla* com a utilização de diferentes cepas do fungo, em que se obteve acréscimo na matéria seca da parte aérea entre 57% e 136%.

De acordo com a análise de variância, não houve efeitos significativos dos tratamentos para as características avaliadas: diâmetro do caule e altura de plantas ( $p > 0,05$ ) (Tabela 1).

Wagatsuma (2012), ao avaliar o diâmetro de caule em plântulas de milho, em que as sementes foram inoculadas com *Trichoderma harzianum* aos 7, 21, 35, 63, 77 e 91 dias na dosagem de 100ml para casa sessenta mil sementes, não verificou o acréscimo devido à utilização do fungo.

**Tabela 1:** Diâmetro do caule e altura de parte aérea de mudas de maracujazeiro em diferentes doses de *Trichoderma harzianum* aplicados no substrato, Patos de Minas, Minas Gerais, 2021

Doses (g/L)	Diâmetro caule(mm) *ns	Altura parte aérea (cm) *ns
0	0.32	14.42
2	0.3	14.07
4	0.26	14.36
6	0.34	14.7
10	0.36	15.01
<b>CV%</b>	<b>18.31</b>	<b>15.48</b>

\* ns: não significativo a 5% de probabilidade

Fonte: dados da pesquisa, 2021.

Resende *et al.* (2004), avaliando o incremento da altura de plântulas de milho as quais foram inoculadas com o *Trichoderma*, também não obteve resultados significativos relacionados com a utilização do fungo.

A utilização do fungo na promoção de crescimento de mudas de cambará (*Gochmatia polymorpha* (Less.) Cabrera) foi observada por Machado *et al.* (2015), em que utilizaram dois isolados de *Trichoderma viride* e dois isolados de *Trichoderma harzianum*. Foram utilizados dois produtos comerciais inoculados ao substrato, em que as melhores médias em relação ao acréscimo na altura de plantas, comprimento de raízes, número de folhas e melhor germinação foram obtidas quando utilizados os isolados de *Trichoderma harzianum*.

#### 4 CONCLUSÃO

A utilização do fungo *Trichoderma harzianum* na produção de mudas de maracujazeiro se mostrou eficaz quando avaliada ao incremento do peso de matéria seca das raízes e da parte aérea, em que a dose de 6 g/L proporcionou um melhor resultado.

Não foram observadas diferenças significativas entre as doses utilizadas, para altura de parte aérea e diâmetro das plantas.

#### REFERÊNCIAS

ANDREOLA, Faustino; FERNANDES, S. A. P. A microbiota do solo na agricultura orgânica e no manejo das culturas. SILVEIRA, A. P. D.; FREITAS, S. S. **Microbiota do solo e qualidade ambiental**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2007. p. 21-37.

BISSETT, John. A revision of the genus *Trichoderma*. II. Infrageneric classification. **Canadian journal of botany**, v. 69, n. 11, p. 2357-2372, 1991.

CARVALHO FILHO, Magno Rodrigues de. ***Trichoderma* spp. como agentes de biocontrole de *Cylindrocladium scoparium* e como promotores de crescimento em mudas de eucalipto**. 2018. 73 f. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade de Brasília, 2008.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Mandioca e frutíferas. Cultivos. **Produção brasileira de maracujá em 2019**. Disponível em: [http://www.cnpmf.embrapa.br/Base\\_de\\_Dados/index\\_pdf/dados/brasil/maracuja/b1\\_maracuja.pdf](http://www.cnpmf.embrapa.br/Base_de_Dados/index_pdf/dados/brasil/maracuja/b1_maracuja.pdf).

FERREIRA, Daniel Furtado. Sisvar: guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014.

HARMAN, Gary E. Myths and dogmas of biocontrol changes in perceptions derived from research on *Trichoderma harzianum* T-22. **Plant disease**, v. 84, n. 4, p. 377-393, 2000.

LEONEL, Sarita; PEDROSO, Carlos Jorge. Produção de mudas de maracujazeiro-doce com o uso de biorregulador. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 27, n. 1, p. 107-109, 2005.

MACHADO, Daniele Franco Martins *et al.* Trichoderma no Brasil: o fungo e o bioagente. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 35, n. 1, p. 274-288, 2012.

MACHADO, Daniele Franco Martins *et al.* *Trichoderma* spp. na emergência e crescimento de mudas de cambará (*Gochmatia polymorpha* (Less.) Cabrera). **Revista Árvore**, v. 39, n. 1, p. 167-176, 2015.

OLIVEIRA, Ariádila Gonçalves de *et al.* Potencial de solubilização de fosfato e produção de AIA por *Trichoderma* spp. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 3, p. 149-155, 2012.

PITA, J. S. L. **Caracterização físico-química e nutricional da polpa e farinha da casca de maracujazeiros do mato e amarelo**. 2012. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de alimentos). Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2012.

RESENDE, Maria De Lourdes *et al.* Inoculação de sementes de milho utilizando o *Trichoderma harzianum* como promotor de crescimento. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, n. 4, p. 793-798, 2004.

WAGATSUMA, Eder *et al.* Influência de *Azospirillum brasilense* e *Trichoderma harzianum* na cultura do milho. **Revista Cultivando o Saber**, v. 5, n. 3, p. 132-141, 2012.

ZERAIK, Maria Luiza *et al.* Maracujá: um alimento funcional?. **Revista Brasileira de farmacognosia**, v. 20, n. 3, p. 459-471, 2010.

# Caracterização física do resíduo de mineração de fosfato no Alto do Paranaíba (MG)

*Physical characterization of phosphate mining waste in Alto do Paranaíba (MG)*

GISELE FIGUEIREDO SANCHES

Discente do curso de Engenharia Civil – UNIPAM  
E-mail: giselesanches@unipam.edu.br

SHEILLA PEREIRA VIEIRA

Professora orientadora – UNIPAM  
E-mail: sheilapv@unipam.edu.br

---

**Resumo:** Na mineração, existe um conjunto de operações denominado como lavra, atividade na qual são gerados grandes volumes de massas de materiais, sendo eles extraídos ou movimentados. Durante esse processo, são gerados os resíduos estéreis e os rejeitos. A disposição do estéril geralmente é feita sob a forma de pilhas, e a construção destas corresponde a um valor significativo nos custos de uma empresa de mineração. A pesquisa teve como objetivo analisar as características físicas do estéril oriundo da mineração de fosfato, através da realização dos ensaios normatizados: análise granulométrica por sedimentação, massa específica, limites de Atterberg (plasticidade e liquidez), compactação Proctor.

**Palavras-chave:** Mineração. Fosfato. Estéril. Construção civil.

**Abstract:** In mining, there is a set of operations called mining, an activity in which large volumes of material masses are generated, being extracted or moved. During this process, sterile waste and tailings are generated. The disposal of waste is generally done in the form of piles, and the construction of these corresponds to a significant amount in the costs of a mining company. The research aimed to analyze the physical characteristics of the waste arising from phosphate mining, through standardized tests: granulometric analysis by sedimentation, specific mass, Atterberg limits (plasticity and liquidity), Proctor compaction.

**Keywords:** Mining. Phosphate. Sterile. Construction.

---

## 1 INTRODUÇÃO

A mineração é um importante setor da cadeia produtiva e econômica nacional. Nos últimos anos, têm sido discutidos exaustivamente os rumos desses segmentos quanto à segurança de suas operações, principalmente sobre a deposição de rejeitos em barragens.

Durante a atividade de mineração, são gerados grandes volumes de massas de materiais, sendo eles extraídos ou movimentados. Através dessa atividade, são obtidos dois resíduos sólidos: os estéreis e rejeitos. A quantificação desses resíduos depende do processo utilizado na extração do minério, da concentração da substância do mineral na

rocha matriz e da localização da jazida em relação à superfície; além disso, a complexidade, a diversidade de operações e a tecnologia utilizada no processo de extração e beneficiamento dos minerais dificultam os dados consistentes, pois as informações estão dispersas entre várias agências governamentais (CAVALCANTE; SILVA; VIANA, 2012).

O estéril é originado do decapeamento, ou seja, são resíduos em que não houve processo e são removidos da área da lavra para permitir livre acesso para a exploração do minério. É composto por partículas de rochas e de solo com diferentes granulometrias, além de ar, água e matéria orgânica. Não possui valor econômico, mas necessita ser transportado e estocado. A disposição do estéril geralmente é feita sob a forma de pilhas e a construção delas corresponde a um valor significativo nos custos de uma empresa de mineração (PETRONILHO, 2010).

Em 2017, foram geradas 272.248.395,503 toneladas de estéril, um valor menor que os anos anteriores, mas ainda é bem expressivo. Todo esse material estéril é movimentado e disposto em forma de pilhas, depósitos ou preenchimento de cavas exauridas. Por falta da disponibilidade de áreas, pelo limite da concessão do empreendimento, as mineradoras veem enfrentado grandes problemas de estocagem desses materiais, com isso sendo necessária a implementação de alternativa do uso desse material estéril (SEERIG, 2019).

O presente estudo visa qualificar e quantificar as características físicas e mecânicas do estéril da mineração de fosfatos de uma mineradora localizada na região do Alto do Paranaíba (MG).

## 1.1 OBJETIVOS

O estudo teve como objetivo geral compreender as características físicas do resíduo oriundo de uma mineração de fosfato localizada no Alto do Paranaíba (MG). Para que o objetivo geral fosse alcançado, foram traçados os seguintes objetivos específicos: (i) realizar a caracterização física do resíduo através dos ensaios laboratoriais: análise granulométrica, massa específica, limites de consistência e compactação Proctor; (ii) comparar os resultados de caracterização física e mecânica com parâmetros normatizados existentes para solos.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A investigação realizada neste trabalho é pertinente, uma vez que há poucos estudos destinados à caracterização de materiais como estéril para uma possível viabilidade desse material. Nesse sentido, o presente trabalho justifica-se em função de caracterizar e levantar dados físicos e mecânicos do estéril da mineração de fosfato, de origem de uma mineradora localizada no Alto do Paranaíba (MG), de modo a proporcionar análise da viabilidade técnica para aplicação futura do resíduo e consequentemente reduzir o volume de estocagem, diminuindo, assim, a área de degradação ambiental.



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Apresentam-se a seguir conceitos teóricos a respeito do processo de mineração e extração do fosfato, métodos de estocagem de estéreis e sistema de decomposição de rejeitos.

### 2.1 MINERAÇÃO

Segundo a IBRAM (2016), minerar compreende o conjunto das atividades de pesquisar, mensurar, extrair, processar, de modo a transformar as commodities em benefícios para economia e sociedade. Na Figura 1, há uma vista esquemática de uma mineradora.

**Figura 1:** Vista esquemática de mineradora



Fonte: IBRAM, 2016.

No mundo, a mineração é considerada economicamente uma das principais atividades do setor produtivo. Também é sabido que esse importante setor da economia é responsável por diversos impactos socioambientais (GOMES; COTA; NASCIMENTO, s/d).

#### 2.1.1 História da mineração de fosfato

O fosfato é usado principalmente na produção de fertilizantes. Segundo Souza e Fonseca (2010), a única forma de extração do fósforo de maneira viável são as rochas fosfáticas, que se encontram depositadas em torno de 85% em regiões sedimentares (localizadas nos Estados Unidos, sudeste do México, Marrocos e Noroeste do Saara e Oriente Médio) e 15 % de origens ígneas (localizadas na África do Sul, Rússia, Finlândia e Brasil, entre outros). Em função do hemisfério norte ter sido privilegiado com grandes concentrações de tais rochas, são esses os países também tradicionais na extração, processamento e exportação.

No Brasil, a indústria da mineração de fosfato tem recebido destaque econômico em função de o fosfato ser um dos principais insumos na fabricação de fertilização. O

aumento da capacidade produtiva permitirá um maior equilíbrio na balança comercial brasileira em função de grande parte desse insumo ser atualmente importado. No ano de 2007, mineradoras mineiras contribuíram, respectivamente, com 53,7% e 58,9%, da oferta interna, dos insumos, ácido fosfórico e sulfúrico para fertilizantes; já o Estado de Goiás disponibilizou 28,8% e 28,0% de ambos; o Estado de São Paulo, com 17,5% de participação na produção doméstica de ácido fosfórico (GOMES; COTA; NASCIMENTO, s/d).

De acordo com o Projeto serradosalitre (2019), a região de Serra do Salitre conta com importante complexo minero industrial, que é classificado como um projeto de classe mundial em função dos investimentos que giram em torno de 2,6 bilhões de reais e capacidades produtivas conforme abaixo:

- ✓ 1,2 Milhão de toneladas/ano de concentrado fosfático;
- ✓ 950 mil toneladas/ano de fertilizantes granulados;
- ✓ 1 milhão de toneladas/ano de ácido sulfúrico;
- ✓ 250 mil toneladas/ano de ácido fosfórico.

Esse projeto irá permitir ao país reduzir a importação de 950 mil toneladas por ano de fertilizantes fosfatados.

## 2.2 ESTÉRIL

Através da atividade de mineração a céu aberto, retira-se um grande volume de estéril, o qual não é aproveitável economicamente na atualidade. Geralmente é estocado sob a forma de pilhas. Sendo assim, é necessário que se estabeleça uma área adequada para a disposição do material; para isso, devem ser realizados estudos que visem à viabilidade técnica e econômica para o processo produtivo ser mais efetivo. No entanto, deve-se dá importância ao volume de estéril retirado no decorrer da operação de lavra, à área de armazenamento e à distância média de transporte (COSTA, 2017).

O estéril, por conter diversos tamanhos nas partículas, dificulta o projeto de construção de depósitos para a sua disposição. As pilhas de estéril são constituídas por uma estrutura complexa, devido ao grande volume de material retirado na mina, e requerem áreas maiores para a sua construção. Essas estruturas podem sofrer de pequenos a grandes colapsos se submetidas a abalos por tremores de terra, caso o sistema de drenagem for insuficiente ou se ocorre a má compactação do material que as constitui. Desse modo, são de extrema importância os estudos geotécnicos, assim como os estudos hidrológicos e hidrogeológicos das pilhas de estéril, pois podem acarretar problemas relacionados à saturação do maciço, devido aos sistemas inadequados de drenagem, e às características de resistência do material de fundação e do estéril, podem gerar grandes deformações. Essas deformações, por sua vez, podem aumentar o custo relativo à manutenção do depósito, além de causar grande impacto ambiental (SALIBA, 2007).

De acordo com Petronilho (2010), a construção de um depósito de estéril, além de ser um projeto de alto custo, gera um grande impacto ambiental. Para a elaboração do projeto de uma pilha de estéril, devem-se levar em conta algumas variáveis importantes na elaboração, como volume de estéril retirado no processo da operação de lavra, localidade para construção do depósito, capacidade de armazenamento da

possível área para disposição, distâncias de transporte, condições de acesso, características da área (relevo, fundação, topografia, etc.), condições hídricas locais e os impactos que podem ser gerados.

Segundo Costa (2017), drenagem, proteção vegetal, retenção de finos gerados por carreamento de sólidos durante e após a formação da pilha, manutenção ao longo dos anos e transporte são as atividades que geram os maiores gastos econômicos durante o processo na disposição de estéril.

De acordo com Seerig (2019), foi levantada, nos anos de 2010 a 2018, uma somatória do total de 4.490.733.411,13 toneladas de Resíduos Sólidos de Mineração ao longo, sendo que só de estéril foi gerada uma somatória de 2.866.397.527, 53. A Tabela 1 mostra o levantamento do volume de estéril e rejeito no estado de Minas Gerais, levando em conta toda a extração de bens minerais no estado por ano.

**Tabela 1:** Levantamento de rejeitos e estéreis 2010 a 2018 no estado de Minas Gerais

ANO	ESTÉRIL (t)	REJEITO (t)	TOTAL(t)
2017 - 2018	272.248.395,503	289.911.703,261	562.160.098,764
2016 - 2017	293.882.952,916	172.882.183,068	466.765.135,984
2015 - 2016	363.306.236,217	242.357.728,410	605.663.964,627
2014 - 2015	367.595.451,000	200.074.420,000	567.669.871,000
2013 - 2014	379.095.050,975	151.618.473,050	530.713.524,025
2012 - 2013	501.189.419,440	170.118.179,790	671.307.599,230
2011 - 2012	428.751.253,202	184.457.533,129	613.208.786,331
2010 - 2011	260.328.768,273	212.915.662,894	473.244.431,167

Fonte: Seerig, 2019.

Analisando a Tabela 1, nota-se que, a partir de 2012, houve diminuição do volume total de estéril e rejeito gerados, mas vale ressaltar que houve diminuição da produção de minerais nesses anos. Porém, o valor de 272.248.395,503 de estéril em 2017 ainda é bem expressivo. Todo esse material estéril é movimentado e disposto em forma de pilhas, depósitos ou preenchimento de cavas exauridas. Por falta da disponibilidade de áreas, pelo limite da concessão do empreendimento, as mineradoras vêm enfrentando grandes problemas de estocagem desses materiais, sendo necessária a implementação de alternativa do uso desse material estéril (SEERIG, 2019).

### 2.3 REJEITOS FOSFÁTICOS

Segundo Santos, Sobral e Araújo (2002), os rejeitos são provenientes do processo de concentração; na etapa de beneficiamento do minério, aproximadamente 85% da massa alimentada na planta irão se tornar rejeitos no final do processo.

Para Bittar (2006), os rejeitos gerados são inicialmente são de três tipos:

- ✓ Origem da flotação: ciclados e utilizados nas construções das barragens;
- ✓ Magnéticos: oriundos da etapa de concentração magnética;
- ✓ Lamas: depositadas nos reservatórios.

### 3 METODOLOGIA

A coleta de amostras é considerada fator crítico nos processos de análise. A depender do modo de se realizar a coleta do material, tem-se grande chance de influenciar os resultados do estudo. Nessa etapa, são apresentados todos os materiais e métodos que foram utilizados para a realização da pesquisa experimental. O material (estéril) fornecido por uma empresa de mineração, localizada no Alto do Paranaíba (MG), foi entregue embalado para evitar a perda de umidade e devidamente armazenado no quarto úmido de acordo com a norma ABNT NBR 6457:2016. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Análises Tecnológicas de Materiais de Construção do Centro Universitário de Patos de Minas.

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DO ESTÉRIL

Para a caracterização física, foram realizados os ensaios de análise granulométrica (ABNT NBR 7181:2016), massa específica dos grãos de solo (NBR 6458:2016 – Anexo B), limite de liquidez (ABNT NBR 6459:2016), limite de plasticidade (ABNT NBR 7180:2016) e compactação Proctor (ABNT NBR 7182:2016).

##### 3.1.1 Análise granulométrica

A análise granulométrica determinou-se pelas dimensões das partículas do solo e das proporções relativas em que se encontram na massa total do solo ensaiado. Foi utilizada a norma ABNT NBR 7181: 2016 - Solos – Análise Granulométrica. Essa análise foi realizada usando o método de peneiramento (Figura 2a) e sedimentação (Figura 2b).

**Figura 2:** ABNT NBR 7181 – “Solo – Análise granulométrica”

(a) peneiramento grosso



(b) sedimentação



Fonte: arquivo dos autores, 2020.

Após os ensaios, foram obtidos os valores do peneiramento grosso, sedimentação e peneiramento fino, para os devidos cálculos.

### 3.1.2 Massa específica

A massa específica é um dos principais índices qualitativos dos grãos e essa propriedade é influenciada por fatores como teor de impurezas, variedade e teor de água. Este ensaio foi realizado com o estéril, segundo o Anexo B da ABNT NBR 6458:2016, que determina a massa específica de grãos de solo que passam na peneira de 4,8mm, pelo método do picnômetro (Figura 3).

**Figura 3:** Ensaio de massa específica pelo método do picnômetro.



Fonte: arquivo dos autores, 2020.

Foram anotadas a umidade das amostras ( $W$ ), a massa das amostras úmidas ( $M1$ ), a massa do picnômetro mais a água e amostra ( $M2$ ), a temperatura da água ( $T$ ) e, por último, a massa do picnômetro cheio de água até a marca de referência. Logo após foram feitos os cálculos para se achar a massa específica dos grãos.

### 3.1.3 Limite de liquidez

O limite de liquidez ( $LL$ ) é definido pela condição do solo onde seu percentual de água o deixa mais fluído (PINTO, 2006).

Para a determinação do limite de liquidez, utilizou-se do método padronizado por Arthur Casagrande. Através do teor de umidade em que o sulco se fecha com número de 25 golpes, sendo esta a resistência que o solo tem para se fechar, esse valor obtido é necessário para obtenção da reta de escoamento. Para a realização do ensaio, adotaram-se os procedimentos da norma ABNT NBR 6459: 2016. A Figura 4 mostra a execução do ensaio de casa grande.

**Figura 4:** Ensaio de Casagrande



Fonte: arquivo dos autores, 2020.

Feito o ensaio e suas repetições com umidades diferentes, obteve-se o teor de umidade correspondente a 25 golpes, resultando assim no valor do LL do ensaio em porcentagem.

### 3.1.4 Limite de plasticidade

O limite de plasticidade (LP) ocorre com a perda de umidade no solo, com isso o solo fica plástico; com o aumento do percentual da perda de água, o mesmo se torna quebradiço (PINTO, 2006).

De acordo com a norma ABNT NBR 7180:2016, foi utilizado o menor teor de água para moldar um corpo de prova sobre uma placa de vidro na forma de um cilindro de 3 mm de diâmetro e 100 mm de comprimento sem fraturar, conforme a Figura 5 e levado à estufa com temperatura de 105°C a 110°C, logo após determinado o limite de plasticidade.

**Figura 5:** Ensaio de limite de plasticidade



Fonte: arquivo dos autores, 2020.

O processo foi repetido de modo a obter pelo menos três valores de umidade. Portanto, o limite de plasticidade foi a média dos valores de umidade considerados satisfatórios (pelo menos três) sendo expresso em porcentagem.

### 3.1.5 Compactação Proctor

Em 1933, deu-se início a técnica de compactação através das observações feitas pelo engenheiro norte-americano Proctor. Segundo ele, aplicando-se certa energia de compactação (número de golpes de um soquete padronizado sobre o solo contido num molde), a massa específica resultante é função da umidade em que o solo estiver. Ao se compactar com uma umidade baixa, o atrito é muito alto entre as partículas, assim não se consegue uma redução significativa dos vazios; também se compactar com maiores umidades, a água provoca efeito de lubrificação entre as partículas, deslizando-se entre si, tornando-se mais compacto (PINTO, 2006).

O ensaio seguiu conforme a norma ABNT NBR 7182:2016, sendo que a curva de compactação foi obtida através de cinco amostras do mesmo material. Foi aplicada a energia de Proctor Normal, utilizando um cilindro pequeno no qual se colocou o estéril em três camadas, sendo que para cada camada aplicaram-se 26 golpes. A Figura 6 mostra pesando o cilindro mais o material compactado.

**Figura 6:** Pesagem do material compactado



Fonte: arquivo dos autores, 2020.

Logo após os ensaios, foram utilizados os dados obtidos para a elaboração da curva de compactação, em que se pôde analisar a umidade ótima.

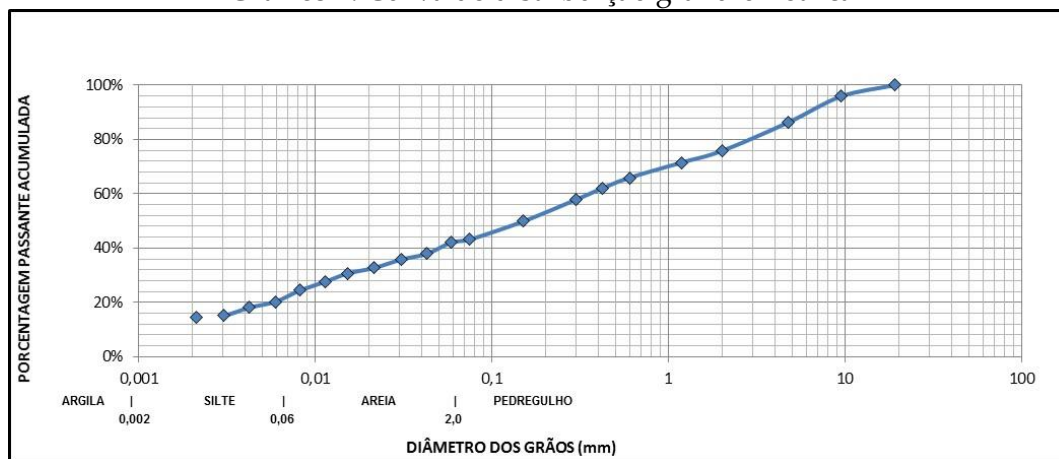
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste item, são apresentados os resultados de acordo com as etapas da metodologia. Os dados coletados durante a execução dos ensaios laboratoriais encontram-se nos apêndices.

#### 4.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR SEDIMENTAÇÃO

Após os dados gerados no ensaio de sedimentação, realizaram-se os cálculos para obter os diâmetros das partículas e porcentagem de suspensão. Por meio dos resultados obtidos com o peneiramento grosso e com o peneiramento fino, traçou-se uma curva com a distribuição granulométrica dos valores das aberturas das peneiras e as porcentagens passantes acumuladas, Gráfico 1.

**Gráfico 1:** Curva de distribuição granulométrica



Fonte: dados da pesquisa, 2020.

Pode-se observar que, no estéril, o predominante é o silte (34,49%), que apresentou uma pequena porcentagem em relação à da areia (33,64%), posteriormente pedregulhos (24,18%) e, por último, 7,68 % de argila, segundo a norma ABNT NBR 6502:1995. Pela classificação rodoviária, o estéril equivale a um solo silteoso, de qualidade regular e fraco para utilização em subleitos de rodovias.

#### 4.2 DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO ESTÉRIL

De acordo com o Anexo B da norma ABNT NBR 6458:2016, os dados obtidos através das duas amostras ensaiadas são de 2,87 e 2,91. A Tabela 2 representa a média de massa específica do estéril.

**Tabela 2:** Massa específica do estéril

Material	Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )
Estéril	2,89

Fonte: dados da pesquisa, 2020.

A densidade de um material está relacionada ao grau de concentração da massa do agregado em um determinado volume sem considerar os poros e espaços vazios formados entre eles.

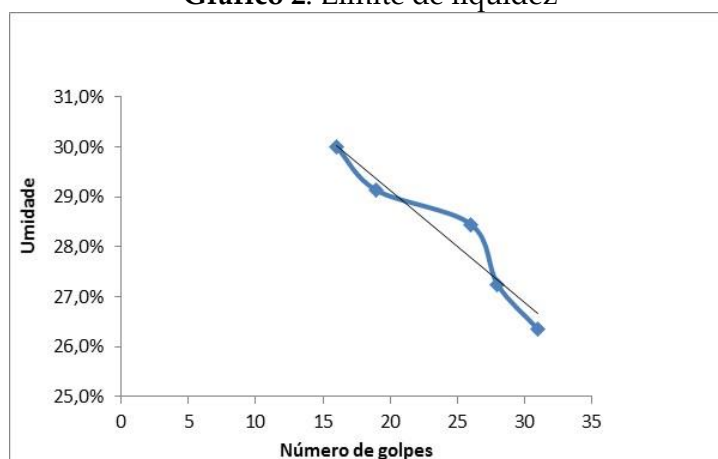


Segundo Caixeta (2018), quando se obtêm os valores médios de massa específica maiores que  $2,7 \text{ g/cm}^3$ , são característicos dos minerais de quartzo, caulinita, muscovita, feldspatos sódicos, cálcicos e potássicos, hornblenda e montmorilonita.

#### 4.3 LIMITE LIQUIDEZ

Depois de feito o ensaio, o Gráfico 2 mostra o número de golpes por teor de umidade, pôde-se analisar o resultado do ensaio de LL feito com a amostra de estéril.

**Gráfico 2: Limite de liquidez**



Fonte: dados da pesquisa, 2020.

Foi possível verificar que, para o valor de 25 golpes definidos pela norma, obteve-se, para o limite de liquidez, o valor de umidade igual a 28%. Pela tabela de AASHTO, é classificado com A4 (siltoso) e classificado pela SUCS como um material siltoso de baixa compressibilidade (ML).

#### 4.4 LIMITE DE PLASTICIDADE

Através do ensaio realizado, foi calculada a média dos três valores satisfatórios, resultando em uma média de 22,82%. O LP do estéril, para atender a norma, é o valor inteiro mais próximo 23%.

Por meio dos valores dos limites obtidos e segundo a norma ABNT NBR 7180:2016, foi possível obter o Índice de Plasticidade (IP) fazendo a diferença entre o LL e o LP, resultando em 5%, por conter menor percentual de argila o estéril pode-se ser classificado como solo fracamente plástico, pois o IP do estéril se encontra entre 1 a 7%.

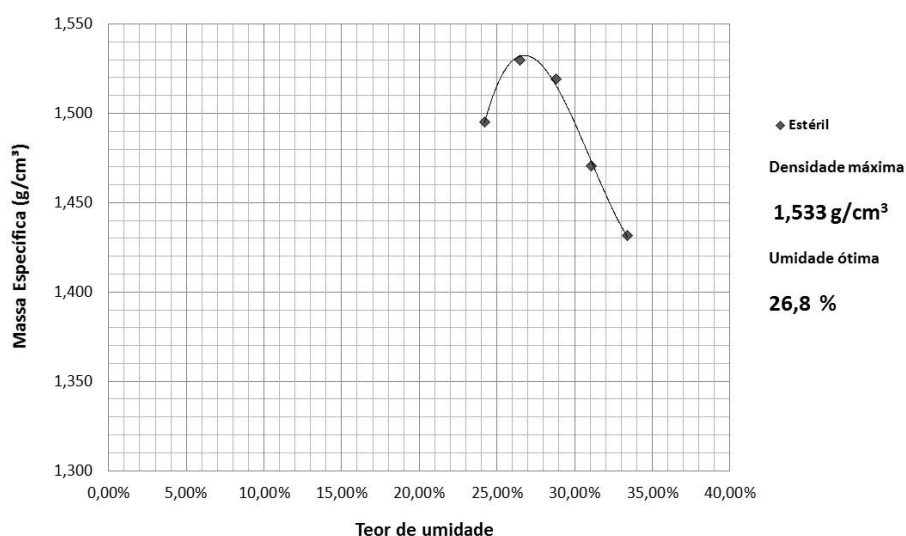
Foi possível também obter o índice de consistência (IC) através dos valores de LL, IP e h (umidade natural da amostra), em que h equivale a 8,8%. IC é a diferença de LL e h por IP, resultando no valor de 2,61.

#### 4.5 COMPACTAÇÃO

Com as massas específicas secas determinadas e os valores do teor de umidade de cada ensaio, foi possível traçar a curva de compactação. Foi possível correlacionar a umidade ótima para cada traço no eixo das abscissas e a massa específica seca no eixo das ordenadas.

A mistura, quando compactada, tende a ter a diminuição dos vazios e consequentemente a variação da umidade de água acaba diminuindo, umidade que interfere diretamente na densidade da mistura. No Gráfico 3, pode ser analisado ao topo a umidade ótima da compactação do estéril.

**Gráfico 3: Compactação Proctor**



Fonte: dados da pesquisa, 2020.

Segundo Caputo (1988), os parâmetros da compactação se deram de forma esperada, pois o estéril possui um valor de umidade ótima de 26,8% e a densidade máxima de 1,53 g/cm, enquadrando-se na média para materiais silteosos.

#### 5 CONCLUSÃO

Com o aumento na atividade de mineração para a extração de minérios, vêm aumentando também os impactos socioambientais; com isso, cada vez mais estudiosos têm analisado, por meio de estudos experimentais, a viabilidade para esses resíduos descartados no meio ambiente. O presente estudo possibilitou analisar e caracterizar o estéril oriundo de mineração de fosfato de uma mineradora localizada no Alto do Paranaíba (MG).

Através do ensaio de análise granulométrica, identificou-se que o estéril é composto por materiais silteosos. O material silteoso é considerado um intermediário entre a areia e a argila. Contém materiais finos e não tem uma boa coesão e plasticidade, tornando-o um solo instável, favorecendo a ocorrência de processos erosivos.

Na análise empreendida, a massa específica do estéril é semelhante aos solos comuns. Por meio dos dados obtidos no ensaio de compactação, foi possível identificar a umidade ótima de 26,8% e massa específica de 1,533 g/cm<sup>3</sup>.

Com os resultados obtidos através dos ensaios de limite de liquidez (LL) e limite de plasticidade (LP), obteve-se o índice de plasticidade (IP), sendo possível classificar a amostra do estéril como material siltoso de baixa compressibilidade e fracamente plástico por apresentar IP = 5%. A consistência do solo pode ser classificada, segundo a NBR-6502, como dura, pois apresentou como resultado o valor de IC igual a 2,61.

O estéril, por se tratar de um solo, pode variar suas características físicas. Essas variações se dão em função das diferentes áreas geológicas da qual ele é extraído e podem diferenciar das de estudos correlacionados. Caixeta (2018) apresentou, em sua pesquisa, a viabilidade para obras de alteamento de jusante. De acordo com Graças (2018), o estéril é viável para camadas de base e sub-base em pavimentação viária. Lopes (2018) apresentou estudos com a substituição parcial do agregado graúdo por estéril na fabricação de concreto; já Sanches (2020) apresentou resultados satisfatórios para substituição parcial do agregado miúdo por estéril na fabricação de argamassa de assentamento.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6458**: Agregados - Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Solo - Análise granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180**: Solo – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182**: Solo – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502:1995**: Rochas e solos – Terminologia. Rio de Janeiro, 1995.

BITTAR, Rafael Jabur. **Caracterização tecnológica de rejeitos de fosfato e análises de estabilidade da barragem de rejeitos B5 da Bunge Fertilizantes S/A**. 2006. 279 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2006.

CAIXETA, Ana Paula Camillo. **Estudos da viabilidade da utilização de estéreis de mina em obras de alteamento a jusante**. Estudo de caso: Barragem de rejeitos de Mirim. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geotécnica) – Escola de Minas da Universidade de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1988.

CAVALCANTE, André Luís Brasil; SILVA, Ana Paula Moreira; VIANA, João Paulo. **Diagnóstico dos resíduos sólidos da atividade de mineração de substâncias não energéticas**. Brasília: IPEA, 2012.

COSTA, Bruna Starling. **Simulação de alternativas locais de depósito de estéril para uma mina de fosfato**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia de Minas. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Araxá, 2017.

GOMES, A. M. M. M.; COTA, G.; N., O. L. **Caracterização de lama de rejeito de beneficiamento de minério de ferro para construção de diques de concreto**. [s/d]. Disponível em: <https://even3.blob.core.windows.net/anais/83538.pdf>.

GRAÇAS, José Geraldo Marques das. **Análise da viabilidade de utilização de estéril de fosfato do complexo mineral de Patrocínio - MG em camadas de base e sub-base**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil. Centro Universitário do Cerrado Patrocínio. Patrocínio, 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Gestão e Manejo de Resíduos de Mineração**. Brasília, 2016. Disponível em: <http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00006222.pdf>.

LOPES, Diogo Faleiros. **Análise técnica da substituição parcial e total do agregado graúdo por estéril escalpado de mineração destinado a fabricação de concreto**. 2018. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Catalão, 2018.

PETRONILHO, M. R. **Avaliação do comportamento geotécnico de pilhas de estéril por meio de análises de risco**. 2010. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.

PINTO, C. S. **Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

PROJETOSERRADOSALITRE. **Complexo Minerioindustrial de Serra do Salitre: um Projeto de Classe Mundial**. Disponível em: <https://www.projetoserradosalitre.com.br/o-projeto>.

SALIBA, F. P. M. **Avaliação hidrogeotécnica da fundação da pilha de estéril nº 5 da Mina do Andrade – Bela Vista de Minas (Minas Gerais)**. 2007. Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

SANCHES, Gisele Figueiredo. **Análise da substituição parcial do agregado miúdo por estéril na produção de argamassa de assentamento**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil. Centro Universitário de Patos de Minas. Patos de Minas, 2020.

SANTOS, R. L. C.; SOBRAL, L. G. S.; ARAÚJO, R. V. V. Produção de fosfato no Brasil: complexo de mineração de Tapira / Fosfertil. *In: XIX ENTMME*, 2002, Recife (PE).

SEERIG, Tamiris. **Estéreis em minas de minério de ferro: sua caracterização como material pozolânico após calcinação em forno flash**. 2019. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

SOUZA, Antônio Eleutério; FONSECA, David Siqueira. **Fosfato**. 2010. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/7-2-fosfato>.

SOUZA, Cristiano; RAFULL, Leidy; VIEIRA, Luciano. Determinação do Limite de liquidez em dois tipos de solo, utilizando-se diferentes metodologias. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 460-464, 2000.

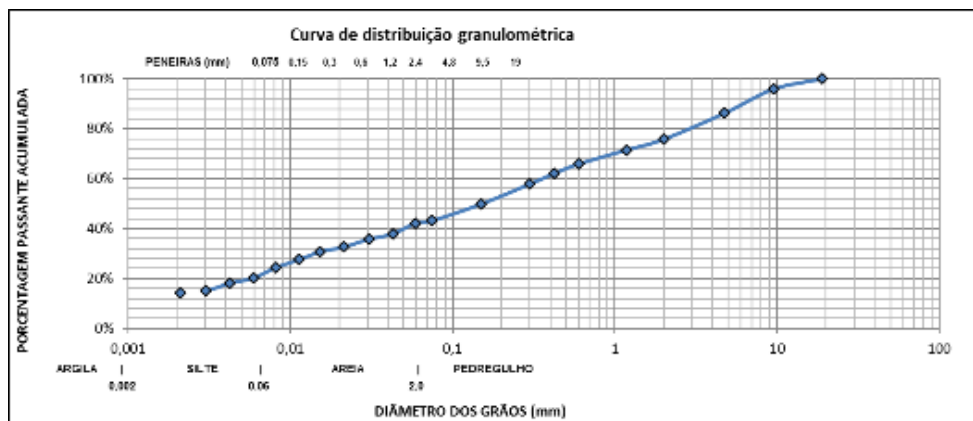
**APÊNDICE A – Análise granulometria por sedimentação – ABNT NBR 7181:201**

DENSÍMETRO	1
DEFLOCULANTE	HEXAMETAFOSFATO DE SÓDIO
DENSIDADE DOS GRÃOS	2,89
SEDIMENTO ÚMIDO (g)	120
UMIDADE	8,8%
SEDIMENTO SECO (g)	110,3
SOLO PASSADO NA #10 - 2 mm (%)	76%

TEMPO	Hora (h)	LEITURA (L)	TEMP. °C	LEITURA NO DISPERSOR (Ld)	DIÂMETRO DOS GRÃOS (mm)	% EM SUSPENSÃO
Início	07:58					
0,5 min	07:58:30	42	23,4	1,0019	0,059	42,1%
1 min	07:59:00	38	23,4	1,0019	0,043	38,0%
2 min	08:00:00	36	23,4	1,0019	0,031	35,9%
4 min	08:02:00	33	23,4	1,0019	0,021	32,7%
8 min	08:06:00	31	23,8	1,0018	0,015	30,7%
15 min	08:13:00	28	24,0	1,0018	0,011	27,6%
30 min	08:28:00	25	24,0	1,0018	0,008	24,4%
1h	08:58:00	21	24,1	1,0017	0,006	20,3%
2h	09:58:00	19	24,1	1,0017	0,004	18,2%
4h	11:58:00	16	24,6	1,0016	0,003	15,1%
8h	15:58:00	15	25,9	1,0014	0,002	14,3%
24h	07:58:00	9	24,3	1,0017	0,001	7,7%

CÁLCULOS	
Mt (total seca ao ar)	1000,0
Mg (retida acumulado #10)	226,7
Umidade higroscópica	8,80%
Ms (total seca)	937,45
Mh (material peneir. fino)	120

	MALHA	% pass.acum
Grosso (Qg)	19	100,00%
	9,5	95,93%
	4,75	86,30%
	2	75,82%
Fino (Qf)	1,18	71,53%
	0,6	65,94%
	0,425	62,17%
	0,3	57,91%
	0,15	49,86%
	0,075	43,23%



**APÊNDICE B – Limites de consistência do estéril**

<b>Limite de liquidez - NBR 6459:2016</b>					
Golpes	Teor de umidade				w% média
	C	C + Sw	C + Ss	w%	
31	8,85	13,9	12,87	25,6%	26,3%
	7,69	13,51	12,27	27,1%	
28	7,48	12,51	11,42	27,7%	27,2%
	6,45	11,18	10,18	26,8%	
22	8,56	14,76	13,39	28,4%	28,5%
	6,19	12	10,71	28,5%	
18	8,99	14,78	13,47	29,2%	29,1%
	8,3	13,59	12,4	29,0%	
16	6,68	12,42	11,09	30,2%	30,0%
	9,07	16,55	14,83	29,9%	

<b>LIMITE DE PLASTICIDADE</b>			
C	C+Sw	C+SS	Umidade
6,64	8,25	7,92	25,78%
7,4	8,61	8,35	27,37%
5,5	7,96	7,66	13,89%
5,52	7,98	7,5	24,24%
		MÉDIA	22,82%

### ANEXO A – Classificação Geral SUCS

TABELA II – CLASSIFICAÇÃO GERAL SUCS

Classificação geral	Tipos principais	Símbolos
SOLOS GROSSOS (menos que 50 % passando na # 200)	Pedregulho ou solo pedregulhoso ( <i>Gravel</i> )	GW, GP, GC e GM
	Areia ( <i>Sand</i> ) ou solo arenoso	SW, SP, SC E SM
SOLOS FINOS (mais que 50 % passando na # 200)	Silte(M) ou argila(C)	Baixa compressibilidade (LL < 50 ) ML, CL e OL
		Alta compressibilidade (LL > 50) MH, CH, OH
SOLOS ALTAMENTE ORGÂNICOS	Turfa ( <i>Peat</i> )	Pt

### ANEXO B – Classificações de Solos (AASHTO)

**CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS: Sugestão do Highway Research Board-HRB adotada pela AASHTO**

Classificação Geral	Materiais granulares (35% ou menos passando na peneira nº 200)							Materiais siltosos e argilosos (mais de 35% passando na peneira nº 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Peneiração: % que passa: Nº 10 Nº 40 Nº 200 (p)	50 máx. 30 máx. 15 máx.	50 máx. 25 máx.	51 mín. 10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características da fração que passa nº 40 Limite de Liquidez - LL (%) Índice de Plasticidade IP (%)				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de Grupo	0		0	0			4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais que predominam	Pedra Britada pedregulho e areia		Areia fina	Areia e areia silosa ou argilosa				Solos Siltosos		Solos argilosos	
Comportamento geral como subleito	Excelente a bom							Fraco a pobre			

**Processo de classificação:** Com os dados de laboratório, iniciar a classificação da esquerda para a direita, por eliminação. O primeiro grupo da esquerda que satisfizer os dados será o grupo procurado.

**SOLOS A-7:** Se  $IP \leq LL - 30$ , será A-7-5; Se  $IP > LL - 30$ , será A-7-6.

**Índice de Grupo (IG):**  $IG = 0,2 \cdot a + 0,005 \cdot a \cdot c + 0,01 \cdot b \cdot d$

Onde:

p: teor de silte + argila do solo, ou seja, a porcentagem que passa na peneira nº 200.

$a = p - 35$  (se  $p > 75\%$ , adota-se 75 e se  $p < 35\%$ , adota-se 35)  $a$  varia de 0 a 40 e 0,2 .  $a$  varia de 0 a 8.  
 $b = p - 15$  (se  $p > 55\%$ , adota-se 55 e se  $p < 15\%$ , adota-se 15)  $b$  varia de 0 a 40 e 0,01 .  $b \cdot d$  varia de 0 a 8.  
 $c = LL - 40$  (se  $LL > 60\%$ , adota-se 60 e se  $LL < 40\%$ , adota-se 40)  $c$  varia de 0 a 20 e 0,005 .  $a \cdot c$  varia de 0 a 4.  
 $d = IP - 10$  (se  $IP > 30$ , adota-se 30 e se  $IP < 10$ , adota-se 10)  $d$  varia de 0 a 20 e 0,01 .  $b \cdot d$  varia de 0 a 8.

$IG_{\min.} = 0$   $IG_{\max.} = 20$

IG - o resultado final obtido deve ser um nº inteiro - aproximação para o nº inteiro acima.



# Desenvolvimento de um protótipo para verificação do potencial de erodibilidade dos solos pelo Método de Inderbitzen

*Development of a prototype to verify the potential of soil erodibility using the Inderbitzen Method*

LUCAS GOMES

Discente do curso de Engenharia Civil (UNIPAM)  
E-mail: [lucas@unipam.edu.br](mailto:lucas@unipam.edu.br)

SHELLA PEREIRA VIEIRA

Professora orientadora (UNIPAM)  
E-mail: [sheilapv@unipam.edu.br](mailto:sheilapv@unipam.edu.br)

---

**Resumo:** Este trabalho teve como premissa o desenvolvimento de um protótipo para a avaliação potencial empregando o método proposto por Inderbitzen. A partir da análise de outras obras, foram estabelecidas as dimensões para a confecção e realização dos ensaios, tendo as bases mais usuais de dados quanto à velocidade e à inclinação. Por meio dos dados obtidos, foi possível determinar que o solo da região apresenta média erodibilidade, não tendo resistência grande ao escoamento laminar.

**Palavras chave:** Inderbitzen. Protótipo. Erodibilidade.

**Abstract:** This work had as premise the development of a prototype for the potential evaluation using the method proposed by Inderbitzen. The dimensions for the preparation and performance of the tests were established, having the most usual databases regarding speed and inclination. Through the data obtained, it was possible to determine that the soil in the region presents medium erodibility, not having great resistance to laminar flow.

**Keywords:** Inderbitzen. Prototype. Erodibility.

---

## 1 INTRODUÇÃO

O processo erosivo compreende um ciclo no qual o solo sofre alteração, desgaste, transporte e, por fim, sedimentação. Decorre de fatores naturais e antrópicos e acarreta danos à sociedade em decorrência do alto poder destrutivo. Quando não corrigido, leva à redução da fertilidade dos solos, ao assoreamento de percursos de água, ao deslizamento, à instabilidade de taludes e encostas, entre outros fatores.

No âmbito da construção civil, a erosão destrói o terreno degradando não só o solo local, mas também toda a extensão adjacente a ele, gerando perdas financeiras e patrimoniais para as áreas urbanas ou em processo de urbanização. Segundo Santos (2017), em São Paulo, são desprendidos três milhões e meio de metros cúbicos de

sedimento por ano; esse volume assoreia a rede de drenagem, causando enchentes na região.

Outro ponto em que fica evidente o problema gerado pela erosão está nos trechos de algumas rodovias. A Confederação Nacional Transporte (2019) aponta o problema em um total de 130 lugares nas rodovias do Sul de Minas; essa situação pode acarretar sérios riscos à segurança dos usuários.

Devido à importância de se entender esse tema, foram desenvolvidos métodos e ensaios que possibilitam a mensuração e a quantificação do potencial de erodibilidade. Dentre estes, destaca-se o de Inderbitzen, por possibilitar a simulação em pequena escala do processo de erosão de forma indireta. Com a finalidade de entender melhor esse processo, este trabalho consiste na pesquisa e no desenvolvimento de um protótipo para verificação e aferição do potencial de erodibilidade dos solos.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 EROSÃO DO SOLO: DEFINIÇÕES

Segundo Pena (2013), processos erosivos são fenômenos de transformação dos solos, que passa por retirada ou transporte dos sedimentos da superfície do solo. Acontecem a partir do desgaste, transporte e sedimentação das rochas ou do próprio solo em decorrência de fatores naturais ou antrópicos.

O processo por ação natural da superfície terrestre ocorre pela modificação lenta do solo por agentes como vento, água, ondas, gravidade, bioerosão e mudanças climáticas que ocorrem ao longo do tempo.

A ação antrópica pode acelerar o processo natural de erodibilidade. São originadas do mau manejo do solo, da remoção da vegetação, da mineração, da ocupação desordenada, da construção de barragens e de outros fatores que garantiam a coesão dos sedimentos e que protegem a superfície. Tais processos erosivos tendem a iniciar a lixiviação, provocando a retirada superficial com a criação de pequenas rugosidades externas, que, por sua vez, podem aumentar e transformar-se em ravinas (PENA, 2013).

O agente que mais agrava a erosão é a água. A erosão pluvial é causada pela água das chuvas. Seus efeitos são intensificados quando a superfície do solo está exposta por falta de vegetação. Quando atinge a superfície do solo, acarreta redução da força coesiva das partículas. Outros fatores que podem influenciar o processo são as condições topográficas ou o relevo, as características do solo.

A erosão ocorre em três fases: desagregação devido à forma como as partículas de água geram impacto sobre a superfície, promovendo a tensão de cisalhamento, transporte do escoamento superficial e deposição das partículas. Guerra *et al.* (1999) afirmam que a erosão dos solos pela água é responsável por 56% da degradação dos solos do mundo.

O processo erosivo está presente nas mais diversas regiões, mais especificadamente nas regiões com clima tropical ou subtropical úmido, em que se encontra boa parte do território brasileiro.

De acordo com Lima (2003), em regiões tropicais, a grande maioria dos solos, em função das suas características físico-químicas originárias do processo de formação,

apresenta alta porosidade e grande sensibilidade das ligações cimentícias em presença de água. Por esse motivo são, frequentemente, suscetíveis à erosão hídrica.

## 2.2 EROSÃO HÍDRICA

Na erosão hídrica, têm-se alguns processos que ocorrem com maior predominância, como erosão por salpicamento, também chamada de *splash*, erosão laminar ou superficial, erosão em ravinas e voçorocas.

A erosão por salpicamento é originada do golpeamento direto da chuva sobre o solo, cuja energia tende a lançar as partículas rompidas do solo. As partículas podem ser lançadas até 0,6 m de altura e 1,5 m de distância lateral; são mantidas livres ou, com ocorrência do escoamento superficial, propendem a ser transportadas (FACHIN; PEREIRA; THOMAZ, 2019).

Já a erosão laminar é caracterizada pelo desgaste e o arraste suavemente na extensão da área de ocorrência erosiva. Inicialmente o processo desprende as partículas de argila e a matéria orgânica, posteriormente os nutrientes do solo; essa mudança fica evidente conforme a produção dos solos tende a se diminuir. O processo da erosão nas ravinas ou sulcos é notório com o surgimento de pequenas depressões; quando a água atinge esses pontos, tende a ganhar velocidade, aumentando a profundidade e transportando sedimentos com traço bem demarcado.

Segundo Lima (2003), a erosão interna surge em consequência do aumento da taxa de infiltração ou do gradiente hidráulico e corresponde à formação de canais de fluxo no interior do maciço de solo. Com a finalidade de quantificar e mensurar a perda de solo, foram desenvolvidas equações empíricas que possibilitam avaliar a perda do solo, descritas nos itens a seguir.

## 2.3 EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLO

Chamada de Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), atualizada para Equação Universal de Perda do Solo Revisada (EUPSR), é uma metodologia que avalia fatores como clima, propriedades do solo, topografia, administração de resíduo, práticas especiais e outros aspectos que provocam a erosão do solo. A equação 1, proposta pela (EUPS), é a seguinte:

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (1)$$

Na qual:

A = perda de solo média anual, em t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>;

R = fator erosividade da chuva, em (MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>);

K = fator erodibilidade do solo em t h / (MJ mm);

LS = fator topográfico, que resulta da combinação dos fatores de comprimento de encosta (L) e declive (S) (adimensional);

C = fator uso e manejo (adimensional); e

P = fator práticas conservacionistas (adimensional).

Os parâmetros R, K, L e S dependem das condições naturais, e os parâmetros C e P dependem do uso e ocupação do solo (intervenção antrópica).

A equação é válida para obtenção de dados qualitativos da erosão hídrica laminar. Valores menores que 6 toneladas/ha.ano são considerados de nível muito baixo, de 6 a 11 de nível baixo, de 11 a 22 de nível moderado, de 22 a 33 de nível alto, superiores a 33 de nível severo.

#### 2.4 LIMITES DE LIQUIDEZ, PLASTICIDADE E ÍNDICE DE PLASTICIDADE NO PROCESSO DE EROSÃO

Outra forma é a relação da erodibilidade do solo com seus índices de plasticidade (LP), limite de liquidez (LL) e Índice de plasticidade (IP). Segundo Meireles (1967) *apud* Stephan (2010), solos com predominância de erosão apresentam baixa plasticidade, com LL= 21% e IP=8%; a curva granulométrica pode ser usada para se determinar o potencial de erosão. O mesmo autor apresenta a seguinte classificação: se o material passante na peneira número 200 é igual ou menor a 20%, trata de solo que sofre fortemente com erosão; já no intervalo de 20% a 40% de material passante na peneira 200, solo passível de erosão; por fim, material passante superior a 40%, solo com pouca erodibilidade.

#### 2.5 INDERBITZEN

Inderbitzen (1961) propôs um modelo inicial para aferição da fragilidade de erosão dos solos frente a um canal hidráulico artificial. O método parte da simulação do processo erosivo hídrico existente em campo dentro do laboratório. O ensaio é feito com o escoamento da água pela rampa, simulando-se o escoamento superficial da chuva e verificando-se o comportamento da amostra de solo.

O aparelho inicial teve várias modificações ao longo de história, com o propósito de permitir o estudo com diferentes padrões, para análise de padrões que foram alterados de acordo com a necessidade de cada estudo: inclinação da rampa visando à simulação da inclinação da amostra de solo, volume de água para simulação da precipitação local, nas condições do solo ser com ou sem a proteção vegetal, entre outros que possibilitam a melhor aproximação dos efeitos que acontecem em campo. O Quadro 1 apresenta alguns dos ensaios já realizados com a relação dos critérios empregados e as condições de ensaio.

Os valores obtidos pelo ensaio são empregados na criação do gráfico com a equação de Du Boys (1879) para a definição do K. Segundo Bastos (1999), solos erodíveis apresentam valores superiores a 0,1 g/cm<sup>2</sup>/min/Pa, entre 0,001 e 0,1g/cm<sup>2</sup>/min/Pa apresentam resistência mediana e os mais resistentes apresentam valores inferiores a 0,001 g/cm<sup>2</sup>/min/Pa.

**Quadro 1:** Relação de padrões de ensaio pelo método de Inderbitzen

REFERÊNCIA	LOCAL DE RETIRADA DAS AMOSTRAS	RAMPA Material/Dimensões	DIMENSÕES DOS CORPOS DE PROVA	CONDIÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	VARIÁVEIS ADOTADAS Vazão/ Declividade da rampa	TEMPO TOTAL DE ENSAIO
(BASTOS, 1999)	Região Metropolitana de Porto Alegre – Rio Grande do Sul	Chapa metálica base =25,0 cm comprimento = 60,0 cm	⊙ = 9,76 cm altura = 5,00 cm	secas ao ar, natural e pré- umedecidas	50,0 e 100,0 ml/s (3,0 e 6,0 l/min) 10°, 26°, 45° e 54°	20 minutos
(SANTOS, 2001)	Santo Antônio do Leite Ouro Preto- MG	PVC base =15,0 cm comprimento = 120,0 cm	⊙ = 15,20 cm altura = 4,00 cm	amostras saturadas	25,0 ml/s (1,5 l/min) 30 min iniciais 50,0 ml/s (3,0 l/min), 100,0 ml/s (6,0 l/min) e 150,0 ml/s (9,0 l/min), (intervalos de 5 em 5 minutos) 10°	45 minutos
(RAMIDAN, 2003)	Área de empréstimo da UHE de Itumbiara – GO	chapa metálica base =33,0 cm comprimento = 130,0 cm	⊙ = 10,00 cm altura = 10,00 cm (para solos lateríticos) ⊙ = 10,00 cm altura = 15,00 cm (demais solos)	umidade natural	50,0 ml/s (3,0 l/min) 10°	30 minutos
(PAIVA, 2004)	Bacia do rio Una em Taubaté- SP	chapa de aço revestida com PVC base =33,0 cm comprimento = 130,0 cm	⊙ = 15,00 cm altura = 4,50 cm	secas ao ar, natural e pré- umedecidas	50,0 e 125,0 ml/s (3,0 e 7,5 l/min) 20° e 60°	120 minutos
(MENEZES <i>et al.</i> , 2006)	Encostas da cidade de Lavras- MG	PVC base =15,2 cm comprimento = 120,0 cm	⊙ = 15,00 cm altura = 4,00 cm	umidade natural	25,0 ml/s (1,5 l/min) 10° e 80°	30 minutos 120 minutos
(QUIRINO <i>et al.</i> , 2013)	Catalão – Goiás	Comprimento 48 cm Largura 37 cm Altura 75 cm	⊙ 20 cm	umidade natural	35°	-

DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO PARA VERIFICAÇÃO DO POTENCIAL DE ERODIBILIDADE DOS SOLOS PELO MÉTODO DE INDERBITZEN

(TOMASI, 2015)	REGIÕES DE SANTA MARIA, SÃO FRANCISCO DE ASSIS E PORTO ALEGRE/RS	chapa metálica 25 cm de largura e 60 cm de comprimento	☉☉= 10,00 cm altura = 5,00 cm	pré- umedecidas	50,0 ml/s (3,0 lm) e 100,00 ml (6,0 l/m) 0°, 26°, 45° e 54°	20 minutos
(IDE, 2009)	Bauru - SP	Acrílico 11 cm de largura e 50 cm de comprimento	☉☉= 10,00 cm	umidade natural	50 ml/s (3,0 lm) 15°, 31° e 50°	30 minutos
(SOARES; QUEIROZ; ALENCAR, 2019)	ANÁPOLIS (GO)	Acrílico 11 cm de largura e 50 cm de comprimento	☉☉= 10,00 cm	umidade natural	50,0 ml/s (3,0 lm) 10°	20 minutos

Fonte: adaptado de STEPHAN, 2010.

### 3 METODOLOGIA

Apresenta-se, nesse ponto da pesquisa, as etapas necessárias para a construção do protótipo, cumprindo-se os objetivos do estudo.

#### 3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Esta pesquisa caracterizou-se como qualitativa quanto à escolha de como foi desenvolvido o protótipo e quanto à realização de ensaios para validação dos resultados encontrados. O estudo foi desenvolvido no Laboratório de Mecânica dos Solos, pertencente ao Laboratório de Tecnologia de Materiais da Construção Civil, no Centro Universitário de Patos de Minas – UNIPAM.

#### 3.2 ÁREA DE ESTUDO - CIDADE DE PATOS DE MINAS

O município de Patos de Minas é localizado na região Oeste do estado de Minas Gerais. Faz parte da Mesorregião Geográfica do Triângulo Mineiro/ Alto Paranaíba, ocupando a área de aproximadamente 3.190,456 km<sup>2</sup> segundo o Instituto Brasileiro Geográfica e Estatística (2019), estando em 27<sup>º</sup> lugar com relação ao estado.

#### 3.3 METODOLOGIA USADA NA COLETA DAS AMOSTRAS

Para a coleta do material, foi seguida a NBR 9604, (ABNT, 2016) - Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas. As amostras foram cuidadosamente extraídas para a manutenção da integridade do solo e colocadas em uma caixa para o transporte do material.

**Figura 1:** Região de extração



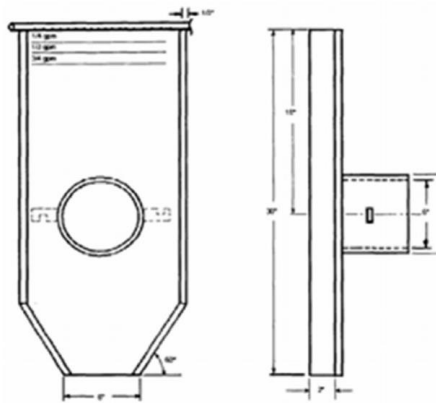
Fonte: acervo dos autores, 2020.

A amostra foi extraída na Av. Fátima Porto em Patos de Minas. Na figura 1, é visto o local de coleta, adjacente à avenida, na localização 18°35'10.0"S 46°29'35.2"W. Essa região sofre de erodibilidade em diversos pontos no trecho de elevação que conecta os bairros Jardim Recanto e Alto Limoeiro.

### 3.4 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

Segundo Inderbitzen (1961) *apud* Lemos (2002), o aparelho é composto de uma rampa metálica (figura 2), com dimensões de 76,20 cm de comprimento e um furo central de 15,24 cm de diâmetro, no qual a amostra fica confinada.

**Figura 2:** Modelo de aparelho proposto por Inderbitzen



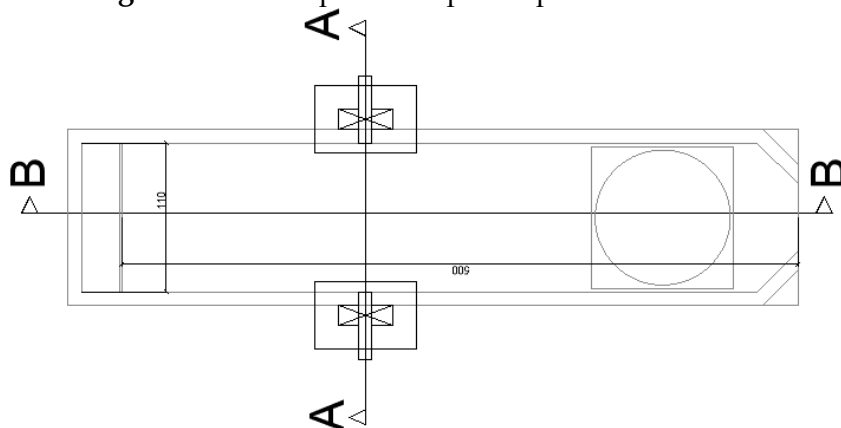
Fonte: Inderbitzen (1961) *apud* Lemos (2002).

O modelo 3D foi feito com a análise dos métodos já feitos, coletados a partir do estado da arte e representado no Autocad.

### 3.5 PROJETO

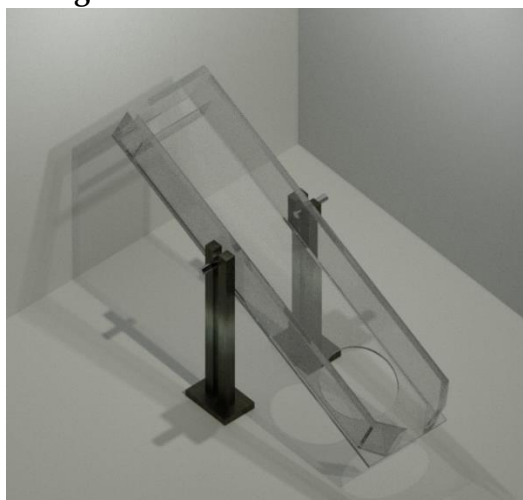
O protótipo partiu do modelo de Inderbitzen realizado por Soares, Queiroz e Alencar (2019), mantendo-se as mesmas dimensões da largura (110 mm) e comprimento de rampa (500 mm). Os autores seguiram essa dimensão uma vez que, em ensaios anteriores, dependia-se de uma área muito maior para um corpo de prova. Foi levado em consideração que, nas pesquisas mais recentes, o diâmetro do solo estudado tende a uma média expressiva de  $\varnothing = 10,00$  cm. O molde do ensaio confeccionado em uma única rampa (figura 3) tem a abertura para encaixe de moldes com diâmetro de 10 cm e outra versão retangular com 10 cm de lado.



**Figura 3:** Vista superior do protótipo de Inderbitzen

Fonte: adaptação dos autores, 2020.

A vazão da água é de 3 l/min, valor comumente utilizado, sendo possível o emprego de outras variações para aferição das condições mais extremas. Quanto à inclinação, há ajuste nas laterais (conforme pode ser visto nas figuras 4 e 5), que permite a correta inclinação e trava do equipamento.

**Figura 4:** Modelo 3D - Inderbitzen

Fonte: arquivo dos autores, 2020.

Os corpos de prova são encaixados no orifício conforme o modelo 3D da figura 4; a confecção se deu com o solo coletado de forma indeformada para a melhor representação dos efeitos, estudados no modelo circular e quadrado; esses valores são utilizados para a verificação e comparação dos métodos. Confeccionou-se com chapas de acrílico, com o diâmetro padrão proposto por Inderbitzen, com seção circular de 10 cm de diâmetro e a adição de uma seção quadrada.

**Figura 5:** Equipamento de Inderbitzen modificado



Fonte: arquivo dos autores, 2020.

O equipamento confeccionado está disposto no Laboratório Mecânica dos Solos, pertencente ao Laboratório de Tecnologia de Materiais de Construção Civil do UNIPAM. A montagem foi feita de maneira a estar disposto próximo à pia para o abastecimento do reservatório. Para os ajustes de inclinação, foram empregadas borboletas para a fixação da rampa.

### 3.6 REALIZAÇÃO DO ENSAIO

Após a montagem do aparelho, este passou por testes e calibração, utilizando um solo padrão com dimensões 10 cm, por ser comumente empregado nos ensaios na condição natural, sem compactação, para se aferirem os resultados.

As amostras foram ensaiadas a 15°, 30° e 50°, esse último é acima do modelo ideal de inclinação de taludes, visto que, no processo de erodibilidade, podem-se ter essas ocorrências. O solo utilizado foi extraído e utilizado em seu estado natural de umidade, sendo ensaiado no mesmo dia de sua extração para manter-se essa característica.

A coleta do material extraído foi por meio de baldes, os quais foram posicionados ao final da rampa para coleta dos sedimentos carregados pela água do ensaio. Cada ensaio consistiu de um único ciclo de amostra com o balde, sendo trocado em intervalos de 1, 5, 10 e 20 min para a coleta; posteriormente, foi vertido nas peneiras de malha 4,8 mm (peneira #4); 2,0 mm (peneira #10); 0,42 mm (peneira #40) e, por fim, 0,074 mm (peneira #200); foi separado em cápsulas o solo de cada peneira; posteriormente essas cápsulas foram pesadas para plotagem do gráfico da relação de massa por unidade de área erodida por tempo de ensaio.

## 4 RESULTADO E DISCUSSÃO

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO MATERIAL

Seguindo a NBR 6502, (ABNT, 1995), na qual tem-se a terminologia das rochas e solos, o material tem sua separação quanto à sua divisão granulométrica por porcentagem, vista na tabela 1.

**Tabela 1:** Granulometria do material

<b>Granulometria</b>	<b>Diâmetro</b>	<b>(%)</b>
Pedregulho	2,00 mm à 60,00 mm	3,18
Areia	0,06 mm à 2,00 mm	48,20
Silte	0,002 mm à 0,06 mm	17,10
Argila	< 0,002 mm	31,52

Fonte: dados da pesquisa, 2020.

Quanto às características pelos limites de Atterberg, foram obtidas as seguintes características, que podem ser vistas na tabela 2.

**Tabela 2:** Propriedades do solo

<b>Propriedades físicas</b>	
$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	2,65
LL (%)	37%
LP (%)	32%
IP (%)	5%
IG	6,55

Fonte: dados da pesquisa, 2020.

A partir da análise granulométrica do solo do estudo, pelas características vistas na Tabela 1 e Tabela 2, a amostra classifica-se como areia argilosa, pelo método diagrama de FERET; já com relação à classificação pelo Método Classificação Unificada (SUCS), a amostra classifica-se como SM; já com relação ao sistema de classificação rodoviária com base na DNIT (2006), classifica-se como A-4, sendo solo siltoso.

### 4.2 ENSAIO PARA AVALIAÇÃO DA ERODIBILIDADE

Os resultados obtidos pelo ensaio mostraram-se satisfatórios. Após os ajustes, fazendo-se testes da rampa, liberando-se o fluxo de água previamente calculado e aferido com proveta para constatar a vazão de 50 ml/s, a água distribuiu-se, formando uma lâmina fina sem variação, obtendo-se a correta distribuição da água com um fluxo constante.

Quanto à inclinação, verificou-se, com transferidos e com o aplicativo do smartphone, se a rampa estava corretamente ajustada; já quanto ao teste da trava, colocou-se o molde quadrado com solo úmido para verificação do peso suportado pelas travas laterais.

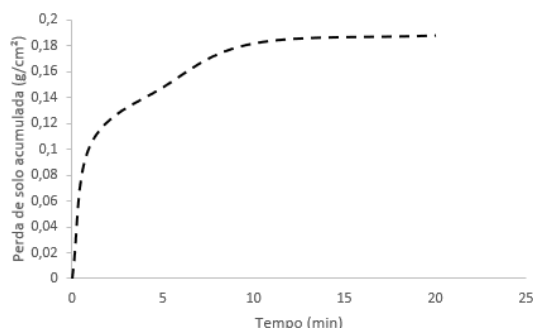
**Figura 6:** Ensaio da amostra coletada



Fonte: arquivo dos autores, 2020.

A partir dos testes, iniciou-se a separação nos intervalos fixados em 1, 5, 10 e 20 min do solo carregado; a partir da separação dos dados por tempo, foi gerada a curva com a relação da perda de solo por unidade da área da amostra ( $\text{g}/\text{cm}^2$ ) acumulada por tempo de ensaio (minutos); devido à proximidade dos valores de ensaio, foi feito apenas 2 vezes o ensaio.

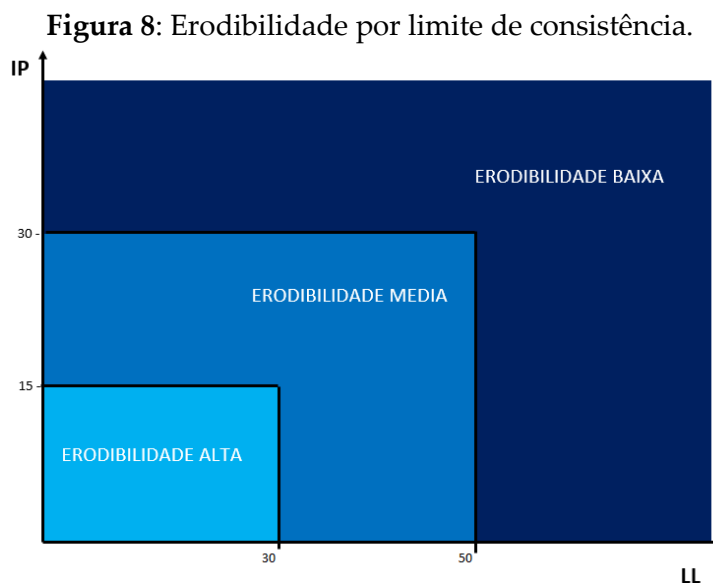
**Figura 7:** Curva de perda de solo por tempo de ensaio



Fonte: dados da pesquisa, 2020.

Na figura 7, é expressa a curva de perda de solo por tempo de ensaio. O solo utilizado *in situ* foi moldado na forma quadrada, conforme pode ser observado na figura 6, para a utilização completa da rampa e ensaio, à inclinação de  $15^\circ$  e com o fluxo de 50 ml/s, o mais empregado nos estudos do equipamento de Inderbitzen, como pode ser visto no Quadro 1. Por meio dessa curva, nota-se a relação da carga de sedimentos acumulada despreendida da amostra por tempo de ensaio.

Nos primeiros instantes de ensaio, é notória a maior perda de solo; posteriormente essa perda diminui. Seguindo os critérios citados por Bastos (1999), tem-se a massa erodida situada nos primeiros 10 min, em que o fluxo é capaz de carregar grande parte das partículas por não haver resistência hídrica (esse feito é visto na figura 7); após esse prazo, a perda tende a diminuir drasticamente no decorrer do ensaio.



Fonte: adaptado de Molinero Júnior, 2010.

A caracterização dos dados contribui para um melhor entendimento das especificidades do solo, podendo-se, assim, fazer a correta classificação quanto ao processo de erosão, tendo essa região da amostra apresentado erodibilidade média (figura 8); seguiram-se os critérios estabelecidos por Molinero Junior (2010), correlacionando-se os limites de consistência, em que o encontro dos pontos LL e IP marca a classificação.

Segundo Bastos (1999), não há, na literatura, um parâmetro quanto à erodibilidade por meio do ensaio de Inderbitzen, mas, de forma a aproximar os resultados, o parâmetro K permite uma melhor comparação dos dados obtidos nas condições naturais do solo.

Como critério de cálculo de K, sendo este a representação da erodibilidade, no ponto máximo de 10 min, o solo apresenta a taxa de erodibilidade de 0,01817 g/cm<sup>2</sup>/min caracterizando como de média erodibilidade. Seguindo os critérios de Campos (2014), os valores de  $K < 0,001$  g/cm<sup>2</sup>/min relacionam-se a solos de baixa erodibilidade; no intervalo de  $0,001 \leq K \leq 0,1$  g/cm<sup>2</sup>/min, os solos são de mediana erodibilidade; já solos com valores superiores, são de alta erodibilidade.

Essa erodibilidade é caracterizada pela composição do solo. Por se tratar de um solo areia argilosa, sendo a areia de maior predominância, não se tem muita coesão. Uma das principais características das areias é a baixa coesão, em que as partículas são facilmente separáveis.

## 5 CONCLUSÃO

O ensaio de Inderbitzen adaptado permitiu a simulação, no laboratório, das condições em que o solo se encontra e a possibilidade de experimentação de condições adversas para estudos da estabilidade frente ao processo de erosão em que se encontra. A partir do ensaio, por meio do cálculo do fator de erodibilidade K, foi possível constatar

que o solo da região apresenta média erodibilidade, não tendo resistência grande ao escoamento laminar.

Devido à inacessibilidade na área de extração, não se pôde explorar mais pontos da região para um mapeamento completo das mudanças de solo e a exploração dos horizontes do solo para a verificação da resistência das camadas inferiores.

Com base nas análises, pôde-se destacar a necessidade de futuras pesquisas para a verificação de diferentes horizontes da região e a extração de mais amostras para um maior entendimento do processo de erosão. Quanto às características do equipamento, este se apresentou apto para realização dos ensaios, tendo que se fazerem alguns ajustes para facilitar ainda mais o trabalho de quem executa o ensaio, um sistema de encaixe para a amostra e a adição de uma marcação na própria estrutura quanto à inclinação.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6502**: rochas e solos: terminologia. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 9604-1**: abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas: procedimento. Rio de Janeiro, 2016.

BASTOS, C. A. B. **Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados**. 1999. 251 f. Tese (doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

CAMPOS, C. J. M. **Avaliação da erodibilidade pelo método Inderbitzen em solo não saturado da região de Bauru-SP**. 2014. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Bauru, 2014.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL TRANSPORTE – CNT. 23ª Pesquisa CNT de Rodovias. *In*: **23ª Pesquisa CNT de Rodovias**. [S. l.], 22 out. 2019. Disponível em: <https://cdn.cnt.org.br/diretorioVirtualPrd/49c9e3d3-ed8e-4a93-95ac-76dd53790299.pdf>.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Manual de Pavimentação**. Rio de Janeiro, 2006.

DU BOYS, S. P. Lerohne et les Rivieres a Lit Affoillable. **Annales des Ponts et Chaussees**, v.18, s. 5, p. 141-195, 1879.

FACHIN, Paulo; PEREIRA, Adalberto Alves; THOMAZ, Edivaldo. **Erosão por salpico: padrões de chuva e produção de sedimentos em latossolo bruno**, [S. l.], ano 02, v. 13, n. 32, p. 59-75, ago. 2019. Disponível em: <https://revista.ufrr.br/actageo/article/view/4991/2691>.

FRAGASSI, P. F. M. **Estudo da erodibilidade dos solos residuais de gnaiss da Serra de São Geraldo e de Viçosa (MG)**. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001.

GUERRA, A. J. T. *et al.* **Erosão e conservação dos solos**: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

INSTITUTO BRASILEIRO GEOGRÁFICA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Território e Ambiente**. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/patos-de-minas/panorama>.

IDE, D. M. **Investigação geotécnica e estudo de um processo erosivo causado por ocupação urbana**. 2009. 129 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

INDERBITZEN, A. L. An erosion tests for soils. **Material reseach and standarts**, Philadelphia, v. 1, n. 7, p. 553-554, jul. 1961.

LEMOS, C. F. **Avaliação da erosão superficial em áreas de cultivo com plantio direto e plantio convencional, utilizando o aparelho de Inderbitzen**. 2002. 82 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

LIMA, M. C. **Degradação físico-química e mineralógica de maciços junto às voçorocas**. 2003. 336 f. Dissertação (Doutorado em Geotecnia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2003.

MEIRELES, J. M. F. Erosão de taludes de estradas. *In*: JORNADAS LUSO-BRASILEIRAS DE ENGENHARIA CIVIL, 2., 1967, Rio de Janeiro; São Paulo. **Anais [...]**. Rio de Janeiro; São Paulo, 1967. p. 204-211.

MENEZES, S. M.; CARVALHO, D.; ALBUQUERQUE, P. J. R. Estudo da erodibilidade de solos em encostas no sudeste do Brasil. **Rev. Tecn.**, Fortaleza, v. 27, n. 1, p. 58-63, jun. 2006.

MOLINERO JUNIOR, J. A. **Estudo geotécnico dos solos de erosões resultantes de intervenções em rodovias**. 2010. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2010.

PAIVA, C. F. E. **Avaliação da erodibilidade de alguns horizontes residuais pertencentes à Bacia do Rio Una-Taubaté - SP**. 2004. 194 f. Tese (Doutorado em Engenharia Aeronáutica e Mecânica) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Rio de Janeiro, 2004.

PENA, Rodolfo F. Alves. **Processos Erosivos**. [S. l.], 27 jun. 2013. Disponível em: <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/geografia/processos-erosivos.htm>.

QUIRINO, G. H. A.; MORAIS, L. S.; MELO, M. T. S. **Construção de um modelo para análise do índice de erodibilidade do solo em uma região do município de Catalão – Goiás.** In: SIMPÓSIO DE PRÁTICA DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA NA REGIÃO CENTRO-OESTE, 3.; SIMPÓSIO SOBRE SOLOS TROPICAIS E PROCESSOS EROSIVOS, 4., 2013, Cuiabá. **Anais [...].** Cuiabá: UFG, 2013.

RAMIDAN, M. A. S. **Estudo de um processo de voçorocamento próximo a UHE de Itumbiara – GO.** 2003. 229 f. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2003.

SANTOS, Álvaro Rodrigues dos. **Terraplanagem + erosão = desastre.** jun. 2017. Disponível em: <http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=33&Cod=486>.

SANTOS, C. A. **Comportamento hidrológico superficial, subsuperficial e a erodibilidade dos solos da região de Santo Antônio do Leite, distrito de Ouro Preto - Minas Gerais.** 2001. 107 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2001.

SOARES, Leonardo Augusto Camparino; QUEIROZ, Angela Custódia Guimarães; ALENCAR, Pablo Moisés Soares de. **Ensaio de Inderbitzen na avaliação do fenômeno erosivo em um solo do Município de Anápolis.** Brasília/DF: GEOCENTRO, 2019. Disponível em: <https://qe.iweventos.com.br/upload/trabalhos/t1arquivo/qOL1MyXPms4VWgF9vH3SIC8tZg70.pdf>.

STEPHAN, A. M. **Análise de processos erosivos superficiais por meio de ensaios de Inderbitzen.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, 2010. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/834/1/texto%20completo.pdf>.

TIWARI, A. K.; RISSE, L. M.; NEARING, M. A. Evaluation of WEPP and its comparison with USLE and RUSLE. **Trans. Am. Soc. Agron. Eng.**, n. 43, p. 1129-1135, 2000.

TOMASI, L. F. **Ensaio de Inderbitzen para avaliação da erodibilidade dos solos e rochas:** aplicação nas regiões de Santa Maria, São Francisco de Assis e Porto Alegre-RS. 2015. 83 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.



# Utilização de material fresado como reforço de solo para composição de camadas de sub-base de pavimentos rodoviários

*Use of milled material as soil reinforcement for the composition of sub-base layers of road pavements*

JÚLIA SANTANA PERES

Discente do curso de Engenharia Civil (UNIPAM)  
E-mail: juliaperes@unipam.edu.br

LEONARDO MARINHO CÔRTEZ

Discente do curso de Engenharia Civil (UNIPAM)  
E-mail: leonardomc@unipam.edu.br

SHEILLA PEREIRA VIEIRA

Professora orientadora (UNIPAM)  
E-mail: sheilapv@unipam.edu.br

---

**Resumo:** O material fresado é obtido no momento da remoção da camada superficial do pavimento, e uma alternativa que se apresenta para o seu reaproveitamento é a possibilidade de ser incorporado ao solo em camadas de pavimentos, aumentando a sua resistência. Esta pesquisa tem como objetivo principal avaliar a reutilização de material fresado proveniente de pavimentações rodoviárias, adicionado a um solo argilo-siltoso típico de Patos de Minas-MG. O material fresado foi incorporado ao solo em diferentes porcentagens e foram realizados diversos ensaios laboratoriais para confirmar a possibilidade de utilização. Foram obedecidos os critérios estabelecidos pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes e realizados os ensaios de granulometria, limites de Atterberg, compactação e índice de suporte Califórnia. Observou-se que diferentes porcentagens de adição do material fresado permitiram ao solo adquirir um comportamento satisfatório para utilização em camadas de subleito e sub-base.

**Palavras-chave:** Solos. Fresagem. Pavimento.

**Abstract:** The milled material is obtained when removing the surface layer of the pavement, and an alternative that is presented to pavement reuse, it is the possibility of being incorporated into the soil in pavement layers, increasing its resistance. This article aims to verify the use of milled material from road paving, added to a clayey-silty soil typical of Patos de Minas-MG. The milled material was incorporated into the soil in different percentages and several laboratory tests were carried out to confirm the possibility of use. The criteria established by the National Department of Transport Infrastructure were followed and the granulometry, Atterberg limits, compaction and California support index tests were carried out. It was observed that different percentages of added milled material allowed the soil to acquire a satisfactory behavior for use in subgrade and sub-base layers.

**Keywords:** Soil. Milled Material. Pavement.

---

## 1 INTRODUÇÃO

Na Engenharia Civil, o conhecimento dos solos possui elevado significado, uma vez que são muito distintos quanto ao seu formato, à granulometria e à composição. Quando essas características físicas mudam, o comportamento do solo também se altera. Por esse motivo, antes de qualquer execução ou projeto é relevante a compreensão do solo trabalhado, já que este é o elemento que irá sustentar toda construção, sendo capaz de garantir assim que ela seja funcional e correta.

Em toda e qualquer obra, os engenheiros responsáveis devem garantir a proteção completa da obra, mesmo depois de finalizada. Na pavimentação, não é diferente, afinal, a obra deve garantir o conforto e a segurança das cidades e das rodovias de todo o país, não se podendo, assim, descartar o estudo do solo que será utilizado nas bases do asfalto.

Segundo a Confederação Nacional dos Transportes (CNT, 2006), no Brasil 61,1% de todas as cargas transportadas utilizam as rodovias, o que ocasiona um grande fluxo de veículos de grande porte. A sobrecarga no pavimento acarreta mais desgastes ao se comparar com outros tipos de obras de engenharia, como edificações. Portanto, as rodovias possuem sua vida útil mais reduzida.

As vias então necessitam periodicamente de reparos, muitas vezes sendo feitos por meio de recapeamentos, que, com o passar do tempo, deixam a superfície da pista irregular, causando transtornos e dificuldades no tráfego. Uma das técnicas utilizadas para a correção desse problema é a fresagem, que é definida pela Norma DNIT 159/2011-ES como sendo uma operação em que é realizado o corte ou desbaste de uma ou mais camadas do pavimento asfáltico, por processo mecânico, para que a recomposição do pavimento possa ser realizada.

Porém, outro problema surge com essa técnica: o material removido não é um material renovável e, sem uma destinação correta, ele poderá trazer grandes prejuízos ao meio ambiente. Por isso, discute-se, neste trabalho, uma proposta para utilização dos resíduos resultantes do processo de fresagem da pavimentação asfáltica no reforço de camadas de sub-base de pavimentos rodoviários.

Nesse sentido, a presente pesquisa teve como objetivo avaliar a estabilização de um solo padrão da região de Patos de Minas (Minas Gerais) reforçado com acréscimo de material de fresagem em diferentes proporções para se obterem as características necessárias, a fim de ser usado como sub-base de rodovias.

O conceito de reforçar as características do solo através de agentes estabilizadores não é uma técnica recente. A utilização desse apoio apresenta vantagens técnicas, construtivas e econômicas. Muitas vezes, o solo não apresenta características técnicas necessárias para ser utilizado em uma obra, o que leva as empreiteiras a gastarem tempo e dinheiro em busca de um material com os requisitos necessários. Por esse motivo essa técnica tem sido cada vez mais utilizada nas obras de pavimentação

Com o crescente aumento de resíduos obtidos na manutenção das rodovias, cria-se a necessidade de uma destinação correta aos materiais, garantindo um reuso e minimizando o impacto gerado no meio ambiente.

A técnica de fresagem é uma das maiores geradoras de resíduos nas obras rodoviárias e uma grande poluente, já que seus componentes têm como base o petróleo. Portanto, um estudo que garanta o reaproveitamento do material fresado, dando-lhe uma destinação adequada, minimiza os atuais impactos ambientais.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Para que os estudos dessa pesquisa fossem realizados, foi de suma importância o conhecimento de conceitos básicos.

### 2.1 SOLO

A necessidade do homem de trabalhar com o solo se encontra nos tempos mais remotos, podendo-se afirmar ser tão antiga quanto a civilização. Os primeiros problemas relacionados aos solos terão surgido junto com grandes construções, como a Pirâmide do Egito, a Muralha da China ou os aquedutos e estradas do Império Romano. (CAPUTO, 2012)

Para Balbo (2007), o estudo de solos para finalidades de pavimentação é fundamental, pois não existe pavimento sem fundação, o que garante que um estudo adequado dos solos utilizados nas obras seja feito.

Segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (BRASIL, 2006), solo é um material da crosta terrestre resultante da decomposição das rochas pela ação do intemperismo. No âmbito da engenharia rodoviária, considera-se solo todo material orgânico ou inorgânico, parcialmente cimentado, encontrado na superfície da terra. Em outras palavras, consideram-se solos qualquer material que possa ser escavado com pá, picareta, escavadeiras etc., sem necessidade de explosivos.

### 2.2 PAVIMENTOS

O homem, com seu desejo de obter um acesso mais facilitado a matérias-primas e expandir seu território, criou o que chamamos de estradas. A China foi o país inventor, mas bem mais tarde os Romanos aperfeiçoaram as estradas, instalando pavimentos e drenagem. (BALBO, 2007).

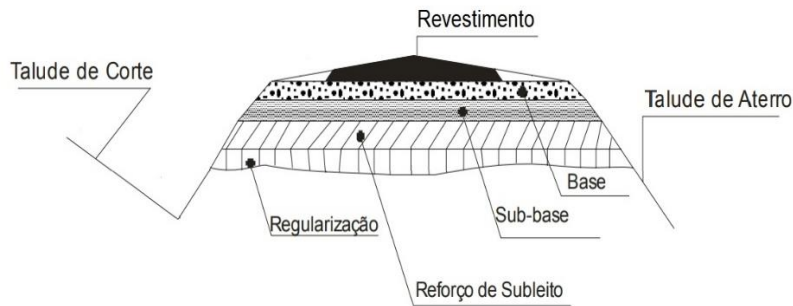
Para Bernucci (2007), pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construídas sobre a superfície de terraplanagem, destinado a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima e propiciar aos usuários conforto, economia e segurança.

### 2.3 PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

De acordo com o DNIT (BRASIL, 2006), pavimento flexível é aquele em que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado,

e essa carga se distribui aproximadamente de forma equivalente entre as camadas. As camadas que o pavimento tem são as seguintes: revestimento, base, sub-base, reforço do subleito e subleito, conforme é apresentado na Figura 1.

**Figura 1:** Camadas de Pavimentos Flexíveis



Fonte: Guia da Engenharia, 2019.

#### 2.4 REVESTIMENTO

O revestimento deverá, entre outras funções, receber as cargas sem sofrer uma grande deformação ou ainda a perda da compactação; necessita, portanto, de ser composto de materiais dispostos de uma maneira a evitar sua movimentação horizontal (BALBO, 2007).

#### 2.5 BASES E SUB-BASES

Para BALBO (2007), as camadas de base e sub-base surgem para aliviar as pressões que chegam às camadas de solos inferiores. Também desempenham papel importante na drenagem superficial dos pavimentos. Segundo o DNIT (BRASIL, 2006), materiais para base precisam apresentar um CBR  $\geq 80\%$  e expansão  $\leq 0,5\%$  e para sub-base um CBR  $\geq 20\%$  e expansão  $\leq 1\%$ .

#### 2.6 SUBLEITO E REFORÇO DO SUBLEITO

O subleito é o terreno onde será apoiado o pavimento, e o reforço do subleito é a camada de espessura constante transversalmente e variável longitudinalmente. Serve para melhorar as qualidades do subleito e regularizar a espessura da sub-base. (MARQUES, 2006). As classificações do DNIT (BRASIL, 2006) informam que os materiais que podem ser usados para reforço do subleito necessitam de um CBR maior que o do subleito e expansão  $\leq 1\%$ , já o subleito deve apresentar uma expansão menor ou igual a 2% e um CBR  $\geq 2\%$ .

## 2.7 FRESAGEM DE PAVIMENTOS

Segundo o Departamento de Estradas e Rodagem (DEER, 2006), a fresagem consiste no corte ou desgaste de uma ou mais camadas do pavimento asfáltico, tendo como finalidade a remoção de pavimentos previamente à execução de um novo revestimento asfáltico, sendo executada em áreas com remendos em mal estado, áreas com concentrações de trincas, entre outros defeitos. Consiste também na etapa preliminar da reciclagem de pavimentos asfálticos.

## 3 METODOLOGIA

Essa pesquisa teve como objetivo a estabilização de um solo para utilização em camadas de pavimentação, através de um acréscimo de material fresado em diferentes proporções, com intuito de aumentar a resistência. Apresentam-se, a seguir, os caminhos metodológicos necessários para a consecução dos objetivos elencados.

### 3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

O trabalho teve abordagem quali-quantitativa para encontrar a quantidade de material fresado ideal para reforçar um solo padrão, de forma que atenda às especificações mínimas para utilização em camadas de sub-base de pavimentos flexíveis. Classifica-se também como pesquisa laboratorial uma vez que todas as verificações foram realizadas através de ensaios normatizados no Laboratório de Análise Tecnológica dos Materiais de Construção, localizado no Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM).

### 3.2 COLETA DA AMOSTRA DE SOLO PADRÃO

O solo utilizado no trabalho foi coletado em um lote no bairro Jardim Califórnia em Patos de Minas – MG. No local, estava em execução a construção de um edifício. Para isso, foram realizados os furos para a execução da fundação do tipo estacas escavadas. Houve o aproveitamento desse solo retirado de uma profundidade de 7 metros abaixo do nível do terreno. Após a coleta o solo, este foi armazenado em baldes com tampas e guardado em um quarto úmido no laboratório, para a prática dos experimentos necessários. A figura 2 apresenta o momento em que o solo foi coletado e transportado.

**Figura 2:** Coleta e transporte do solo



Fonte: acervo dos autores, 2020.

### 3.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

#### 3.3.1 Granulometria

A granulometria do solo é definida pela norma DNER-ME 051/1994. Para que esse ensaio seja possível, foi necessária a utilização de peneiras, balança, cápsulas, agitador de peneiras, proveta e uma estufa. A determinação da granulometria foi realizada através do peneiramento fino e grosso, com o auxílio do agitador mecânico, com uma retirada de amostras em cápsulas para cálculo de umidade e obtenção da curva granulométrica por meio da pesagem retida em cada peneira, assim sendo possível então constatar a quantidade de cada diâmetro das partículas. Após a realização desse ensaio, foi possível definir qual tipo de material daria base ao estudo.

#### 3.3.2 Limites de Consistência

##### 3.3.2.1 Limite de Liquidez

A prática do ensaio de Limite de Liquidez (LL) foi realizada seguindo a norma DNER-ME 122/1994. Fez-se o ensaio com as seguintes aparelhagens: concha de Casagrande, cinzel, balança, estufa, espátula, cápsula, espátula metálica. O ensaio foi executado colocando o solo na concha e realizando uma ranhura com cinzel padronizado no meio. Em seguida, foram efetuados alguns golpes até o seu fechamento. Para esse experimento, diversos teores de umidade foram testados e, com os resultados obtidos, foi possível construir um gráfico, em que então é feita uma reta, sendo o valor de umidade correspondente a 25 golpes o Limite de Liquidez do solo.

##### 3.3.2.2 Limite de Plasticidade

A norma DNER-ME 082/1994 define os procedimentos para se determinar o Limite de Plasticidade (LP) de solos. Nesse caso, foram utilizadas balança, cápsulas, estufas, espátula metálica e uma placa de vidro esmerilhada. No experimento, foi feita uma espécie de cilindro com o solo, com 3 mm de diâmetro e 100 mm de comprimento, na placa de vidro. O teor de umidade que esse corpo de prova apresenta ou fissuras é mudança do estado plástico para o semissólido.

##### 3.3.2.3 Índice de Plasticidade

O Índice de Plasticidade foi realizado após determinação do Limite de Liquidez e do Limite de Plasticidade. O índice de Plasticidade permitiu a classificação do solo quanto a sua plasticidade.

### 3.3.2.4 Classificação Rodoviária

O Sistema de Classificação Rodoviária subdivide o solo baseando-se na sua granulometria e nos limites de consistência do material. Para essa determinação, foram considerados a porcentagem passante na peneira nº 200, o Limite de Liquidez, o Índice de Plasticidade. Analisando-se a tabela da classificação, foi possível então determinar a predominância dos materiais presentes nesse solo quanto a Pedregulhos/Pedra Britada/Areia, Areia Fina, Areia/Areia Siltosa/Argilosa, Solos Siltosos e Argilosos.

### 3.4 COMPACTAÇÃO DO SOLO

A compactação do solo é um ensaio que tem como objetivo trazer melhorias nas propriedades do material. Esse procedimento fornece uma evolução, pois reduz o número de vazios, torna o solo mais maciço e uma maior resistência à compressão. O processo de compactação teve como orientação a norma DNIT 172/2016 e constituiu na moldagem de 3 corpos de prova cilíndricos de 1000 cm<sup>3</sup>. Os instrumentos utilizados foram balança, cilindro, peneiras, soquete cilíndrico e um extrator do corpo de prova. Foram compactadas amostras de solo com 5 camadas, e a quantidade de golpes de acordo com a utilização do solo. Para obtenção do teor de umidade ótimo, foi elaborado um gráfico através de uma planilha de Excel, sendo no eixo das abscissas do gráfico os teores de umidade de cada corpo de prova e nas ordenadas a massa específica seca.

### 3.5 ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA

Na determinação do ISC (Índice de Suporte Califórnia), utilizou-se a norma ABNT NBR 9895(2016). Atuaram nesse ensaio os seguintes instrumentos: balanças, peneiras, estufa, cápsulas, cilindro de compactação, soquete prato perfurado, relógio comparador, suporte para relógio, disco anelar, prensa, extrator do corpo de prova e tanque de água.

O ensaio consistiu em moldar os corpos de prova compactados, submergi-los em água durante 4 dias, para aferição da expansão em cada uma das 24 horas. Após o fim desse prazo, as amostras foram retiradas da água e foram aguardados 15 minutos para a realização de penetração na prensa, sendo possível, assim, obterem-se as leituras do relógio comparador e a determinação da pressão.

### 3.6 ACRÉSCIMO DO MATERIAL FRESADO

O processo de estabilização de um solo, do ponto de vista técnico, pode ser entendido como uma melhoria das propriedades do solo, de modo a criar um novo material capaz de atender às exigências do projeto. Nesse caso, o acréscimo de um material fresado foi retirado de uma obra de reabilitação na rodovia BR 354 no município de São Gotardo-MG e doado por uma empresa privada. Na figura 3, é possível visualizar o material fresado em seu estado bruto.

**Figura 3:** Material fresado no estado bruto



Fonte: acervo dos autores, 2020.

Uma análise do solo reforçado foi efetuada através do ensaio de ISC (Índice de Suporte Califórnia), com base no artigo titulado *Contribuição ao estudo de materiais fresados incorporados a um solo argilo-siltoso para o uso em camadas de pavimentos flexíveis*. (DIAS; PINTO; COSTA, 2015).

Assim, considerando-se as porcentagens utilizadas no trabalho citado acima, foram adicionadas as porcentagens mostradas na Tabela 1.

**Tabela 1:** Volume de material da mistura

Amostra	Porcentagem de FR (%)	Porcentagem de solo (%)
A	70	30
B	50	50
C	30	70

Fonte: Dias; Pinto; Costa, 2015 (adaptado).

O acréscimo do material ocorreu em relação à massa de solo seco. Cada amostra sucedeu corpos de prova modelados para o ensaio de ISC e expansão. Assim foi possível compará-los e analisá-los quanto à viabilidade técnica na composição de solos reforçados para camadas de pavimento rodoviário.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

Os ensaios de granulometria e limites de Atterberg foram realizados com o intuito de caracterizar e conhecer melhor o solo em estudo.

#### 4.1.1 Análise Granulométrica

Após o ensaio de granulometria grossa e fina, seguindo as orientações da norma DNER-ME 051/1994, criou-se a Tabela 2 e o Gráfico 1 para a caracterização do solo.

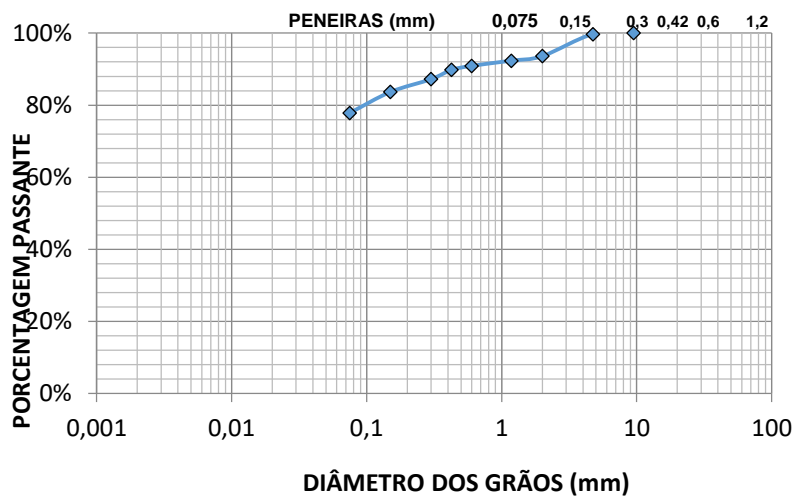


**Tabela 2:** Resultado de ensaio de granulometria por peneiramento

PENEIRA N°	DIÂMETRO (mm)	% PASSANTE
3/8"	9	100
04	4,75	99,72
10	2,00	93,60
16	1,18	92,35
30	0,60	90,92
40	0,425	89,78
50	0,30	87,22
100	0,15	83,66
200	0,075	77,85

Fonte: dados da pesquisa, 2020.

**Gráfico 1:** Curva granulométrica do solo



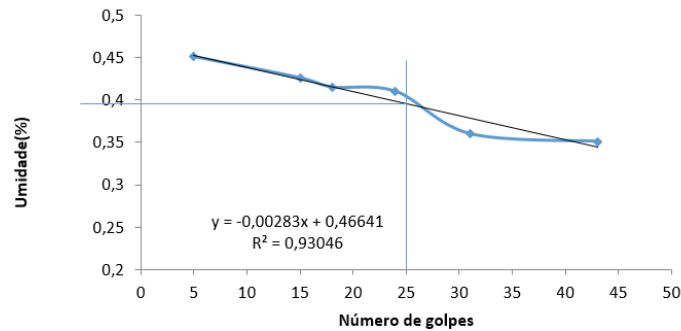
Fonte: dados da pesquisa, 2020.

Foi possível observar no Gráfico 1 e na Tabela 1 a porcentagem passante de 77,85% de solo na peneira de 0,075 mm, mostrando que o solo tem, em sua grande maioria, granulometria fina, possuindo aproximadamente 15% de areia em sua composição e 6,4% de pedregulhos.

#### 4.1.2 Limites de Atterberg

Como complemento para a caracterização do solo, foram determinados os limites de Atterberg. O ensaio de limite de liquidez foi feito segundo a DNER-ME 122/1994, e os resultados estão expressos no Gráfico 2.

**Gráfico 2: Limite de Liquidez**



Fonte: dados da pesquisa, 2020.

A norma define que o limite de liquidez é o teor de umidade do solo no momento da aplicação dos 25golpes. Sendo assim, foi possível observar no Gráfico 2 que a quantidade de golpes determinada foi atingida com a umidade de 39,6%.

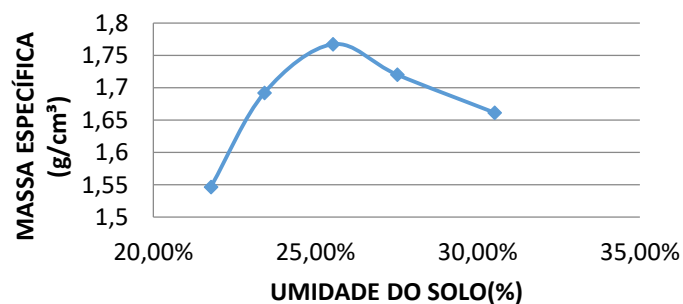
O limite de plasticidade também foi executado seguindo as normativas da norma DNER-ME 082/1994, obtendo-se os três pontos exigidos, e o valor determinado de umidade foi de 26,45%.

A norma também define o índice de plasticidade pela diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade, resultando em 13,2%, o que classifica o solo como medianamente plástico.

#### 4.2 COMPACTAÇÃO E CBR DO SOLO

Para a determinação da umidade ótima e da massa específica do solo, foram moldados cinco corpos de prova, sendo dois no ramo seco da curva, dois no ramo úmido e um próximo à umidade ótima. Com esses dados, pode-se observar no Gráfico 3 e na Tabela 3 a umidade ótima, densidade máxima do solo, expansão e CBR.

**Gráfico 3: Gráfico de compactação do solo**



Fonte: dados da pesquisa, 2020.

**Tabela 3:** Resultados da compactação e CBR do solo

Umidade Ótima (%)	25,6
Densidade Máxima(g/cm <sup>3</sup> )	1,750
Expansão(%)	2,00
CBR(%)	1,79

Fonte: dados da pesquisa, 2020.

O solo apresenta uma expansão padrão para solos argilo-siltosos, porém o valor de CBR abaixo de 2% indica que, sem nenhuma adição, não é possível utilizar o solo em camadas de pavimentação.

#### 4.2.1 Classificação Rodoviária do Solo

Em conformidade com a Classificação TRB (*Transportation Research Board*), utilizando-se dos dados da porcentagem passante na peneira 200, limite de liquidez e índice de plasticidade, foi possível classificar o solo como A-6, um solo argiloso com comportamento ruim para utilização em subleitos de rodovias. (BRASIL, 2006)

A tabela 4 expressa, de forma resumida, a possibilidade da utilização do solo sem nenhum acréscimo em camadas de pavimentação, seguindo as especificações estabelecidas pelo DNIT.

**Tabela 4:** Avaliação dos resultados do solo para as camadas de pavimentação

1	Especificações – Atende?			
Base	CBR	Não	Expansão	Não
Sub-Base	CBR	Não	Expansão	Não
Subleito	CBR	Não	Expansão	Sim

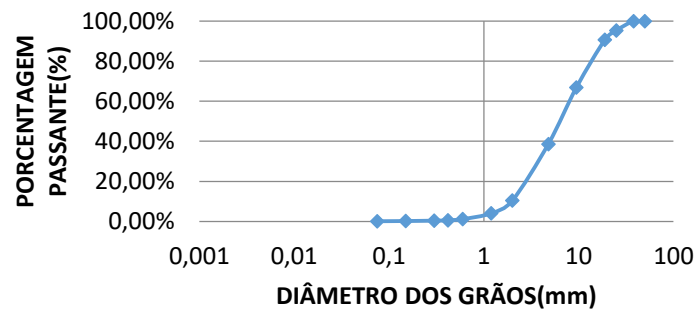
Fonte: dados da pesquisa, 2020.

O solo apresenta uma expansão de 2% que atende a expansão determinada pelo Manual de Pavimentação do DNIT para a utilização em camadas de subleito, porém o valor de 1,79% de CBR não atende o mínimo de 2% necessário.

#### 4.3 CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL FRESADO

Para a caracterização do material fresado, foi feita a análise granulométrica por peneiramento. Os resultados estão expressos no Gráfico 4.

**Gráfico 4:** Curva granulométrica do material fresado



Fonte: autor, 2020.

O Gráfico 4 mostra que o material fresado possui grande parte de suas partículas compostas por pedregulhos; 89,55% de suas partículas ficam retidos na peneira de 2mm, e a porcentagem passante é, em sua grande maioria, areia.

#### 4.4 ENSAIO CBR DAS MISTURAS

De modo a atingir o máximo nível de densificação, foi utilizada a quantidade de golpes definida pela norma de índice de suporte Califórnia do DNIT, recomendada para camadas de base. Sendo assim, a amostra foi compactada no cilindro de volume e massa conhecidos em 5 camadas iguais, aplicando-se, em cada uma delas, 55 golpes divididos uniformemente pela superfície.

Foram realizados os ensaios de CBR para as misturas de 70/30, 50/50 e 30/70 por cento de material fresado e solo, respectivamente. Os resultados estão expressos na tabela 5.

**Tabela 5:** Resultados do CBR das misturas de material fresado + solo

	Compactação 70/30	Compactação 50/50	Compactação 30/70
Umidade (%)	6,5	11,8	18,8
Expansão (%)	0,5	0,6	2,0
CBR (%)	35,4	10,7	3,1

Fonte: dados da pesquisa, 2020.

Na figura 4, é possível observar o momento da execução do ensaio de CBR de uma das misturas.

**Figura 4:** Execução do ensaio de CBR



Fonte: acervo dos autores, 2020.

Com os resultados dos ensaios laboratoriais em mãos, foi realizada a análise dos resultados das misturas em comparação com as especificações exigidas pelo Manual de Pavimentação do DNIT, para se avaliar a possibilidade de uso das misturas em camadas de base, sub-base e subleito de pavimentos flexíveis levando-se em consideração a capacidade de suporte e expansão.

As tabelas 6, 7 e 8 apresentam uma versão resumida da possibilidade de uso das misturas do material fresado + solo.

**Tabela 6:** Avaliação dos resultados das misturas de 70%MF + 30%Solo

Camada	Especificações – Atende?			
	CBR	Não	Expansão	Sim
Base	CBR	Não	Expansão	Sim
Sub-Base	CBR	Sim	Expansão	Sim
Subleito	CBR	Sim	Expansão	Sim

Fonte: dados da pesquisa, 2020.

**Tabela 7:** Avaliação dos resultados das misturas de 50%MF + 50%Solo

Camada	Especificações – Atende?			
	CBR	Não	Expansão	Sim
Base	CBR	Não	Expansão	Sim
Sub-Base	CBR	Não	Expansão	Sim
Subleito	CBR	Sim	Expansão	Sim

Fonte: dados da pesquisa, 2020.

**Tabela 8:** Avaliação dos resultados das misturas de 30%MF + 70%Solo

Camada	Especificações – Atende?			
	CBR	Não	Expansão	Não
Base	CBR	Não	Expansão	Não
Sub-Base	CBR	Não	Expansão	Não
Subleito	CBR	Sim	Expansão	Sim

Fonte: dados da pesquisa, 2020.

Pode-se observar que nenhuma das três composições consegue atender a exigência mínima do CBR para a camada de base de pavimentos. A única mistura que

atingiu ambos os critérios para a utilização em camadas de sub-base foi a composição com a maior adição de material fresado; já para a camada de subleito, foi possível observar que adições a partir de 30% de material fresado já são capazes de permitir que o solo seja usado nessa função.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A destinação de resíduos da construção civil é uma preocupação cada vez mais frequente na nossa sociedade. Cada vez mais pesquisas são realizadas para se testar a viabilidade da reutilização desses resíduos, evitando-se que eles sejam descartados no meio ambiente. O presente estudo possibilitou analisar a viabilidade da utilização de um resíduo produzido durante a fresagem de pavimentos, como um material de reforço de um solo característico da região de Patos de Minas-MG, para a utilização como camadas de pavimentos flexíveis.

Com base nos ensaios de caracterização, identificou-se que o solo em estudo trata de uma argila-siltosa medianamente plástica que, isoladamente, não apresentou características para ser usada em nenhuma camada de pavimentação.

A composição de 70% MF e 30% solo apresentou resultados satisfatórios em expansão e CBR para o uso em camadas de sub-base, porém ainda insuficientes para o uso em camadas de base. Observou-se também que, para permitir a utilização em camadas de subleito, a adição de 30% MF já foi suficiente para atingir os parâmetros exigidos pelo manual de pavimentação do DNIT.

Dessa forma, conclui-se que a aplicação do material fresado como reforço em um solo para a utilização em camadas de pavimentos flexíveis é dependente das características dos materiais e suas composições. Nas composições estudadas, as misturas apresentaram um aumento significativo na resistência, possibilitando a reutilização do material fresado, reduzindo o estrago no meio ambiente, os custos e permitindo o aumento da resistência de solos característicos fracos.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9895**: solo: índice de suporte Califórnia (ISC): método de ensaio. Rio de Janeiro, 2016.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação Asfáltica, materiais, projeto e restauração**. São Paulo: Oficina dos Textos, 2007.

BERNUCCI, Liedi Bariani. **Pavimentação Asfáltica, formação básica para engenheiros**. 3. ed. Rio de Janeiro: Imprinta, 2010.

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E PESQUISA. COORDENAÇÃO GERAL DE ESTUDOS E PESQUISA. INSTITUTOS DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS. **Manual de Pavimentação**. 3. ed. Rio de Janeiro, 2006.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

CARVALHO, D. S. de. **Tecnologia educacional para estomizados**: construção de um guia de orientação para cuidados com a pele periestoma. 2014. 183 f. Dissertação (Mestrado em Enfermagem) – Universidade do Estado do Pará, Belém, 2014.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES – CNT. **Boletim estatístico**. 2006. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/boletins>.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM -DER. **Fresagem de pavimento asfáltico**. São Paulo, SP. 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **ME 082/94**: solo: determinação do limite de plasticidade: método de ensaio, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **ME 051/94**: solo: análise granulométrica: método de Ensaio, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **ME 122/94**: solo: determinação do limite de liquidez: método de referência e método expedido: método de Ensaio, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Norma DNIT 159-2011 ES**: pavimento asfáltico: fresagem a frio: especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2011.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Norma DNIT 164/2013-ME**: solos: compactação utilizando amostras não trabalhadas: método de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Norma DNIT 172/2016 – ME**: solos: determinação do índice de suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas: método de ensaio. Rio de Janeiro, 2016.

DIAS, Patrícia Silva; PINTO, Isaac Eduardo; COSTA, Clauber. Contribuição ao estudo de materiais fresados incorporados a um solo argilo siltoso para o uso em camadas de pavimentos flexíveis. *In*. REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 44.; ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA, 18., Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. Foz do Iguaçu, 2015, p. 1-12.

GUIA DA ENGENHARIA. **Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis**. Disponível em: <https://www.guiadaengenharia.com/dimensionamento-pavimento-flexivel/>.

UTILIZAÇÃO DE MATERIAL FRESADO COMO REFORÇO DE SOLO PARA COMPOSIÇÃO DE CAMADAS  
DE SUB-BASE DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS

MARQUES, Geraldo Luciano de Oliveira. **Notas de aula da disciplina pavimentação:**  
TRN 032: versão 2006. Universidade de Juiz de Fora (UFJF), Faculdade de Engenharia,  
Juiz de Fora, 2006.



# Projeto e desenvolvimento de sistema de eletromiografia de superfície e de jogo de prótese virtual voltados à reabilitação muscular e à adaptação a próteses físicas

*Design and development of a surface electromyography system and a virtual prosthesis game aimed at muscle rehabilitation and adaptation to physical prosthesis*

BRUNA MARIA PEREIRA DE SOUSA

Discente do curso de Engenharia de Elétrica (UNIPAM)

E-mail: [brunampsousa@unipam.edu.br](mailto:brunampsousa@unipam.edu.br)

GASPAR EUGÊNIO OLIVEIRA RAMOS

Professor orientador (UNIPAM)

E-mail: [gasparramos@unipam.edu.br](mailto:gasparramos@unipam.edu.br)

---

**Resumo:** O presente trabalho apresenta como temática a gamificação de sinais EMG com o objetivo de auxiliar no processo de adaptação a próteses físicas e na reabilitação de pacientes que foram submetidos a amputações transradiais de braço. A escolha deste tema e objetivo se deu devido à grande porcentagem de amputações de braço ocorrida no Brasil e ao processo de adaptação e reabilitação pós-amputação se caracterizar como um período estressante e difícil. Para isso, foi desenvolvida placa de aquisição e condicionamento de sinais EMG; posteriormente, este sinal foi processado no Arduino Due e enviado ao computador. No ambiente computacional, a prótese, desenvolvida no Unity, recebe esses sinais. A prótese realiza a flexão e extensão dos dedos da mão de acordo com a ativação muscular do paciente.

**Palavras-chave:** Eletromiografia. Gamificação. Processamento de Sinais. Prótese Virtual. Sinal EMG.

**Abstract:** The present work presents the gamification of EMG signals as a theme in order to assist in the process of adaptation to physical prostheses and, also, in the rehabilitation of patients who have undergone transradial arm amputations. The choice of this theme and objective was due to the large percentage of arm amputations that occurred in Brazil and, also, due to the process of adaptation and rehabilitation after amputation being characterized as a stressful and difficult period. For this, an EMG signal acquisition and conditioning board was developed; later, this signal was processed in the Arduino Due and sent to the computer. Later, this signal is processed in Arduino Due and sent to the computer. In the computational environment, the prosthesis, developed in Unity, receives these signals. The prosthesis flexes and extends the fingers according to the patient's muscle activation.

**Keywords:** Electromyography. Gamification. Signal Processing. Virtual Prosthesis. EMG signal.

---

## 1 INTRODUÇÃO

Os vários sinais existentes na natureza representam pontos de partida para diferentes estudos, que, com a utilização de recursos inerentes à eletrônica, são interpretados e utilizados nas mais diversas aplicações, incluindo as relacionadas à instrumentação biomédica. Esse campo de estudo apresentou grande evolução nas últimas três décadas, tornando-se indispensável, devido à capacidade de dar significado aos sinais emitidos pelo corpo humano, afirma Bertotti (2010).

Entre as abordagens da instrumentação biomédica, está presente a eletromiografia, área destinada ao estudo da atividade elétrica presente nos músculos corporais. Quando um movimento é realizado, a musculatura corporal se encarrega de sustentar esse movimento, gerando o sinal mioelétrico conhecido, também, como sinal EMG. (WEISS; SILVER; WEISS, 2004).

A eletromiografia é amplamente utilizada em várias aplicações que buscam estudar os músculos de forma criteriosa, de modo que o sinal mioelétrico fica responsável por realizar o controle de próteses físicas e virtuais, proporcionando maior precisão das próteses. Na área fisioterapêutica, a eletromiografia contribui com reabilitação e terapia. (BANCA *et al.*, 2016; SILVEIRA JR *et al.*, 2019).

A gamificação na reabilitação contribui diretamente com a prática de exercícios voltados à reabilitação muscular e com o treinamento protético de forma relaxante e divertida. Dessa forma, pesquisas na área de eletromiografia combinadas com jogos virtuais contribuem para o desenvolvimento da ciência e, portanto, para o desenvolvimento das técnicas de reabilitação.

O processo de amputação envolve a remoção parcial ou total de um membro específico de forma cirúrgica ou traumática. Segundo o Ministério da Saúde (BRASIL, 2014), 15% das amputações acometidas aos brasileiros são de membros superiores, sendo causadas por acidentes de trabalho, doenças vasculares periféricas, entre outras causas. O processo de adaptação ao uso de próteses físicas proporciona ao paciente uma nova experiência, muitas vezes, caracterizada como um processo difícil e monótono.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho consiste no desenvolvimento de equipamento baseado em eletromiografia de superfície e em gamificação para auxiliar na adaptação ao uso de próteses físicas e na reabilitação de pessoas que foram submetidas à amputação transradial de membro superior.

Para atingir o objetivo proposto, foi desenvolvida uma placa de aquisição e condicionamento para sinais EMG. Posteriormente, o sinal EMG condicionado foi enviado ao microcontrolador onde foi processado. Após o processamento e a identificação do movimento, o sinal de controle foi enviado ao computador, realizando o controle da flexão e extensão dos dedos da prótese desenvolvida no Unity 3D.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

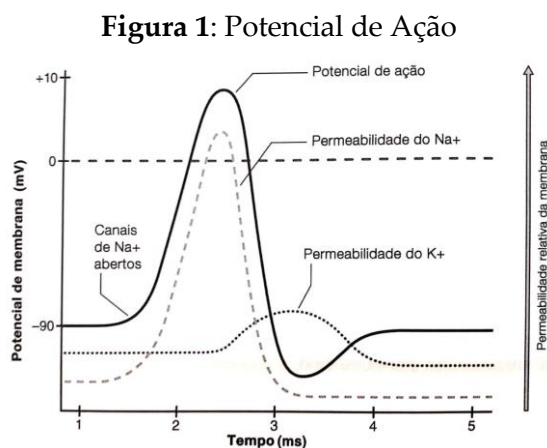
O objetivo desta seção é apresentar a revisão bibliográfica para fundamentar a teoria necessária ao trabalho.

## 2.1 SISTEMA MUSCULAR E FISIOLOGIA DO SINAL MIOELÉTRICO

No nível celular, o tecido muscular esquelético humano é distribuído em feixes, com muitas listras horizontais e vários núcleos. Cada um desses filamentos contém células musculares, também denominadas de fibras musculares. (THIBODEAU; PATTON, 2002).

Todos os músculos do corpo humano produzem sinais elétricos quando são contraídos. Do ponto de vista elétrico, essa característica é inerente ao comportamento muscular e é essencial para a identificação dos sinais elétricos emitidos pelos grupos musculares e para a correta interpretação em meio digital.

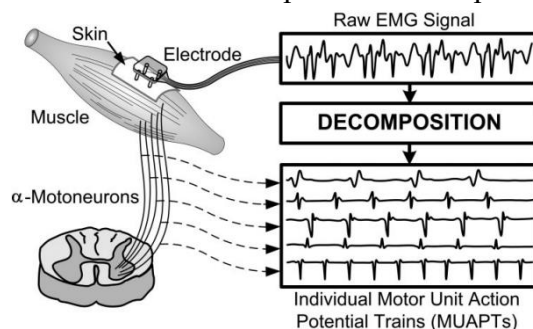
A contração muscular é proveniente da alteração de posicionamento da membrana muscular provocada pelo fenômeno elétrico denominado potencial de ação. O potencial de ação é resultante da alteração no gradiente de concentração iônica existente entre o exterior e o interior da célula muscular (DE LUCA, 2006). O curso de tempo do potencial de ação é apresentado na Figura 1.



Fonte: Kamem; Gabriel, 2015.

O sinal mioelétrico, também denominado sinal EMG, é obtido a partir do somatório dos potenciais de ação das unidades motoras encarregadas pela geração de um movimento específico. (MACHADO, 2010). A Figura 2 apresenta o sinal mioelétrico decomposto em seus vários potenciais de ação.

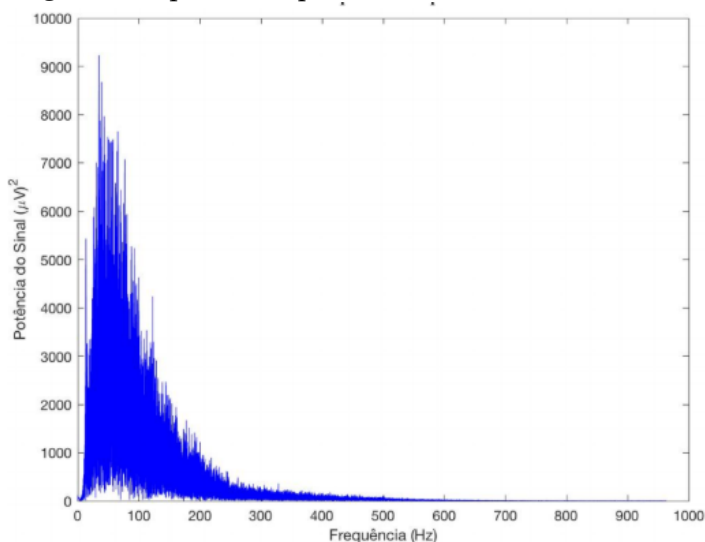
**Figura 2: Sinal mioelétrico decomposto em seus potenciais de ação**



Fonte: De Luca *et al.*, 2006.

O sinal EMG de superfície possui amplitude na casa de milivolts, assumindo cerca de 5mV de pico. O espectro de frequências do sinal mioelétrico está compreendido entre, aproximadamente, 0Hz e 500Hz, com maior energia entre 50Hz e 150Hz. (SOUZA, 2015). O espectro de potência do sinal mioelétrico é apresentado na Figura.

**Figura 3:** Espectro de potência de um sinal mioelétrico



Fonte: Limoli, 2017.

## 2.2 INSTRUMENTAÇÃO DO SINAL MIOELÉTRICO

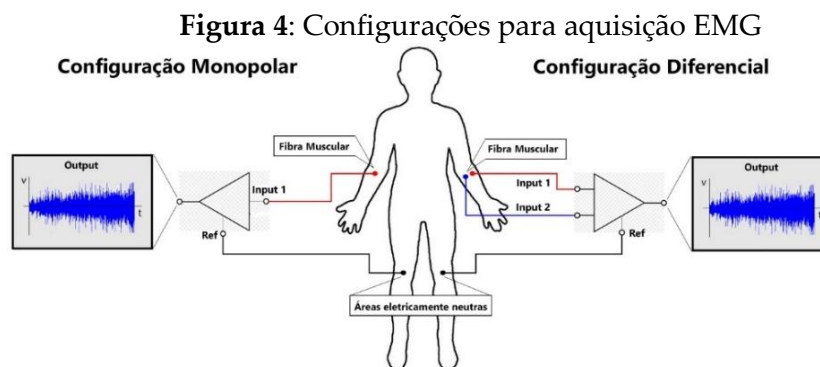
Os sinais EMG são facilmente perturbados de várias maneiras. Isso porque o sinal é frequentemente exposto a vários tipos de ruídos, principalmente devido à sua baixa amplitude. Portanto, para digitalizar o sinal EMG com alta fidelidade e interpretá-lo corretamente em meio digital, devem ser utilizados recursos para mitigar interferências e recursos para aumentar a amplitude do sinal.

### 2.2.1 Aquisição

A aquisição de sinais EMG é obtida através de eletrodos que realizam a conversão do potencial elétrico gerado por determinado músculo em um sinal eletrônico. Essa aquisição pode ser executada de duas formas: a técnica invasiva, que equivale à captura do sinal de forma intramuscular a partir de uma agulha, e a não-invasiva ou eletromiografia de superfície, que consiste na obtenção do sinal a partir de eletrodos alocados sobre a pele. (BHATNAGAR, 2008; SILVEIRA JR *et al.*, 2019; PLONSEY; BARR, 1988).

Os eletrodos de superfície podem ser montados sob duas configurações: monopolar e bipolar ou diferencial. A configuração monopolar utiliza um eletrodo ativo (G1) destinado à aquisição do sinal, e outro eletrodo destinado à geração de referencial (G2). A configuração diferencial utiliza dois eletrodos ativos alocados sobre o músculo para a captação do sinal (G1 e G2) e, um terceiro, em região caracterizada neutra

eletricamente. (DE LUCA, 2006; KAMEM; GABRIEL, 2015). As duas configurações supracitadas são apresentadas na Figura 4.

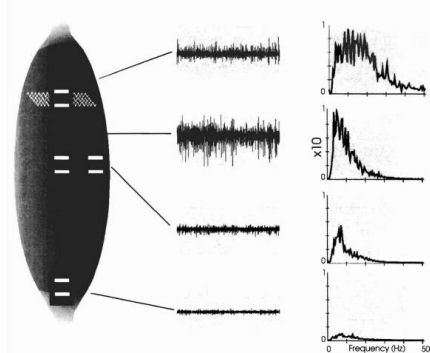


Fonte: autoria própria, 2021.

A distância entre os eletrodos de sinal na configuração diferencial possui direta influência na obtenção de registros EMG seletos. Essa distância, denominada intereletrodo, é dependente das dimensões do músculo em estudo, variando entre 5mm e 20mm, afirmam Kamem e Gabriel (2015).

De acordo com De Luca (1997), alguns pontos devem ser levados em consideração ao se realizar a aquisição de sinais EMG. Os eletrodos de sinal não devem estar alocados próximos ou sobre os tendões, ser posicionados na borda externa do músculo e sobre zonas de inervação. Ainda em consonância com o autor, os eletrodos de sinal devem estar posicionados entre dois pontos motores ou entre um ponto motor e um tendão, e o eletrodo de referência deve ser alocado sobre uma região eletricamente neutra. A variação de potência do sinal EMG de acordo com o posicionamento dos eletrodos é apresentada na Figura 5.

**Figura 5:** Variação de potência do sinal EMG de acordo com a localização dos eletrodos



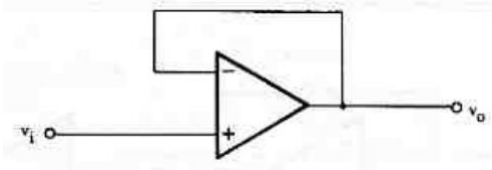
Fonte: De Luca, 1997.

A partir do sinal adquirido, este deve ser submetido à etapa responsável por atenuar as interferências eletromagnéticas, atribuir potência ao sinal e atenuar as frequências que não são de interesse ao estudo. Essa etapa denomina-se condicionamento e compreende a isolamento, pré-amplificação, filtragem e amplificação.

### 2.2.2 Isolação

A isolação entre o circuito de condicionamento e o paciente é elaborada a partir de seguidores de tensão ou *buffers*. Esses circuitos possuem a capacidade de não interferir de nenhuma forma no sinal aplicado a eles, apresentando, dessa forma, ganho de tensão unitário. (PERTENCE JR, 2015). A Figura 6 apresenta a obtenção dessa peculiaridade a partir de realimentação negativa unitária.

**Figura 6:** Seguidor de tensão ou *buffer*



Fonte: Pertence Jr, 2015.

### 2.2.3 Pré-amplificação

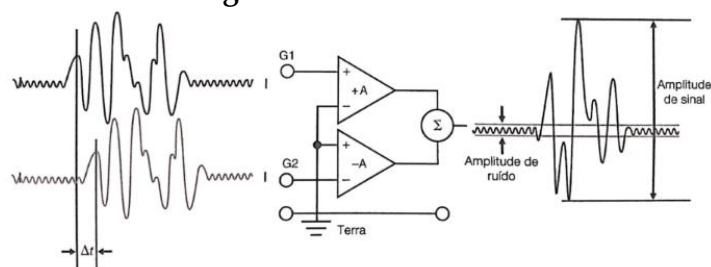
A pré-amplificação do sinal é realizada por amplificadores de instrumentação (AI) ou amplificadores diferenciais. Esta etapa tem como objetivo atenuar sinais indesejáveis e proporcionar ganho de tensão ao sinal EMG.

Em configurações diferenciais de eletrodos, o sinal mioelétrico que passa sob o eletrodo G2 possui atraso de, aproximadamente, 2ms em relação ao sinal captado pelo eletrodo G1; dessa forma, os eletrodos captam sinais biológicos distintos. Ambos os eletrodos captam, também, um sinal de mesma amplitude e frequência, proveniente do ambiente, denominado sinal de modo comum. Esses sinais são atenuados pelo amplificador diferencial devido à sua capacidade de realizar a subtração entre os sinais presentes em suas entradas. (KAMEM; GABRIEL, 2015).

Dessa forma, o amplificador diferencial tem de possuir alta capacidade de realizar a subtração entre os sinais de modo comum, apresentado alta razão de rejeição de modo comum (CMRR). A Figura 7 exemplifica tal capacidade.

O ganho do circuito responsável pela pré-amplificação é obtido a partir da CMRR definida para o projeto, afirma Analog Devices (2020), de forma que, quanto maior for o ganho, maior será a CMRR. Em conformidade com o mesmo autor, o valor de resistência necessária ao controle do ganho ( $R_G$ ) do AD620, por exemplo, é calculado (1) como segue.

$$R_G = \frac{49,4k\Omega}{G-1} (1)$$

**Figura 7: CMRR em EMG**

Fonte: adaptado de Kamem e Gabriel, 2015.

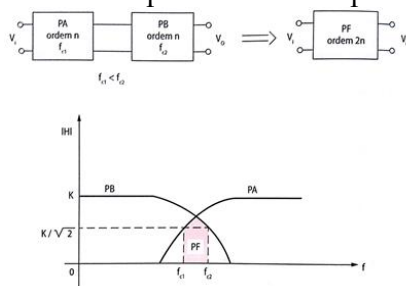
Posteriormente à atenuação de interferências eletromagnéticas e à atribuição de potência ao sinal EMG, esse sinal detém parâmetros convenientes à próxima etapa do condicionamento.

### 2.2.4 Filtragem

O sinal EMGs possui espectro de frequências limitado. A filtragem desse sinal é realizada com o intuito de atenuar frequências não necessárias ao estudo do sinal, como ruídos provenientes dos artefatos de movimento e do ambiente.

Os filtros podem possuir caráter passivo, ativo ou digital. Filtros passivos não são capazes de amplificar o sinal compreendido na banda passante; em contrapartida, aos filtros ativos que possuem esta capacidade. Os filtros digitais são empregados em microcontroladores e computadores de modo a possibilitar o processamento de vários canais de transmissão de dados através do mesmo filtro. (PERTENCE JR, 2015; MALVINO; BATES, 2007).

Em consonância com os autores Kamem e Gabriel (2015), sinais EMG são comumente filtrados com filtros passa-faixa ativos, compostos por filtros passa-alta e passa-baixa em cascata (Figura 8). Com esta função de filtragem, apenas as frequências características do sinal EMG são mantidas. Além disso, os autores dizem que as frequências de corte baixa e alta para aplicações EMG são, respectivamente, adotadas como 10Hz e 500Hz. A frequência de 10Hz é utilizada para remover o ruído referente aos artefatos de movimento causados pela movimentação dos eletrodos e dos cabos de comunicação; a frequência de 500Hz é empregada com o intuito de atenuar os ruídos de alta frequência provenientes dos sinais do meio circundante, afirmam os autores supracitados.

**Figura 8: Filtro passa-faixa a partir de filtros passa-alta e passa-baixa**

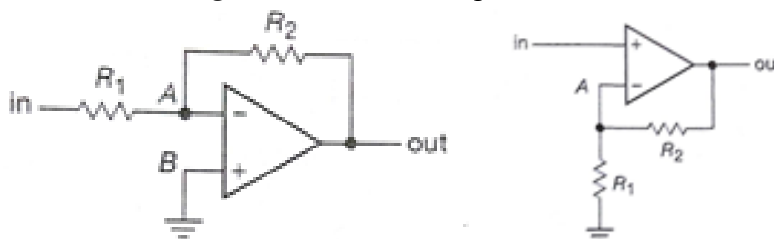
Fonte: Pertence Jr, 2015.

Uma vez que a filtragem do sinal EMG antecede a etapa de digitalização, esse filtro é denominado filtro *anti-aliasing* e é desenvolvido com aproximação *Butterworth*. Essa aproximação apresenta resposta plana e, portanto, máximo nivelamento da banda de passagem, requisito indispensável para a manutenção da precisão nos níveis de sinal em aplicações de conversão de dados. (CARTER; MANCINI, 2009).

### 2.2.5 Amplificação

A amplificação do sinal EMG é realizada por circuitos amplificadores. Essa amplificação visa a adequar o sinal a níveis de tensão conveniente à conversão digital/análogica. Os circuitos amplificadores são encontrados como inversores e não-inversores, sendo os primeiros capazes de amplificar o sinal gerando defasagem de 180 graus (2) e os segundos aptos a gerar ganho sem a inversão de fase (3). (PERTENCE JR, 2015). A Figura 9 contém os circuitos amplificadores apresentados.

**Figura 9:** Circuitos amplificadores



Fonte: Horowitz, 2017.

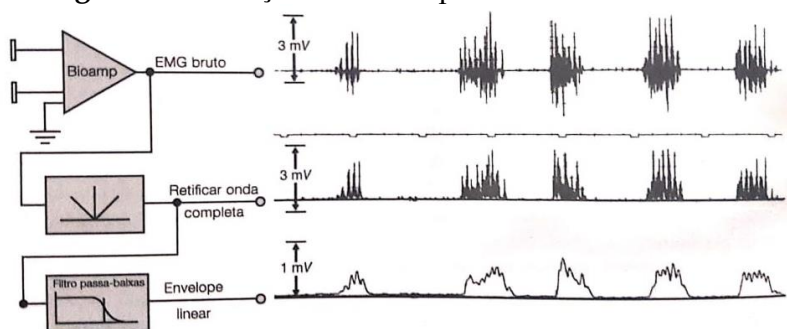
$$G = -\frac{R_2}{R_1} \quad (2) \quad G = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (3)$$

Atribuído ganho de tensão ao sinal, este é encaminhado ao processo de demodulação de amplitude.

### 2.2.6 Demodulação de amplitude

A técnica de demodulação mais comum para aplicações em eletromiografia é a detecção do envelope linear do sinal EMG. Ao se considerar o sinal EMG como um sinal com caráter aleatório, pressupõe-se que esse sinal seja portador modulado pela amplitude. A detecção do envelope linear do sinal EMG pode ser realizada tanto por *hardware* quanto por *software* e consiste na retificação de onda completa e na posterior filtragem passa-baixa do sinal. (KAMEM; GABRIEL, 2015). A Figura 10 apresenta o processo de demodulação.



**Figura 10:** Detecção do envelope linear do sinal EMGs

Fonte: Kamem; Gabriel, 2015.

### 2.3 CONVERSÃO AD E SISTEMAS DE CONTROLE POR EMG

Para que o sinal EMG possa ser processado em ambiente digital, deve ser convertido em digital. “O processo de conversão analógico-digital consiste, basicamente, em entrar com a informação de forma analógica e recolher na saída essa mesma informação de forma digital.” (IDOETA; CAPUANO, 2012).

Ao processo de conversão analógico-digital taxa de amostragem e quantização se caracterizam como conceitos indispensáveis. A taxa de amostragem se refere à velocidade em que é realizada a coleta de amostras do sinal original e é determinada a partir do Teorema de Nyquist, sendo que, para uma amostragem perfeita do sinal sem perda de informação, é atribuída frequência de amostragem de, no mínimo, duas vezes a componente de maior frequência do sinal. (HOROWITZ; HILL, 2017).

A cada amostra colhida é atribuído um valor representando o processo de quantização. Esse processo se refere à precisão do conversor em quesito de níveis de tensão, de modo que conversores com maior quantidade de bits possuem maior precisão. (HOROWITZ; HILL, 2017). Em aplicações de EMG, Kamem e Gabriel (2015) afirmam que são utilizadas resoluções entre 12 e 16 bits.

A conversão A/D pode ser realizada por diferentes dispositivos eletrônicos, entre eles os microcontroladores. Entre os microcontroladores disponíveis, pode-se citar o Arduino Due apresentado na Figura 11. Esse microcontrolador possui ADC com resolução de 12 bits e taxa de amostragem máxima igual a 1MHz. (ATMEL, 2015).

**Figura 11:** Arduino Due

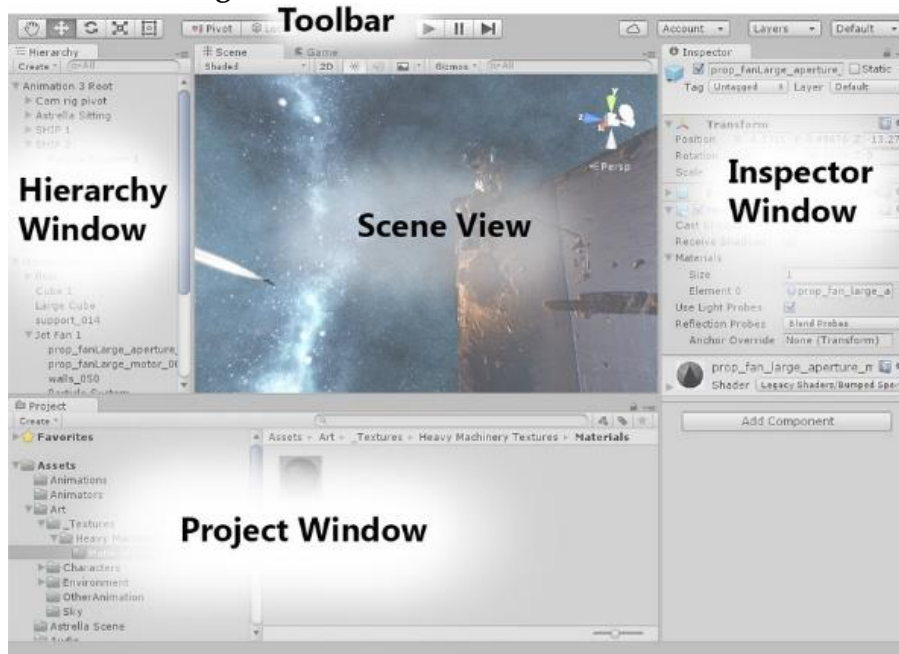
Fonte: Arduino.cc, 2021.

Sistema de controle por EMG deve atender a três requisitos básicos: taxa de acerto do classificador aceitável, tempo de resposta sem atraso significativo para o movimento do usuário e interface intuitiva para evitar a sobrecarga do usuário. (ENGLEHART; HUDGINS, 2003).

## 2.4 MOTOR DE JOGOS: UNITY 3D

O UNITY 3D é um motor de jogos em que o desenvolvimento de jogos 3D pode ser realizado devido à capacidade de renderização em tempo real de animações e objetos 3D. O UNITY 3D possui grande compatibilidade, a incluir, Windows, Android e Iphone. (GANIEV; SHIN; LEE, 2016; PASSOS, 2009). A Figura 12 apresenta a área de trabalho do UNITY 3D.

Figura 12: Área de trabalho do UNITY 3D



Fonte: Unity 3D, 2019.

## 3 METODOLOGIA

Buscando alcançar as metas propostas, foi elaborada a documentação necessária à aprovação do projeto de pesquisa pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP). Posteriormente à aprovação da pesquisa pelo CEP, o trabalho foi iniciado. A metodologia do presente trabalho consiste em:

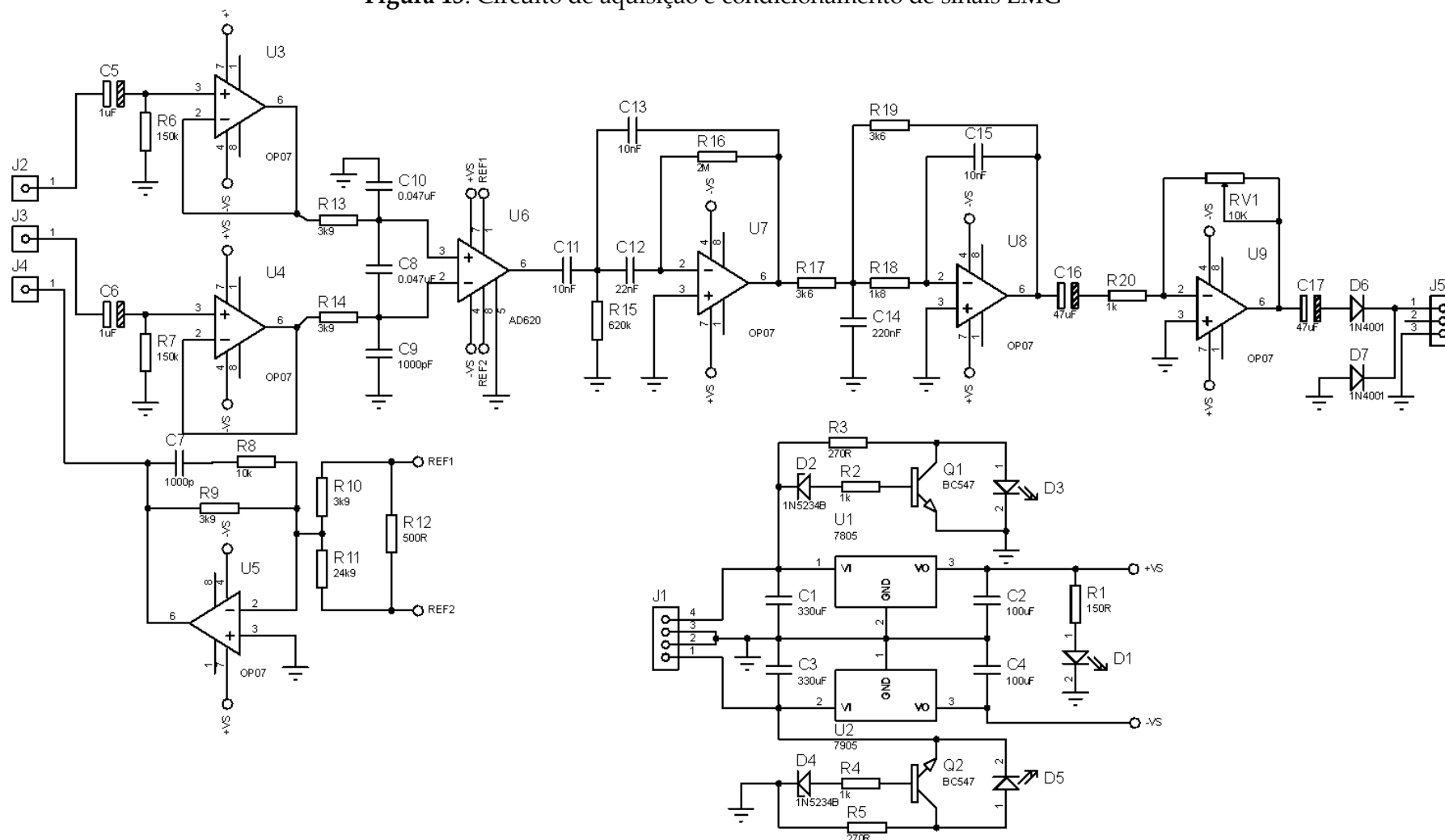
- a) revisão bibliográfica: realizou-se revisão bibliográfica em artigos científicos, dissertações, teses, livros, folhas de dados e outras obras com temas pertinentes à proposta, com o objetivo de se obterem conhecimentos prévios necessários à execução do trabalho.

- b) projeto dos circuitos elétricos: foram projetados os circuitos de aquisição, condicionamento, conversão AD e processamento e comunicação com PC.
- c) programação do sistema de controle por EMG: foi elaborado *script* em linguagem C, no microcontrolador Arduino Due, para realizar a identificação do movimento e gerar o sinal de controle para a prótese.
- d) prototipação e testes em bancada: foi realizada a prototipação, em placa de circuito impresso, dos circuitos pertinentes ao projeto e testes de bancada no laboratório de eletrônica da instituição.
- e) *design* e programação da prótese virtual: foi elaborado o ambiente virtual composto pela prótese no Unity 3D e realizada, também, a programação em linguagem C#, de modo que a prótese realiza a flexão e extensão dos dedos da mão a partir do sinal de controle advindo do microcontrolador.

#### 4 RESULTADO E DISCUSSÃO

Os circuitos de aquisição e condicionamento foram projetados de modo a atender as especificações de projeto tratadas no decorrer da revisão bibliográfica. A Figura 13 apresenta o circuito projetado.

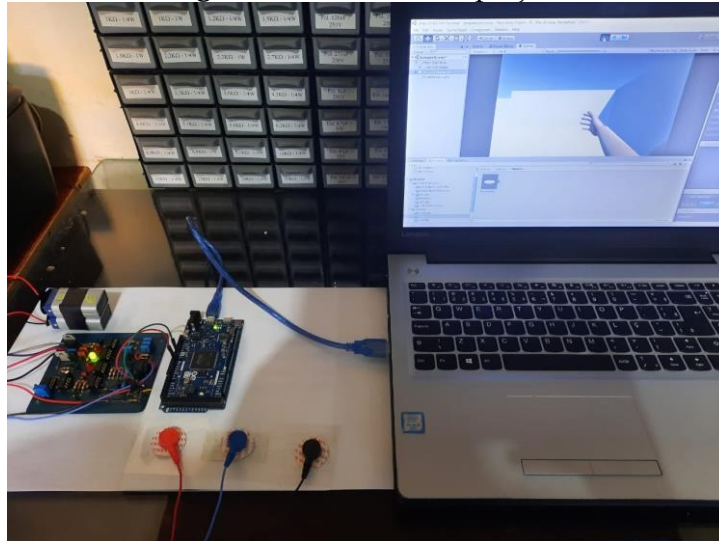
Figura 13: Circuito de aquisição e condicionamento de sinais EMG



Fonte: autoria própria, 2021.

A conversão analógico-digital, o processamento e a comunicação com o computador foram realizados com o Arduino Due. A Figura 14 apresenta o *hardware* do projeto.

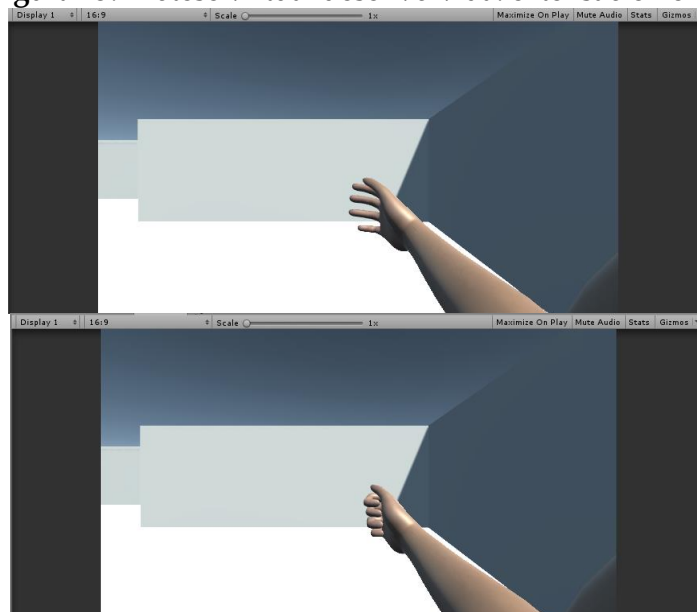
**Figura 14:** *Hardware* do projeto



Fonte: autoria própria, 2021.

A prótese virtual desenvolvida no ambiente Unity é apresentada na Figura 15. O ambiente virtual conta com jogabilidade em primeira pessoa, garantindo maior imersão ao paciente. A prótese virtual recebe o sinal de controle advindo do microcontrolador e efetua a flexão e extensão dos dedos da mão de acordo com a atividade muscular.

**Figura 15:** Prótese virtual desenvolvida: extensão e flexão



Fonte: autoria própria, 2021.

## 5 CONCLUSÃO

O desenvolvimento da presente pesquisa possibilitou a criação de um equipamento baseado em eletromiografia de superfície e jogos virtuais capaz de auxiliar pacientes tanto na reabilitação quanto na adaptação ao posterior uso de próteses físicas. Esses processos, com o processo de gamificação, passam a ser executados de forma lúdica e relaxante, contribuindo, diretamente, para o aperfeiçoamento das técnicas de reabilitação.

O desenvolvimento da prótese virtual em primeira pessoa controlada com sinais EMG da musculatura do antebraço foi testada de forma preliminar. Nesse sentido, é relevante a continuidade da pesquisa de modo a aperfeiçoar as partes constituintes da proposta. Torna-se interessante a miniaturização da placa de aquisição e condicionamento, a implementação de sistema de controle em *softwares* dedicados ao processamento digital de sinais e a realização de testes em pacientes amputados.

## REFERÊNCIAS

- ANALOG DEVICES. **Datasheet:** AD620. Publicação eletrônica, 2020. Disponível em: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD620.pdf>.
- ARDUINO.CC. **Arduino due.** [S. l.], 2021. Disponível em: <https://store.arduino.cc/usa/duemk>.
- ATMEL. **Datasheet:** SAM3X / SAM3A Series. Publicação eletrônica, 2015. Disponível em: [https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-11057-32-bit-Cortex-M3-Microcontroller-SAM3X-SAM3A\\_Datasheet.pdf](https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-11057-32-bit-Cortex-M3-Microcontroller-SAM3X-SAM3A_Datasheet.pdf).
- BANCA, M. M. R. *et al.* Captura e processamento de sinais biomédicos utilizando o LabVIEW. **Brazilian Journal of Instrumentation and Control**. Curitiba, n. 1, p. 1-9, 2016. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/bjic/article/download/5082/3287>.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Diretrizes de atenção à pessoa amputada.** Brasília, 2014. Disponível em: [https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/diretrizes\\_atencao\\_pessoa\\_amputada.pdf](https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/diretrizes_atencao_pessoa_amputada.pdf).
- BERTOTTI, F. L. **Sistema de biotelemetria passiva e técnica de medição para aquisição da impedância elétrica de tecido post mortem.** 2010. 174 f. Tese (Doutorado em Engenharia Biomédica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2010. Disponível em: [http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/848/1/CT\\_CPGEI\\_D\\_Bertotti%2C%20F%3A1bio%20Luiz\\_2010.pdf](http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/848/1/CT_CPGEI_D_Bertotti%2C%20F%3A1bio%20Luiz_2010.pdf).
- BHATNAGAR, S. C. **Neuroscience for the Study of Communicative Disorders.** 3. ed. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins, 2008.
- CARTER, B.; MANCINI, R. **Op Amps for everyone.** 3rd ed. Burlington: Newnes, 2009.

DE LUCA, C. J. Electromyography. *In*: WEBSTER, J. G. (Ed.). **Encyclopedia of Medical Devices and Instrumentation**. Hoboken: Wiley-Interscience, 2006. p. 98-109.

Disponível em: <https://www.delsys.com/downloads/TUTORIAL/emg-encyclopedia-of-medical-devices-and-instrumentation.pdf>.

DE LUCA, C. J. *et al.* Decomposition of surface EMG signals. **Journal of Neurophysiology**, Boston, n. 96, p. 1646-1657, 2006. Disponível em:

<https://journals.physiology.org/doi/pdf/10.1152/jn.00009.2006>.

DE LUCA, C. J. The use of surface electromyography in biomechanics. **Journal of applied biomechanics**, Paris, n. 13, p. 135-163, 1997.

ENGLEHART, K.; HUDGINS, B. A robust, real-time control scheme for multifunction myoelectric control. **IEEE Transactions on Biomedical Engineering**, v. 50, n. 7, p. 848-854, jul. 2003. Disponível em:

<https://ieeexplore.ieee.org/document/1206493/authors#authors>.

GANIEV, A.; SHIN, H. S; LEE, K. H. Study on virtual control of a robot arm via a Myo Armband for the self-manipulation of a hand amputee. **International Journal of Applied Engineering Research**, v. 2, n. 1, p. 775-782, fev. 2016. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/298714563\\_Study\\_on\\_virtual\\_control\\_of\\_a\\_robotic\\_arm\\_via\\_a\\_Myo\\_armband\\_for\\_the\\_self-manipulation\\_of\\_a\\_hand\\_amputee](https://www.researchgate.net/publication/298714563_Study_on_virtual_control_of_a_robotic_arm_via_a_Myo_armband_for_the_self-manipulation_of_a_hand_amputee).

HOROWITZ, P.; HILL, W. **A arte da eletrônica: circuitos eletrônicos e microeletrônica**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2017.

IDOETA, I. V.; CAPUANO, F. G. **Elementos de eletrônica digital**. 41. ed. São Paulo: Érica, 2012.

KAMEM, G.; GABRIEL, D. A. **Fundamentos da eletromiografia**. São Paulo: Phorte, 2015.

LIMOLI, C. S. **Protótipo de um eletromiógrafo sem fio de baixo custo**. 2017. 75 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica), Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017. Disponível em: [http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180450/tce-29052017-162649/publico/Limoli\\_Camila\\_Soares\\_tcc.pdf](http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180450/tce-29052017-162649/publico/Limoli_Camila_Soares_tcc.pdf).

MACHADO, J. C. **Sistema de aquisição, processamento e transmissão sem fio de sinais musculares**. 2010. 63 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/33073/000788115.pdf?sequence=1>.

MALVINO, A.; BATES, D. J. **Eletrônica**. 7. ed. Porto Alegre: AMGH, 2007.

PASSOS, E. B. *et al.* **Tutorial**: desenvolvimento de jogos com Unity 3D. *In*: BRAZILIAN SYMPOSIUM ON GAMES AND DIGITAL ENTERTAINMENT, 8., 2009, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: mEdiaLab, 2009. p. 1-30. Disponível em: <http://www.sbgames.org/papers/sbgames09/computing/tutorialComputing2.pdf>.

PERTENCE JR, A. **Eletrônica analógica**: amplificadores operacionais e filtros ativos. Porto Alegre: BOOKMAN, 2015.

PLONSEY, R.; BARR, R. C. **Bioelectricity**: a quantitative approach. New York: Plenum Press, 1988.

SILVEIRA JR, J. L. *et al.* **Projeto e desenvolvimento de um sistema de eletromiografia de superfície**. 2019. 8 f. Artigo científico, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2019. Disponível em: [https://www.sba.org.br/open\\_journal\\_systems/index.php/sba/article/download/336/297/](https://www.sba.org.br/open_journal_systems/index.php/sba/article/download/336/297/).

SOUZA, P. V. E. **Sistema de aquisição de sinais de EMG e ECG para plataforma android**. 2015. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/14022/1/Disserta%20a7%20a3o%20Vers%20a3o%2013.pdf>.

THIBODEAU, G. A.; PATTON, K. T. **Estrutura e funções do corpo humano**. 11. ed. Barueri: Manole, 2002.

UNITY 3D. **Learning the interface**. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://docs.unity3d.com/Manual/LearningtheInterface.html>.

WEISS, L.; SILVER, J.; WEISS, J. **Easy EMG**. [S. l.]: Butterworth-Heinemann, 2004.



# Automação em sistemas de pastejo rotacionado: aplicação de adubo e roçagem

*Automation in rotational grazing systems: fertilizer application and mowing*

LUIS FERNANDO TOLENTINO DE BRITO  
Discente do curso de Engenharia Mecânica (UNIPAM)  
E-mail: luisfernando\_tb@outlook.com

JANAÍNA APARECIDA PEREIRA  
Professora orientadora (UNIPAM)  
E-mail: janainaap@unipam.edu.br

---

**Resumo:** Observada a importância do mercado produtor de leite do estado de Minas Gerais no contexto nacional, enxerga-se a possibilidade de expansão dos lucros e de diferencial produtivo com a implementação de novas tecnologias que agreguem qualidade e eficiência ao processo. O emprego de veículos autônomos pode ser uma grande vantagem competitiva para os produtores, mas existe ainda a preocupação com a viabilidade e facilidade de implementação dessa tecnologia. Através da programação de um controlador e utilizando um software de simulação para projetos eletrônicos, o presente trabalho teve como objetivo desenvolver um sistema de controle para veículos autônomos e um sistema automático de porteiras que seja viável e de fácil utilização para o auxílio da manutenção do pasto para produção de leite, através de um trajeto para o veículo traçado a partir de pontos geográficos obtidos por GPS, apontando assim possíveis melhorias para os problemas encontrados.

**Palavras-chave:** Automação. Pastejo rotacionado. Pastagens.

**Abstract:** Noted the importance of the milk producing market in Minas Gerais in the national context, it is possible to infer that there is an opportunity of expanding profits and a production differential with the implementation of new technologies that add quality and efficiency to the process. The use of autonomous vehicles can be a great competitive advantage for producers, but there is still concern about the feasibility and ease of implementing this technology. By programming a controller and using simulation software for electronics projects, the present work aimed to develop a control system for autonomous vehicles and an automatic gate system that is viable and easy to use, to assist the maintenance of the pasture for milk production.

**Keywords:** Automation. Rotated grazing. Pastures.

---

## 1 INTRODUÇÃO

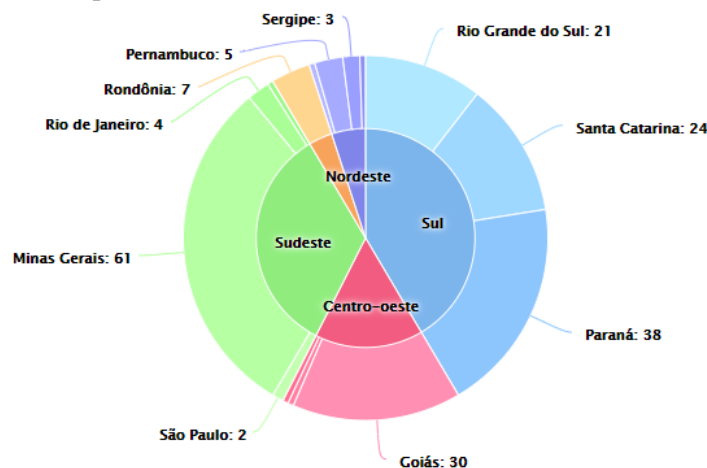
A automação e a instrumentação dos processos produtivos são uma realidade cada vez mais presente, no ramo industrial ou no agrícola, tendo em vista conceitos modernos como a indústria 4.0 e a agricultura de precisão. A automação, como dizem Roggia e Cardozo (2016), é a busca por um processo em que os mecanismos verificam

seu próprio funcionamento, efetuando medições e corrigindo, sem a necessidade da supervisão humana.

O trator Magnum anunciado pela fabricante Case IH é a definição do que se espera para o futuro das máquinas agrícolas e tem enfoque principal na tecnologia referente à autonomia. É um trator que funciona sem cabine de operador, utilizando telemetria, ou seja, monitoramento a distância, para definir rotas e funções, além de alertar remotamente a necessidade de manutenção ou qualquer imprevisto em seu trajeto (EAEMÁQUINAS, p. 36, 2017).

Segundo Dias-Filho (2011), a criação bovina a pasto é a atividade de ocupação agrícola mais utilizada no Brasil. Essa estratégia é tão empregada devido a característica de depender menos orçamento e cuidados em relação à criação por confinamento. De acordo com o portal MilkPoint (2015), Minas Gerais liderou com larga vantagem a pesquisa de estado com maior número de fazendas leiteiras entre as 200 maiores produtoras do Brasil, representando majoritariamente a região sudeste e quase se igualando sozinha à região sul, maior região produtora de leite do país, o que pode ser visto Figura 1.

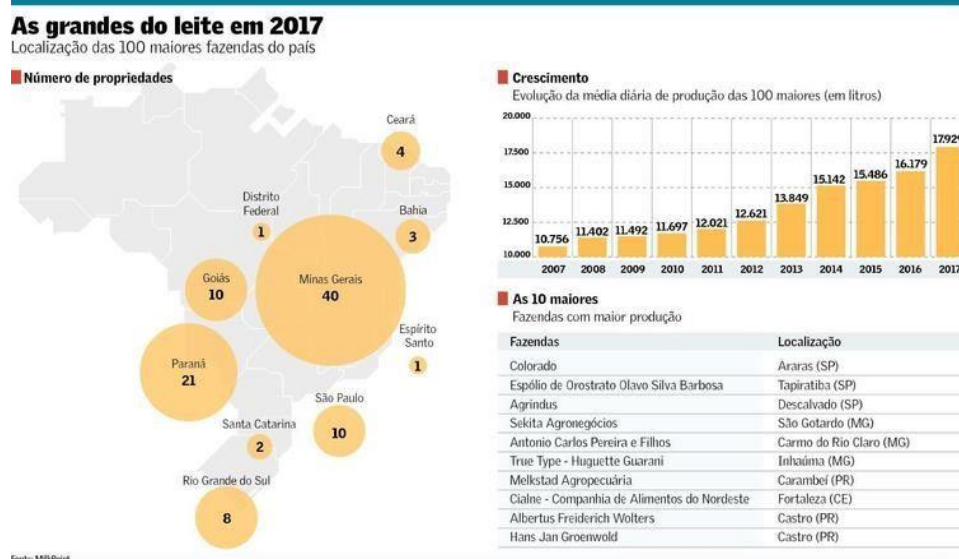
**Figura 1:** Número de municípios por estado, considerando os 200 municípios com maior produção em volume de leite no Brasil em 2014



Fonte: MilkPoint, 2015.

O estado mineiro manteve ainda uma larga vantagem, segundo a própria MilkPoint (2018), em relação ao Paraná, segundo colocada na pesquisa de 2017, para as 100 maiores produtoras de leite. Além disso, destaca-se o crescimento de produção diário das fazendas, sugerindo uma competição cada vez maior nesse mercado, evidenciado na Figura 2.

**Figura 2:** Localização das 100 maiores fazendas produtoras de leite do Brasil em 2017



Enxerga-se a partir disso que a utilização da automação pode potencializar o lucro de uma das maiores atividades produtivas no Brasil, otimizando o processo de cuidado do pasto substituindo a mão de obra humana, passível de erros e com pouca precisão, por máquinas programadas para efetuar as correções necessárias, assim obtendo maior controle da qualidade do pasto ingerido pelos animais, com impacto na produção do leite e no custo do processo. Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo a idealização de um sistema automatizado de pastejo rotacionado, aplicando tecnologias de automação, apontando melhorias e necessidades para a aplicação prática desse sistema.

Teve-se como objetivos específicos (i) o planejamento de um sistema de porteiras automatizadas, que devem abrir em uma sequência predefinida guiando o gado pelos piquetes e (ii) a idealização de um sistema de controle para um veículo responsável por adubar e roçar os piquetes de forma autônoma.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Michaelis (2017) apresenta a definição de *autonomia* como sendo a capacidade de se autogovernar, assim sendo, entende-se como um veículo autônomo aquele capaz de assumir o controle da própria direção. Veículos agrícolas baseados em autonomia já são lançados há mais de vinte anos, utilizando a tecnologia GPS para que os tratores sigam rotas pré-programadas (CAVALHEIRO, 2017). A Figura 3 mostra um exemplo de veículo autônomo, destacando a ausência de uma cabine para o operador, visto que o modelo é controlado à distância e o compartimento é desnecessário.

**Figura 3:** Trator autônomo Magnum - Case IH

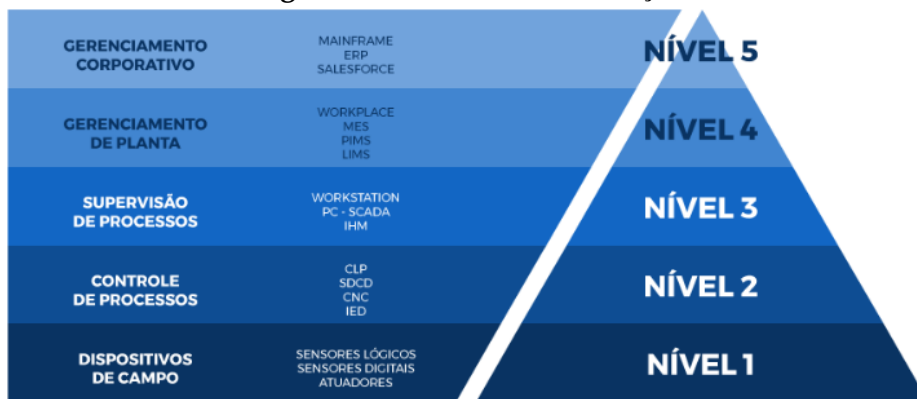


Fonte: EaeMáquinas, 2017.

A máquina idealizada neste trabalho opera seguindo o mesmo conceito, assim o produtor pode substituir os operadores responsáveis pela manutenção do solo por um equipamento que realiza todo o trajeto requerido para o cuidado do pasto.

Tendo em vista o que dizem Moraes e Castrucci (2007), a arquitetura básica de um sistema automatizado é estruturada pela pirâmide de automação (Figura 4), que é composta por cinco níveis, e, para essa pesquisa, os dois primeiros devem ser levados em consideração, sendo o nível 1 referente aos dispositivos de campo, composto por atuadores e sensores que efetivamente realizam o trabalho no sistema; o nível 2, composto pelos dispositivos de controle, responsáveis pela lógica regente das operações no projeto.

**Figura 4:** Pirâmide de automação



Fonte: Altus, 2018.

Como o sistema de porteiros para esse projeto não demanda um controle minucioso da abertura e do fechamento, o acionamento convencional se faz suficiente para essa aplicação. Martins (2016) descreve esse tipo de acionamento como o acionamento de motores a partir de dispositivos eletromecânicos, como contadores e interruptores.

Contadores, segundo ele, são definidos como chaves de operação não manual, com acionamento proveniente da ação eletromagnética. Seus contatos abrem ou fecham, dependendo do seu estado inicial, a partir da energização da bobina eletromagnética do

contator, podendo ser utilizado para a energização e desenergização de motores elétricos a distância quando seus contatos principais são ligados a um motor, e ainda possuindo contatos auxiliares que são utilizados para aplicação da lógica de acionamento.

Ligados ao motor e ao contator, o acionamento elétrico ainda deve contar com dispositivos de segurança, como o relé térmico, o fusível e disjuntor termomagnético. Como diz Martins (2016), tanto o relé térmico quanto o disjuntor proveem o circuito de uma proteção contra sobrecarga, impedindo a passagem de energia elétrica através do rompimento da ligação entre duas lâminas de metal existentes dentro desses componentes quando a corrente elétrica se faz maior do que a corrente natural de trabalho dos motores dentro do circuito, porém, assim como o fusível, o disjuntor termomagnético também protege contra um possível curto circuito, que colocaria em risco os componentes e ocasionaria o risco de acidentes.

Para desenvolver um sistema capaz de controlar as propriedades do pasto fundamentais para a criação do gado, julga-se necessário ter conhecimento sobre quais são essas características e as técnicas utilizadas para a sua manutenção. O pastejo rotacionado é uma das principais técnicas adotadas para sistemas pastoris, em se tratando da divisão do pasto em áreas menores chamados de piquetes que deverão ser ocupados pelo gado de maneira rotativa, por um espaço de tempo adequado, sucessivamente.

O período em que os animais não estão ocupando um piquete é chamado de descanso, e deve ser utilizado para a adequação do pasto à sua posterior ocupação (BUENO *et al.*, 2003). Sabendo-se disso, um sistema que busca a automação dos portões dos piquetes deve possibilitar a sequência definida para a ocupação dos piquetes controlando a abertura e o fechamento das porteiras a partir da sua lógica de operação a fim de manter todo o rebanho reunido e guiá-lo para o próximo espaço corretamente.

As principais atividades do produtor numa área de pastejo são a calagem, ou gessagem, e a adubação, ou seja, a manutenção do nível de acidez do solo através da neutralização do alumínio tóxico e do fornecimento de nutrientes às forragens (MARTINS; CÓSER; DERESZ, 2004). Jochims, Silva e Portes (2018) complementam apontando outro fator de suma importância no manejo da pastagem, a altura do pasto, sendo esta característica um indicativo da quantidade de forragem presente no ambiente e demonstra de maneira prática o melhor momento para se colocar ou retirar os animais do local.

Tendo conhecimento das características que se deseja controlar no pasto, é necessário levantar algumas hipóteses sobre funcionamento dos mecanismos que atuarão no sistema para realizar a manutenção. Assumindo que o veículo fará a roçagem do pasto, controlando assim a altura das plantas, com uma hélice fixada abaixo do seu corpo, presume-se que ele percorrerá, obrigatoriamente, toda a área dentro do piquete.

Para a aplicação de adubo e calagem, o veículo idealizado deve ser dotado de mecanismos capazes de realizar a operação a lança, dessa forma, visto que a máquina percorrerá toda a extensão do piquete, garante-se que o produto atingirá efetivamente toda a área de pastagem. Ferreira *et al.* (2011) validam o uso desse tipo de adubação em capins na região de Minas Gerais quando realizadas adubações de manutenção, e Santos, Pimavesi e Bernardi (2010) complementam que o controle do pH no solo é garantido pela técnica de gessagem a lança, visto que, ainda que aplicado superficialmente, o gesso

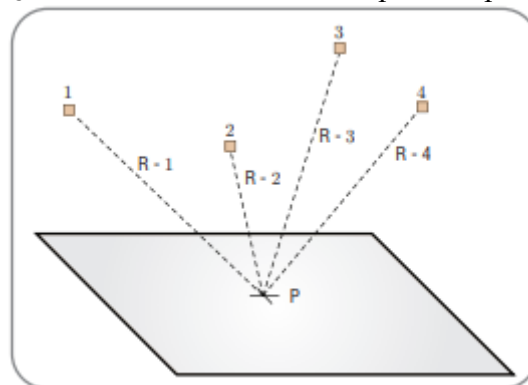
é capaz de controlar a acidez das camadas inferiores, diferentemente da calagem, favorecendo a produção das culturas.

Tendo conhecimento do comportamento da máquina no processo, é possível desenvolver o controle desse sistema. O nível de controle da automação é a parcela do sistema destinada ao comando das máquinas através de controladores numéricos, CLP's (Controladores Lógicos Programáveis) e controladores de processos, que atuam como os "cérebros" do sistema executando a programação com intuito de monitorar e controlar os processos (YAMAGUCHI, 2006). Portanto, a partir da definição do trajeto a ser percorrido o controlador do sistema autônomo deve fazer com que os atuadores guiem o veículo.

Tais controladores operam a partir de uma lógica de programação, definida como a ordenação das sequências de passos realizados pela máquina para se atingir um objetivo. Essa sequência, ou algoritmo, precisa ser escrita de uma forma interpretável pelo controlador, por isso utiliza-se uma linguagem de programação (CARVALHO, 2009).

A programação deve fazer com que, a partir dos dados inseridos, os atuadores sejam acionados para corrigir a situação. Em diversos projetos de veículos autôdirigíveis, são usados aparelhos de GPS como a fonte alimentadora de dados essenciais como a posição do veículo no mapa. Um dispositivo com essa tecnologia fundamenta-se na determinação da distância entre si e pelo menos três satélites diferentes, recebendo um sinal de cada um deles, enviados na velocidade da luz, e assim sendo capaz de calcular esse trajeto pelo tempo da viagem do sinal, tornando possível conhecer a posição relativa do aparelho através da interseção de três circunferências de raio igual ao valor dessas distâncias, como exemplifica a Figura 5 em um caso que utiliza quatro satélites (CARVALHO; CÉSAR, 2009).

**Figura 5:** Determinação das coordenadas de um ponto a partir de quatro satélites



Fonte: Carvalho; César, 2009.

Klaser (2014) descreve alguns dispositivos e técnicas empregados na navegação de veículos autônomos e ressalta a importância da localização do veículo para que ele se mantenha no curso e na trajetória determinada, pois, comparando as informações de latitude e longitude atuais com as mesmas variáveis do ponto a que se deseja chegar, é possível que o controlador tome as cabíveis decisões para que o veículo se dirija até essa posição.

Porém, ainda que seja conhecida a posição para onde o veículo deve se deslocar, é importante determinar o trajeto para se chegar até lá, e para tal a direção na qual o veículo está se locomovendo e a direção que ele deve tomar até o próximo ponto são de extrema importância. Nos dias atuais, é comumente utilizado um magnetômetro para essas aplicações, um dispositivo que, segundo Silva (2010), funciona a partir da identificação de campos magnéticos à sua face sensora, assim muitas vezes sendo aplicado como uma bússola para orientação.

### 3 METODOLOGIA

O protótipo do sistema foi feito pensando em um veículo que faria a manutenção em dois piquetes, o suficiente para verificar o seu funcionamento, já que a programação que determinará o comportamento do veículo será muito parecida para qualquer uma das áreas que requerem manutenção no seu período de descanso.

Inicialmente, foram escolhidos arbitrariamente seis pontos geográficos a partir do *Google Maps* que corresponderiam à delimitação desses dois piquetes, sendo utilizada para fins de teste a área localizada no campus do UNIPAM destinada ao campo de futebol. A delimitação do primeiro piquete pode ser vista na Figura 6, nos quatro pontos representados em azul. Utilizou-se da ferramenta de cálculo de distância do próprio *Google Maps* – ele tem aproximadamente 1142,44 m<sup>2</sup> de área, e um perímetro de 143,30 m.

**Figura 6:** Representação do piquete 1



Fonte: elaborada pelos autores, 2020.

Como diz Lal (1983), a largura teórica de trabalho para uma operação é geralmente prefixada e depende da operação, tipo e marca da máquina usada, variando, portanto, com o implemento utilizado. Imaginando para o corte, adubação e gessagem,

implementos que possuem disponibilizam uma largura de trabalho de dois metros, podendo ser qualquer outro valor para fins de teste, foram marcados, seguindo de forma paralela a uma linha traçada entre os limites dos piquetes, os pontos que, se ligados em sequência, definem o trajeto para a manutenção de forma autônoma do pasto, espaçados de aproximadamente dois metros entre si.

Para o cálculo da posição de cada um desses pontos foi feita a subtração entre as latitudes e longitudes dos pontos limites superiores do piquete 1, e divididos esses valores por 12, sabendo pela ferramenta de medição de distância que a distância entre esses pontos é aproximadamente 24 m. Assim, o primeiro ponto da sequência foi definido de forma arbitrária e os pontos subsequentes foram escolhidos somando os valores obtidos pelo cálculo, com a latitude e longitude do primeiro ponto e assim em diante até que fossem obtidos 12 destes em cada lado do piquete como exemplifica a Figura 6 com as marcações amarelas.

Nota-se ainda que foi definido um local de partida e de chegada, da máquina mantenedora, retratando uma garagem ou galpão onde o veículo seria abastecido de insumos e aguardaria até a solicitação de trabalho, destacada com a marcação de cor verde e iniciando a numeração que define a sequência do percurso que passa pelos pontos amarelos dando sequência aos pontos marcados de 2 a 7 descrevendo um “ziguezague”. Ao chegar ao ponto 26, o veículo tem de seguir até o ponto 27 e então retornar para o 1, pois é a entrada na garagem vindo dessa direção que informa ao sistema que o trajeto terminou.

De forma semelhante, foi definido o trajeto do veículo para o segundo piquete, como mostra a Figura 7. Nota-se que para esse percurso o veículo deve sair e entrar pelas mesmas aberturas da garagem da sequência anterior, e a movimentação entre os pontos marcados no mapa é exatamente a mesma, porém com sentido contrário.

**Figura 7:** Representação do piquete 2



Fonte: elaborada pelos autores, 2020.



Após definidos os pontos de interesse para o percurso, foi necessário o cálculo dos ângulos, em relação a um dos eixos terrestres, para que o controlador fizesse com que o veículo tomasse a direção correta quando chegasse a um ponto programado para tal. Para isso, utilizou-se de trigonometria com base no que diz Alves (2014), usando a inclinação que descreve a direção de uma reta, conhecida como coeficiente angular ( $a$ ) ou tangente, definida de acordo com a Equação 1, e posteriormente fazendo uso da função inversa da tangente, utilizada para encontrar o ângulo que representa tal coeficiente, nomeada como Arco Tangente, essa calculada através da ferramenta para tal cálculo disponível no *software* Microsoft Excel.

Equação (1):

$$a = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

Como exemplo, tem-se o cálculo, mostrado na Equação (2), para a reta entre os pontos 2 e 3 da Figura 7, evidenciados na Tabela 1, onde os valores de Latitude e Longitude representam  $y$  e  $x$  na equação, respectivamente.

**Tabela 1:** Pontos 2 e 3 do piquete 2

Ponto	Latitude	Longitude
2	-18.572798	-46.513766
3	-18.572967	-46.513395

Fonte: elaborado pelos autores, 2020.

Equação (2):

$$a = \frac{-46,513766 - (-46,513395)}{-18,572798 - (-18,572967)} = -0.455525606$$

Segundo o cálculo do *software*, o ângulo que é representado por esse valor de tangente é de  $-24,49048^\circ$ . Portanto, partindo do ponto 2 para o ponto 3 no segundo piquete, o veículo deve apresentar uma direção de  $335,50955^\circ$  (devido ao sentido ser o contrário do calculado) em relação ao eixo que corta a terra horizontalmente. Esse procedimento foi repetido para todos os pares de pontos em sequência.

Com os pontos dos trajetos de cada piquete definidos, foi escrita enfim em linguagem C++ a programação do controlador Arduino UNO, utilizando o *software* do próprio desenvolvedor do equipamento, o Arduino IDE. Foi escolhido esse dispositivo devido à facilidade de programação e comunicação com outros componentes que foram utilizados para esse projeto, e podem ser implementados em projetos futuros. Segundo o desenvolvedor, Arduino (2020), o *hardware* precisa ser alimentado por até 12 V, o que torna o seu emprego relativamente barato e de fácil instalação em qualquer veículo usando sua bateria, além de possuir 14 portas digitais, por onde os demais dispositivos devem se comunicar com o controlador.

Os demais componentes utilizados para a simulação foram:

- ✓ Dois servo motores, escolhidos, como indica Matos (2012), pela ótima opção para o controle de posição, controlados por PWM (*Pulse Width Modulation*), uma

técnica de controle que varia a tensão recebida pelo componente para o controle preciso, no caso do motor, da posição em que ele se estabelecerá. Esses são os responsáveis pela aceleração e direção do veículo;

- ✓ Um módulo GPS para Arduino, que simula a aplicação de um módulo capaz de informar ao Arduino, via comunicação serial, a latitude e longitude atual do veículo;
- ✓ Um sensor magnetômetro, que informa por uma das portas digitais do controlador o ângulo que o veículo se encontra em relação aos eixos terrestres;
- ✓ Uma chave seletora de três posições para selecionar qual dos dois trajetos é o escolhido para o veículo.

A partir do *software* de simulação elétrico Proteus 8, quase todos os componentes desse sistema puderam ser fielmente testados, com exceção do magnetômetro e do sensor indutivo, posteriormente adicionado ao projeto para que o controlador tivesse a informação de que o veículo chegou ao fim do trajeto escolhido. Ambos os componentes não estão inclusos na biblioteca desse *software*, porém ainda foram adicionados na programação, possibilitando seu teste sendo inserido manualmente o valor do ângulo que o veículo estaria descrevendo, no caso do magnetômetro, e substituído por um botão pressionado manualmente, no caso do sensor indutivo.

O tipo do sensor foi escolhido de forma que a máquina de manutenção parasse apenas quando chegasse ao final do seu percurso, por isso, tendo em vista o funcionamento do sensor indutivo segundo explicam Thomanzini e Albuquerque (2005), em que a comutação do seu sinal de saída acontece pela excitação causada pela proximidade de um material metálico; esse modelo foi adotado ao projeto, pois ainda que o veículo se aproxime de objetos durante o trabalho, o veículo só encerrará sua atividade quando entrar na garagem pela porta correta, onde um objeto metálico aguardará para ser detectado pelo sensor.

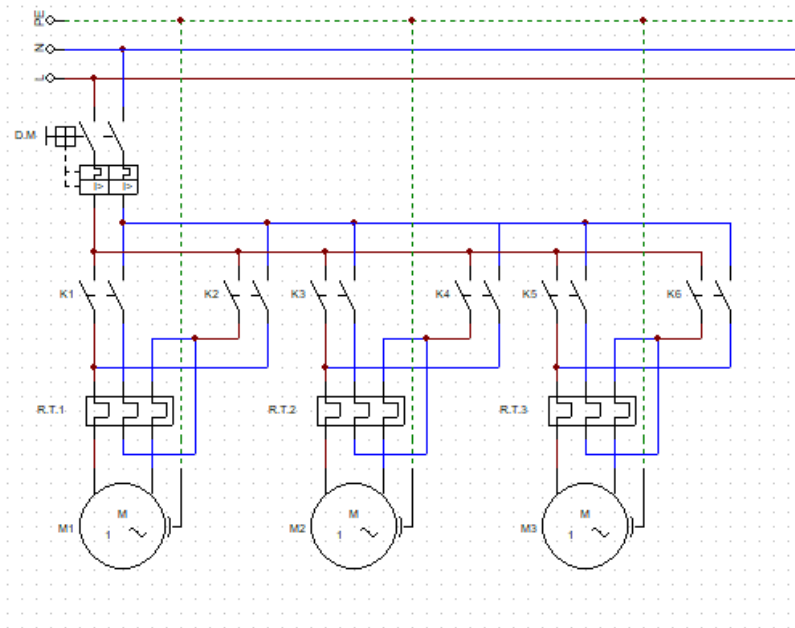
Para o sistema automático de porteiros, com foco na facilidade de projeto e na interação com o produtor em relação ao controle desse sistema, foi definido para o controle das porteiros automáticas a utilização de um painel de controle elétrico via botoeiras, baseado no diagrama elétrico para partida de motores com reversão da WEG (2013, p.18), de maneira que cada portão possa ser aberto ou fechado a partir do comando manual do operador de maneira intuitiva, sendo alertado visualmente sobre o estado de cada porteira para o controle preciso da maneira desejada. O projeto foi desenvolvido em um diagrama elétrico multifilar e testado via software a partir do Cade Simu 3.0, um programa que permite o desenho e a simulação de circuitos elétricos.

Além de necessária a presença de uma porteira exclusiva para cada piquete, por onde o veículo deverá entrar e sair para realizar a manutenção do pasto no período de descanso, faz-se preciso o uso de uma porteira que para intermediar as duas áreas, por onde o gado transita na troca do período de ocupação. A cada piquete adicionado devem surgir, portanto, mais duas porteiros para que o gado transite entre os piquetes, o que culmina no acréscimo de mais dois motores e seus respectivos dispositivos de proteção e controle no painel de comando.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O esquema de ligação elétrica do painel de controle para um sistema com apenas dois piquetes é mostrado nas Figuras 8, 9 e 10, sendo o circuito de força, comando e alerta respectivamente.

**Figura 8:** Esquema de ligação elétrica do circuito de força das porteiras

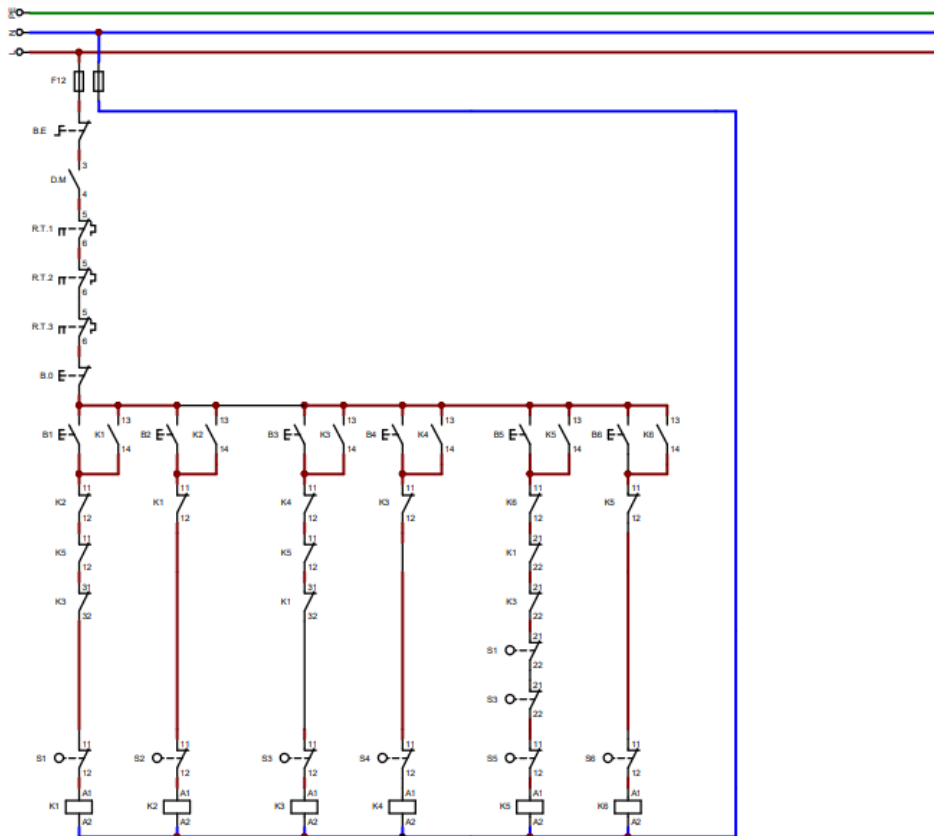


Fonte: elaborada pelos autores, 2020.

É utilizado um motor para cada porteira, sendo que é necessária uma porteira para entrada do veículo no primeiro piquete, assim como para o segundo, além de uma porteira para intermediar os dois, por onde o rebanho transita na mudança de ocupação.

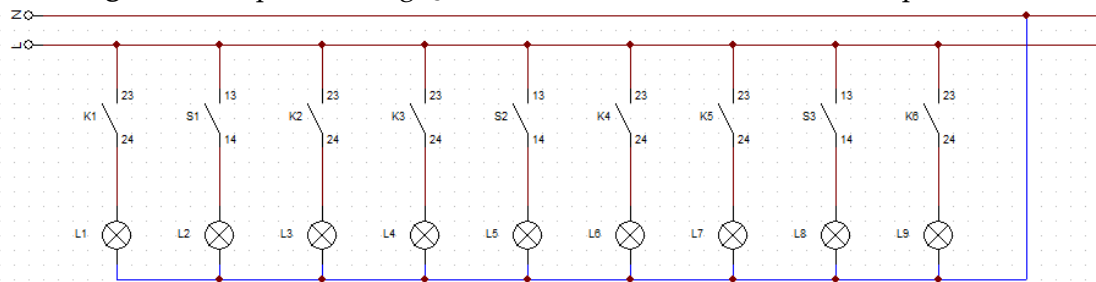
Assim como na partida direta com reversão, cada motor é pilotado por dois contatores (K), um para cada direção de rotação, e o sistema é protegido pela presença de um disjuntor termomagnético (D.M), que protege o circuito contra curto-circuito e sobrecarga térmica, e um relé térmico para cada motor (R.T), para proteção individual de sobrecarga.

Considerando a instalação desse sistema em Patos de Minas (MG), e sabendo que a distribuição de energia é comumente feita em 127 V e 60 Hz para circuitos monofásicos na região, os motores para o diagrama acima devem apresentar a tensão de operação de 127 V monofásico e a mesma frequência. De acordo com o catálogo da WEG (2019, p. 8), um motor com essas características e recomendado para uso em portões eletrônicos apresenta potência de ¼ CV.

**Figura 19:** Esquema de ligação elétrica do circuito de comando das porteiras

Fonte: elaborada pelos autores, 2020.

Os botões B1, B3 e B5 comandam a abertura das porteiras, enquanto os botões B2, B4 e B6 fecham, energizando e desenergizando, respectivamente, as bobinas dos contadores (K). É importante notar que existem sensores de fim de curso (S) que limitam o curso dos motores, assim fazendo com que o portão pare de abrir ou fechar quando chega ao fim do seu curso. Além disso, o projeto é feito de maneira que não permita a abertura de uma porteira enquanto outra está abrindo ou completamente aberta, isso evita que o gado caminhe para fora do piquete durante a transição em caso de erro de comando do operador no painel ao pressionar um botão por equívoco. Diferentemente do circuito de potência, o circuito de comando é protegido apenas contra curto-circuito por dois fusíveis (F12), mas também é ligado à rede de energia em 127 V.

**Figura 10:** Esquema de ligação elétrica do circuito de alerta das porteiras

Fonte: elaborada pelos autores, 2020.

A partir de sinalização luminosa, o operador do painel consegue saber se os três portões estão abrindo, com as lâmpadas L1, L4 ou L7 ligadas, totalmente abertas, com as lâmpadas L2, L5 ou L8 ligadas, ou fechando, com as lâmpadas L3, L6 ou L9 ligadas. Os contatos auxiliares normalmente abertos dos contatores que pilotam os motores habilitam a energização das lâmpadas. Esse circuito também trabalha em 127 V.

Para implementar a automação nesse sistema de modo que as porteiros sofressem essa mudança automaticamente, poderia ser utilizado um controlador, que deveria atuar monitorando a data atual e tomando as decisões de abertura e fechamento a partir disso. O modelo escolhido perde em nível de automação quando comparado ao emprego de um CLP para a comutação dos portões de forma automática, visto que o responsável pela manutenção do pasto deve interagir com o painel para que ocorra a mudança, mas é um sistema mais barato por não possuir um controlador que exige grande potência e que deveria estar constantemente ligado para a averiguação da data atual em comparação com a estipulada.

Para o sistema do veículo autônomo desenvolvido, a programação foi escrita de forma que os atuadores se posicionassem em ângulos que fizessem com que o veículo se dirigisse para o próximo ponto da sequência no trajeto de forma correta. Para isso, tomando como base servo-motores que variam sua posição de 0 a 180°, foram implementados dois desses motores, um responsável pela variação angular do pedal de aceleração, e o outro pela variação angular do volante de direção.

O motor da aceleração se posiciona em 65° normalmente, o ângulo foi definido de forma arbitrária, podendo ser qualquer um para fim de teste, e é esse para representar uma aceleração maior enquanto o veículo apenas deve seguir uma linha reta enquanto efetua a manutenção do pasto. Já quando o veículo se encontra em um dos pontos definidos pelo trajeto, esse servo toma um ângulo de 50° para representar uma aceleração quase nula, apenas para manter o veículo em movimento, assim sendo para que o veículo possa descrever uma curva.

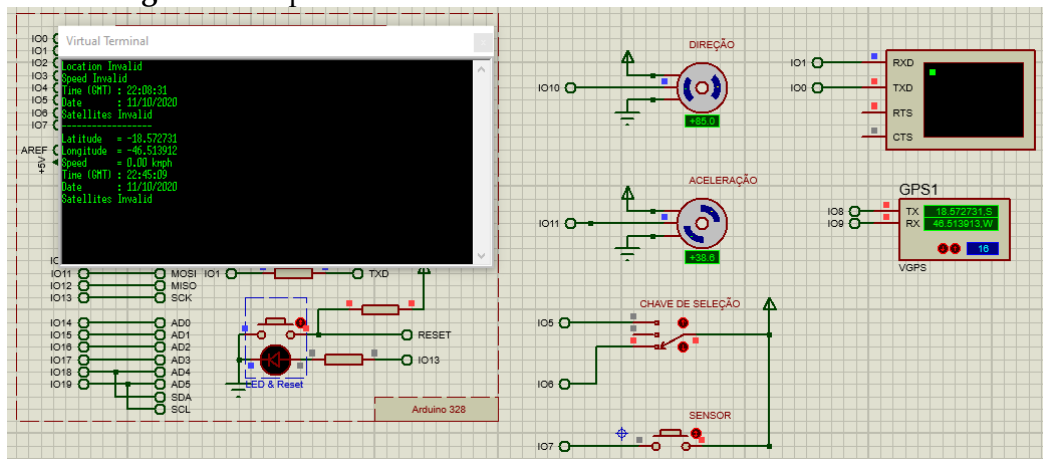
O outro servo motor naturalmente deve ser estabilizado pelo controlador no ângulo de 90°, assim o volante estaria posicionado para que o veículo não desviasse de uma linha reta. Com a chegada do veículo a um dos pontos marcados, esse motor varia sua posição para 0° ou 180°, dependendo de qual direção o veículo deve adotar para seguir até o próximo ponto. Quando atinge o ângulo correto seguindo em linha reta para o próximo ponto, monitorado pelo sensor magnetômetro, o servo motor retorna para a posição original.

O único problema encontrado nessa parte da simulação foi que os atuadores não se posicionavam no ângulo exato que era proposto pelo controlador, como, por exemplo, normalmente o motor utilizado para o controle de direção se posicionava no ângulo de 85° quando deveria estar em 90°. Essa interferência comprometeria totalmente o funcionamento do sistema em campo, já que uma variação angular desse atuador faria com que o veículo não prosseguisse até o próximo ponto em linha reta. Assim, uma tática que poderia ser utilizada para contornar esse problema seria a instalação do servo motor defasado de 5°.

O componente que informa ao controlador a posição do veículo para que os motores possam se posicionar de forma correta é o módulo GPS. A alimentação de

informações por parte do GPS é fornecida via comunicação serial, o que fez com que, na programação do Arduino, os pinos digitais 8 e 9 fossem transformados em pinos capazes de receber esse tipo de informação, e os pinos 0 e 1, que naturalmente podem ser utilizados para tal, foram utilizados para a visualização dessas informações através de um monitor ligado ao controlador, como mostra a Figura 11, um imagem da tela de simulação capturada durante um dos testes de funcionamento do sistema.

**Figura 11:** Captura durante o teste de funcionamento do sistema



Fonte: elaborada pelos autores, 2020.

Através do simulador, é possível que seja escrito manualmente o valor de latitude e longitude que o módulo transmite para o controlador, dessa forma foi possível comprovar a reação que os atuadores tomavam para cada valor de latitude e longitude, em que se provou com sucesso que o sistema com esses componentes é capaz de operar segundo a lógica implementada para a manutenção do pasto. A lógica se baseia em duas situações: (1) quando o Arduino recebe a informação de uma combinação de latitude e longitude que não está escrito na sua lógica, ele comanda os atuadores a se posicionarem de forma a guiar o veículo em linha reta; (2) quando é lido pelo controlador que o veículo está em uma posição predeterminada (um dos pontos marcados no mapa), o veículo diminui sua velocidade e começa a virar até se encontrar em linha reta em relação ao próximo ponto.

Dito isso, é importante que o módulo GPS do sistema esteja sempre calibrado, já que, se o veículo se encontrar em um ponto geográfico onde o controlador deveria realizar uma tomada de decisão e o módulo GPS não fornecer essa informação corretamente, ocorrerá um acidente durante a operação, visto que o veículo prosseguirá em linha reta.

Além disso, foi necessária a implementação de um componente no sistema, que faz com que veículo entenda que concluiu o trajeto, se não ele seguiria, em loop, refazendo seu trajeto até não ser mais fisicamente possível. Assim foi inserido o sensor indutivo, que, ao identificar um objeto metálico, presente obrigatoriamente apenas na entrada correta da garagem, como dito anteriormente, faz com que os atuadores se posicionem em 0°, assim retirando a aceleração da máquina.

A simulação desse sensor foi feita através de uma chave mecânica adicionada em uma das portas digitais do Arduino, não havendo diferença alguma na programação para essa troca de dispositivos, já que ambos funcionam de maneira semelhante, quando apertado o botão, ou acionado o sensor, a entrada digital do controlador receberá o indicativo de que deve tomar a decisão de parar. Para esse subsistema, é importante salientar a importância de que em todo o trajeto de manutenção o sensor não poderá identificar nenhum objeto metálico, se não, assim como se tivesse chegado ao destino, o veículo parará de se locomover.

Para a comunicação entre o veículo e o operador, foi simplesmente inserida uma chave seletora de 3 posições. Na primeira posição, o veículo adota a parte da programação responsável pela manutenção do primeiro piquete; na segunda, ele adotará o trajeto para o segundo piquete e, na posição central, ele não fará nenhum movimento. Portanto, para que o veículo não comece a se locomover assim que seja ligado, é importante fazê-lo com a chave na posição intermediária, para então selecionar qual será o piquete que receberá a manutenção naquele momento.

Ainda que a simulação valide o funcionamento do sistema com possíveis erros corrigíveis, como os apresentados até então, é importante ressaltar que, pela existência do raio de giro, que é um parâmetro que define o raio geométrico apresentado por um carro enquanto realiza uma curva, um item influenciado pelo ângulo das rodas de direção de um veículo e a distância entre suas rodas frontais e traseiras, é impossível que o veículo aqui idealizado consiga realizar as curvas necessárias para prosseguir no trajeto definido sem sair do percurso, utilizando a programação desenvolvida, em aplicações reais.

Outra melhoria que pode ser feita é a implementação de um sistema supervisor que mostre ao produtor as condições do veículo durante o processo em tempo real. Ainda que considerado, esse sistema não foi desenvolvido no presente trabalho devido à impossibilidade de teste do sistema. Porém, foi estudado e constatado que, segundo seu desenvolvedor, *Espressif* (2020), o módulo ESP8266 é capaz de se conectar a uma rede Wi-Fi e trocar informação de forma serial com outros dispositivos, assim sendo possibilitaria a emissão de informações para um site na internet, do controlador desse sistema, o Arduino UNO, quando trabalhando em conjunto.

## 5 CONCLUSÃO

Concluiu-se que o sistema idealizado e desenvolvido neste trabalho, apesar de funcionar segundo propõe a programação para o veículo autônomo, de acordo com os testes simulados, requer ainda melhorias para adequá-lo aos veículos reais. Ao apontar melhorias e dispositivos que podem auxiliar na inserção da tecnologia de automação no processo de criação de gado, alavancando uma das atividades produtivas mais importantes da região de Minas Gerais, o presente trabalho concluiu sua meta, sendo ponta pé inicial e servindo como fonte de pesquisa para projetos futuros que têm objetivos semelhantes.

## REFERÊNCIAS

- ALTUS. **Curso de introdução à automação [aula 01]**. Altus, 25 de janeiro de 2018. Disponível em: <https://www.altus.com.br/blog/categoria/10/detalhe/100/curso-de-introducao-a-automacao--5Baula-01-5D>.
- ALVES, A. F. **Fundamentos de Cálculos**. Salvador: UNIFACS, 2014. v. 1. 228 p.
- BUENO, G. M. J. *et al.* **Área do piquete e taxa de lotação no pastejo rotacionado**. EMBRAPA. Planaltina – DF, dezembro de 2003.
- CARVALHO, E. A. de; CÉSAR, P. A. **Leituras cartográficas e interpretações estatísticas II**. Natal, RN: EDUFRRN, 2009. 244 p. 12 v.
- CARVALHO, V. A. **Lógica de programação**. Colatina: CEAD / Ifes, 2009.
- CAVALHEIRO, L. R. **Fundamentos, tecnologias e aplicações de veículos autônomos**. Universidade Tecnológica Federal Do Paraná Campus Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2017.
- DIAS-FILHO, M. B. Os desafios da produção animal em pastagens na fronteira agrícola brasileira. **R. Bras. Zootec.**, v. 40, p. 243-252, 2011 (supl. especial). Disponível em: [http://diasfilho.com.br/Desafios\\_producao\\_animal\\_a\\_pasto\\_frenteira\\_agricola\\_Moacyr\\_%20B\\_%20Dias-Filho.pdf](http://diasfilho.com.br/Desafios_producao_animal_a_pasto_frenteira_agricola_Moacyr_%20B_%20Dias-Filho.pdf).
- EAEMÁQUINAS. **Trator autônomo da CASE IH antecipa o futuro do agronegócio**. Editora Taboca, ano XIV, n. 89, 2017.
- ESPRESSIF SYSTEMS. **ESP8266EX**: Datasheet. Disponível em: [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf).
- FERREIRA, A. B. *et al.* **Adubação de capins do gênero Brachiaria**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2011.
- JOCHIMS, F.; SILVA, P. A. P.; PORTES, V. M. Utilizando a altura do pasto como ferramenta de manejo de pastagens. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 31, n. 2, p. 42-44, maio/ago. 2018.
- KLASER, R. L. **Navegação de veículos autônomos em ambientes externos não estruturados baseada em visão computacional**. Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014. 81 p.



LAL, H. Modelo matemático simples do rendimento operacional e quantificação dos seus parâmetros para chassi porta-implementos atração animal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 18, n. 6, p. 649-656, junho 1983.

MARTINS, C. E.; CÓSER, A. C.; DERESZ, F. **Formação e utilização de pastagem manejada em sistemas intensivos de produção de leite**. EMBRAPA, Juiz de Fora (MG), nov. 2004.

MARTINS, M. T. **Comandos elétricos industriais: teoria**. Instituto Federal de Santa Catarina, março 2016.

MICHAELIS. **Autonomia**. Editora Melhoramentos Ltda./UOL: 2017. Disponível em: <http://michaelis.uol.com.br/busca?r=0&f=0&t=0&palavra=autonomia>.

MILKPOINT. **Produção por município: MG tem mais municípios entre os maiores, RS lidera nas cidades com maior produtividade**. MilkPoint, 28 out. 2015. Disponível em: <https://www.milkpoint.com.br/noticias-e-mercado/giro-noticias/producao-por-municipio-mg-tem-mais-municipios-entre-os-maiores-rs-lidera-nas-cidades-com-maior-produtividade-97540n.aspx>.

MILKPOINT. **Top 100 2018: produção dos líderes de leite cresceu 10%**. MilkPoint, 22/03/2018. Disponível em: <https://www.milkpoint.com.br/noticias-e-mercado/giro-noticias/producao-das-lideres-do-leite-cresceu-10-207378/>.

MORAES, C. C. de; CASTRUCCI, P. de L. **Engenharia de Automação Industrial**. [S. l.]: Editora LTC, 2007.

ROGGIA, L.; CARDOZO, R. F. **Automação industrial**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, Rede e-Tec Brasil, 2016.

SANTOS, P. M.; PRIMAVESI, O. M.; BERNARDI, A. C. C. Adubação de pastagens. *In*: PIRES, A.V. (Ed.). **Bovinocultura de corte**. Piracicaba: Fealq, 2010.

SILVA, E. C. **Desenvolvimento de transdutor baseado na fase da magnetoimpedância gigante para medição de campos biomagnéticos**. PUC, Rio de Janeiro, 2010.

THOMANZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. B. de. **Sensores Industriais Fundamentos e Aplicações**. 4. ed. São Paulo? Editora Erica, 2015.

WEG. **Automação: guia de seleção de partidas**. Grupo WEG - Unidade Automação Jaraguá do Sul, Santa Catarina, ago. 2013. Disponível em: <https://drb-m.org/WEG-guia-de-selecao-de-partidas.pdf>.

WEG. **Motores**: aplicações comerciais e residenciais. Grupo WEG - Unidade Motores Jaraguá do Sul, Santa Catarina, março 2019. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h05/h31/WEG-motores-aplicacoes-comerciais-e-residenciais-50041418-brochure-portuguese-web.pdf>.

Yamaguchi, M. Y. **Sincronização das bases de tempo de clps distribuídos numa rede de automação de processo industrial**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. v. 1.

# Análise teórica sobre a inserção de nanopartículas em óleo lubrificante para a diminuição do desgaste em superfícies sólidas<sup>1</sup>

*Theoretical analysis on the insertion of nanoparticles in lubricating oil to reduce wear on solid surfaces*

LORRANA MAGALHÃES MELO

Discente do curso de Engenharia Química (UNIPAM)

E-mail: [lorrynamm@unipam.edu.br](mailto:lorrynamm@unipam.edu.br)

SANDRA LÚCIA NOGUEIRA

Professora orientadora (UNIPAM)

E-mail: [sandraln@unipam.edu.br](mailto:sandraln@unipam.edu.br)

---

**Resumo:** A busca pelo novo é inevitável e tudo pode ser melhorado, assim a inserção de nanopartículas em óleos lubrificantes vem sendo estudada devido a sua eficiência na diminuição do desgaste. Num levantamento bibliográfico, as nanopartículas são inseridas em óleos lubrificantes e estudadas acerca de material, tipo, tamanho, concentração e redução de desgaste, que é o ponto mais importante. As nanopartículas que se mostraram mais eficientes foram as nanolâminas de grafeno potencializadas com NH<sub>3</sub>, mostrando 94% de redução de atrito, seguidas pelas nanopartículas de prata metálica, com 85% de redução de atrito. O estudo das nanopartículas pode ser melhorado buscando outros materiais, tipos, variando concentrações e tamanhos, podendo buscar também por nanopartículas que ajudem no meio ambiente e saúde humana.

**Palavras-chave:** Óleo lubrificante. Nanolubrificantes. Nanopartículas. Antidesgaste. Aditivo.

**Abstract:** The search for the new is inevitable and everything can be improved, so the insertion of nanoparticles in lubricating oils has been studied due to its efficiency in reducing wear. In a literature review, nanoparticles are inserted in lubricating oil and studied about material, type, size, concentration and wear reduction, which is the most important point. The most efficient nanoparticles were NH<sub>3</sub> potentiated graphene nanoblades, showing 94% friction reduction, followed by metallic silver nanoparticles, with 85% friction reduction. The study of nanoparticles can be improved by searching for other materials, types, varying concentrations and sizes, and can also look for nanoparticles that help the environment and human health.

**Keywords:** Lubricating oil. Nanolubricants. Nanoparticles. Anti-wear. Additive.

---

---

<sup>1</sup> Artigo apresentado como avaliação parcial para obtenção de título de bacharel em Engenharia Química pelo Centro Universitário de Patos de Minas – UNIPAM.

## 1 INTRODUÇÃO

O desgaste de máquinas por contaminantes, tempo ou funcionamento é, de modo geral, um dos maiores problemas. De acordo com Azevedo *et al.* (2005), a vida útil dos equipamentos pode ser ampliada com o uso de óleos lubrificantes, já que ele evita o contato direto das peças, objetivando a diminuição do atrito.

Normalmente, considerando o tipo de base utilizada na produção, os lubrificantes são divididos em três categorias: minerais, sintéticos e semissintéticos. Os óleos lubrificantes mais utilizados são os de origem mineral. Estes são compostos por uma mistura complexa de hidrocarbonetos, oriundos do refino do petróleo cru, e representam cerca de 2% dos derivados de petróleo, sendo um dos poucos produtos que não é totalmente consumido durante o seu uso, ou seja, origina-se depois do uso uma espécie de resíduo. A busca incessante por um óleo de melhor desempenho não para, dando assim origem a cada vez mais óleos sintéticos que suportam temperaturas cada vez elevadas (AZEVEDO *et al.*, 2005).

Os óleos lubrificantes minerais são compostos de hidrocarbonetos saturados e aromáticos e são aditivados de acordo com a necessidade do seu uso. No entanto, são obtidos a partir do petróleo, mediante processos de refino, que visam à remoção ou à redução de compostos aromáticos, sulfurados, nitrogenados, oxigenados e parafinas lineares, indesejáveis na maior parte das aplicações dos produtos lubrificantes formulados (LOPES; CARVALHO, 2007).

Já os lubrificantes sintéticos advêm de laboratórios e de testes críticos para temperatura e atrito. Houve a necessidade de criação desses óleos quando apenas os minerais já não exerciam as necessidades exigidas pelos automóveis (GUEDES, 2017).

Segundo Cavalcanti, Mora e Serra (2014), as principais funções dos lubrificantes são: controle do atrito, redução do desgaste, moderação da temperatura, transferência de força, amortecimento de impactos, remoção de agentes contaminantes e outras. Ou seja, falhas na lubrificação podem acarretar consequências como o aumento da temperatura de funcionamento da máquina em decorrência do atrito, nível de desgaste superior ao normal das peças que estão em constante movimento, deficiência na disseminação de forças, aumento da corrosão devido à ação das substâncias agressivas aos metais e incorretas na recepção dos impactos.

Um dos maiores problemas com esse tipo de lubrificação é sua degradação devido à alta temperatura e ao tempo, ou seja, ele tem que ser trocado em um determinado tempo de uso para proporcionar a ação correta para a máquina. Essa degradação também é conhecida como tribologia (SILVA, 2011).

As nanopartículas têm revelado ótimo desempenho como aditivos de óleos lubrificantes. Estudos mostram que a eficiência de nanopartículas depende de vários fatores como carregamento, tamanho e distribuição de anexos na superfície do contato, rugosidade da superfície, tempo de mistura e funcionalização no lubrificante (JUSTE, 2012).

Nesse sentido, a inserção da nanopartículas como um lubrificante sólido vem com o objetivo de atuar nas peças juntamente com o óleo para a diminuição do atrito entre as elas, atuando como filmes protetores, preenchimento de vales ou rachuras,

polimentos para peças com diferentes superfícies e melhores táticas de fluidez para o lubrificante (BORDIGNON, 2018).

O principal objetivo da manutenção preventiva é evitar as consequências das falhas. Isso pode ser feito impedindo a falha antes que ela ocorra realmente. A manutenção preventiva é planejada para preservar a confiabilidade do equipamento, substituindo os componentes desgastados antes que eles realmente desgastem, ou seja, antecipa-se a manutenção para garantir o bom desempenho das peças com o tempo (CAVALCANTE; ALMEIDA, 2005).

Este artigo é aplicado à área da tribologia, ciência que estuda os contatos, o atrito, a lubrificação e o desgaste. Com base nos diversos campos da tribologia, este estudo propõe a análise de inserção de diversos tipos de nanopartículas no óleo lubrificante usado comercialmente. O objetivo principal é uma avaliação da diminuição do desgaste diante de vários tipos de nanopartículas, variando material, forma, tamanho e concentração. Além disso, este artigo visa à discussão sobre a importância da vida útil e do bom uso dos motores utilizados, conscientizando os usuários sobre uso coerente de óleos lubrificantes e manutenções periódicas e preventivas.

## 2 REVISÃO TEÓRICA

Serão aqui apresentados tópicos fundamentais para a compreensão sobre obtenção de óleos lubrificantes, seus objetivos e aspectos gerais, seus aditivos, sobre como as nanopartículas podem ser usadas no meio lubrificante e ação direta delas na diminuição de atrito.

### 2.1 REFINO DO PETRÓLEO

Segundo a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Combustível (ANP, 2020), o petróleo é um material de origem fóssil que possui características marcantes: oleoso, inflamável, com alto valor energético e menos denso que a água. Ele contém um cheiro característico e coloração variável. Sua formação é caracterizada principalmente pelo acúmulo de material orgânico (com condições específicas de pressão e isolamento em camadas), que sofre diversas transformações por milhares de anos.

Ainda de acordo com a ANP (2020), a composição química do petróleo é dada por uma combinação de hidrocarbonetos (compostos apenas com carbono e hidrogênio), podendo conter pequenas quantidades de outros elementos como nitrogênio, oxigênio, compostos de enxofre e metais. Um exemplo comum sobre a proporção entre os componentes do petróleo seria 82% de carbono, 12% de hidrogênio, 4% de nitrogênio, 1% de oxigênio, 0,5% de sais e 0,5% de metais como ferro ou cobre que são considerados resíduos.

Para a Petrobras (2020), o refino do petróleo é a operação realizada que transforma o petróleo bruto em produtos consumidos e comuns no dia a dia. Esse processo de refino demanda um ciclo composto por três fases principais:

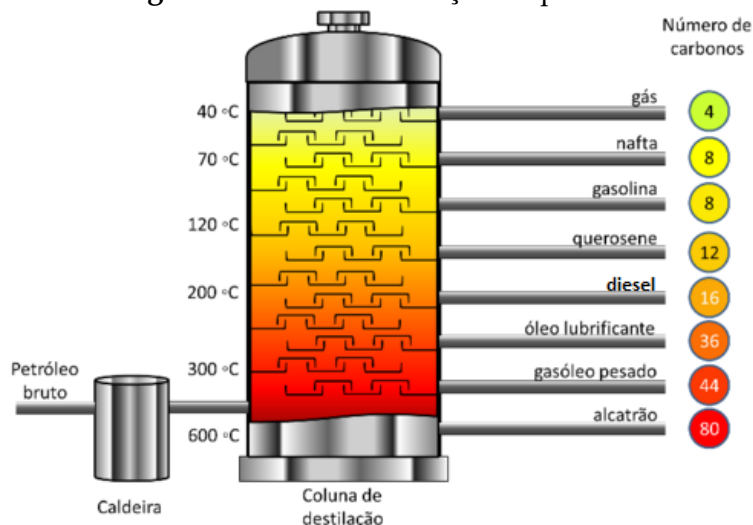
1. *Destilação* – o petróleo é aquecido em altas temperaturas até evaporar. Esse vapor volta ao estado líquido conforme esfria em diferentes níveis dentro da torre de destilação. Em cada nível, há um recipiente que coleta certo subproduto

do petróleo.

2. *Conversão* – é o processo que transforma as partes mais densas e de menor valor do petróleo em moléculas menores, dando origem a derivados mais nobres. Isso aumenta o aproveitamento do petróleo.
3. *Tratamentos* – são os processos voltados para adequar os derivados à qualidade exigida pelo mercado. Um exemplo a ser citado é a remoção do enxofre.

Os principais derivados do petróleo são gás natural, nafta, gasolina, querosene, diesel, óleo lubrificante, gasóleo ou óleo combustível e asfalto, como mostra a Imagem 1. A torre pode trabalhar com até 600°C, sendo os produtos mais leves os que saem com menor temperatura e os mais densos com temperatura elevada (CBIE, 2019).

**Figura 1:** Torre de destilação do petróleo



Fonte: Centro Brasileiro de Infraestrutura (CBIE), 2019.

Segundo a CBIE (2020), os maiores produtores mundiais de petróleo são Estados Unidos, Arábia Saudita, Rússia, Canadá, China, Iraque, Emirados Árabes, Brasil, Irã e Kuwait. No Brasil, a maior parte das reservas está nos campos marítimos, responsáveis por cerca de 3,67 milhões de barris de petróleo diariamente, sendo o oitavo maior produtor mundial. O barril de petróleo brasileiro tem capacidade considerável de 159 litros e vale cerca de R\$ 240,00.

## 2.2 ÓLEO LUBRIFICANTE

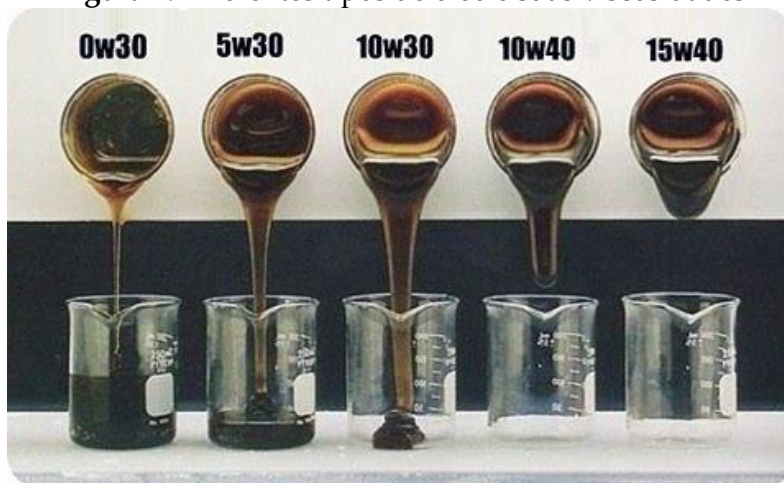
Segundo a ANP (2019), quando há uma superfície deslizando sobre outra, existe uma resistência ao movimento, que é conhecida por atrito, e qualquer substância que diminua o atrito é conhecida como lubrificante, que podem ser líquidos, sólidos ou gasosos. O mais utilizado é o óleo lubrificante, que é descrito como uma substância líquida que entremeia as superfícies, formando uma leve película que evita ou minimiza o atrito e consequentemente auxilia na redução de ruídos, excesso de calor, desgaste de peças e acúmulo de impurezas, aumentando, assim, a vida útil dos componentes móveis dos motores.

Dentre os óleos lubrificantes, temos três classificações: os óleos lubrificantes minerais, que são compostos principalmente de carbono e hidrogênio; eles são um dos produtos diretos da destilação fracionada do petróleo bruto. Têm-se também os óleos lubrificantes sintéticos, que são obtidos em laboratórios e desenvolvidos com base polimérica. Têm-se ainda os óleos semissintéticos, provenientes do óleo mineral juntamente com materiais sintéticos. Em todos, pode-se ter presença de aditivos para melhora de performance nos motores automotivos (SILVA, 2011).

A principal propriedade física dos óleos lubrificantes é a viscosidade. Ela fornece informações sobre a sua fluidez em baixas temperaturas e a proteção ao motor em altas temperaturas, ou seja, um lubrificante de baixa viscosidade será mais fluido e proporcionará mais facilidades ao motor. A viscosidade sofre alterações conforme o tempo e a utilização do óleo; com o aumento significativo da temperatura interna do motor, o óleo tende a ficar menos viscoso (mais espesso) e acaba perdendo suas ações tribológicas (LOPES; CARVALHO, 2007).

Segundo Carvalho (2018), além dessas ações, a viscosidade também está ligada à nomenclatura dos óleos lubrificantes. A Sociedade dos Engenheiros Automotivos (SAE) regulamenta que cada numeração utilizada represente a viscosidade e a letra indique o seu comportamento em função da temperatura se o óleo for multiviscoso e tenha ação em várias temperaturas. Um exemplo que se pode usar é o óleo 10W-30: o número 10 é o índice de fluidez (quanto menor, mais fluido é o óleo, como se observa na Figura 2); a letra W indica que ele pode ser um óleo de inverno e pode ter fluidez em baixas temperaturas; já o número 30, que não acompanha nenhuma letra, indica o fator de proteção do óleo em altas temperaturas.

**Figura 2:** Diferentes tipos de óleo e suas viscosidades



Fonte: BETAEQ<sup>2</sup>, 2020.

Para completar a nomenclatura do óleo, Instituto Americano de Petróleo (API), que são compostos por duas letras: a primeira é o tipo de combustível do automóvel (letra S caso seja combustão interna com velas e letra C caso seja combustão espontânea);

<sup>2</sup> Disponível em: <https://betaeq.com.br/index.php/2020/06/03/viscosidade-de-oleos-lubrificantes/>.

a segunda letra variável, desempenho do lubrificante e tecnologia do automóvel, sendo de SJ e SL os mais utilizados (CYRINO, 2018).

Fazendo-se uma leitura de duas FISPQ's diferentes de óleo lubrificante comercial, encontra-se que um é óleo lubrificante multiviscoso SAE 10W30 semissintético, desenvolvido com hidrocarbonetos básicos selecionados e aditivos de alta tecnologia, recomendado para motores 4 tempos que equipam motores movidas a gasolina; já outro é óleo lubrificante multiviscoso SAE 20W50, mineral, desenvolvido com hidrocarbonetos básicos selecionados e aditivos de alta tecnologia, recomendado para motores 4 tempos que equipam motores movidas a gasolina. As características do óleo são descritas na Tabela 1.

**Tabela 1:** Características físico-químicas do Óleo Lubrificante 10W30 e 20W50 comercial

Características de óleos lubrificantes comerciais		
Características	10W30	20W50
Aspecto	Viscoso	Viscoso
Cor	Característico	Característico
Odor	Petróleo	Petróleo
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	0,8612	0,8812
Viscosidade cinemática 40°C (cSt)	67,97	160
Viscosidade cinemática 100°C (cSt)	10,27	19,1
Índice de viscosidade	137	135
Ponto de Fluidez	-33	-15
Ponto de fulgor	230	240

Fonte: adaptado de FISPQ de óleo lubrificante comercial (2016), 2020.

Com a leitura da tabela, pode-se observar que os óleos, mesmo sendo diferentes, tem a mesma base, petróleo; são de aspecto, cor e odor característicos, têm a densidade, índice de viscosidade e ponto de fulgor próximos. Já o ponto de fluidez é um pouco diferente; o óleo 10W30 tem uma melhor fluidez em baixas temperaturas; já quanto à viscosidade, nota-se que o óleo 20W50 é menos viscoso, principalmente no ponto de 40°C, ou seja, ele vai ecoar com mais dificuldade que o outro óleo apontado.

### 2.3 ADITIVAÇÃO DE ÓLEOS LUBRIFICANTES

Almeida (2012) diz que aditivos são produtos de origem química adicionados aos óleos lubrificantes para suprir as necessidades, elevar o desempenho do óleo bruto e retirar características indesejáveis. Já Nassar e Ahmed (2006) definem aditivos de lubrificantes como materiais que conferem uma nova característica desejável ao produto, mas que não pertencem à formulação original ou reforçam uma propriedade existente.

Os aditivos podem alterar propriedades físicas e químicas dos óleos básicos, como índice de viscosidade, ponto de fluidez, estabilidade a oxidação, corrosão, entre outros, podendo assim ampliar o uso em inovações de motores, em busca também de um melhor desempenho, rendimento, durabilidade, vida útil tanto do lubrificante



quanto do motor e redução de emissões prejudiciais ao meio ambiente e saúde humana (SANTOS JUNIOR, 2011).

De acordo com Marçal (2018), os aditivos mais utilizados são:

- ✓ Detergentes ou dispersantes – evitam formação de resíduos de carbono e agem na limpeza do motor;
- ✓ Antioxidantes – evitam a oxidação de peças metálicas;
- ✓ Agentes anticorrosivos – evitam corrosão de superfícies e peças do sistema;
- ✓ Agentes de extrema pressão – evitam desgaste e arranhaduras se o sistema trabalha em alta pressão;
- ✓ Abaixadores do ponto de fluidez – diminuem a temperatura de fluidez, sendo ideal em locais mais frios;
- ✓ Melhoradores do índice de viscosidade (MIVs) – têm ação de melhorar o índice viscoso quando o óleo é exposto a altas temperaturas e acaba perdendo viscosidade; esses aditivos rompem e incham as células de hidrocarbonetos presentes, por isso eles se fazem um dos mais importantes;
- ✓ Antiferrugens – impedem a formação de ferrugem nas peças do automóvel;
- ✓ Antiespumantes – evitam a entrada de ar no sistema impedindo a formação de bolhas;
- ✓ Emulsificantes – facilitam uma emulsão estável entre óleo e água. Normalmente, são utilizados em sistemas que usam água para refrigerar o sistema;
- ✓ Biocidas – impedem proliferação de micro-organismos no sistema; são aditivos conservantes.

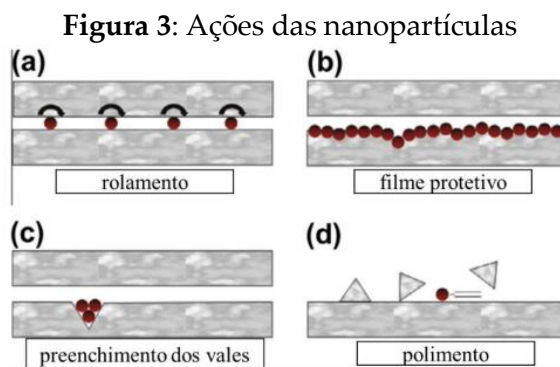
A natureza do óleo básico irá determinar o tipo e a quantidade de aditivos a serem inseridos no produto final, que, nesse caso, fica entre 7 e 30% de aditivos no total, conferindo maior viscosidade, melhor ponto de fluidez, maiores resistências e melhor limpeza do motor (CYRINO, 2016).

## 2.4 NANOLUBRIFICANTES

Como visto anteriormente, óleos lubrificantes com aditivos têm um grande potencial, ajudam no aumento da vida útil e auxiliam num melhor desempenho, porém a presença de elementos químicos nocivos nesses aditivos tem instigado pesquisadores a estudarem novos materiais, a fim de substituir os aditivos prejudiciais à saúde humana, ao meio ambiente e à vida animal; dentre as saídas, os nanomateriais vêm se destacando cada vez mais (BORDIGNON, 2018).

A nanotecnologia tem parâmetros moldáveis em novos materiais, muito explorados pela indústria. Hoje em dia está presente em todos os ramos de atividade. As nanopartículas são estudadas, manipuladas, moldadas e, nesse caso, dispersadas através de um dispersante estável (na maioria dos casos etilenoglicol ou apenas agitação), assim possibilita diversas aplicações (ZARBIN, 2007).

Segundo Juste (2012), os nanomateriais destacam-se por possuírem dimensões nanométricas (um nanômetro equivale a  $1 \times 10^{-9}$  metro), que permitem atuação direta na área de contato, cada um com sua forma particular, desempenhando reduções tribológicas significativas em atrito e desgaste como se pode avaliar na imagem a seguir.



Fonte: LEE *et al.*, 2009, p. 2.

Essa figura apresenta em cada item as ações tomadas pelas nanopartículas como lubrificantes. O item A nomeia-se rolamento, ou seja, a melhor espalhabilidade do lubrificante, fazendo uma superfície deslizar sobre outra. O item B apresenta o filme protetivo, ou seja, são várias nanopartículas em sequência, atuando como um filme. O item C tem por função preencher pequenas partes afundadas ou até mesmo partes que já tenham sofrido corrosão. Por último, tem-se o polimento que evita partículas depositadas na superfície (LEE *et al.*, 2009).

As nanopartículas em óleos lubrificantes começaram a ser utilizadas em pequenas escalas, porém diversos estudos e discussões são abertos acerca de nanopartículas em formas de óxido como óxido de zinco (ZnO), óxido de cobre (CuO), óxido de zircônio (ZrO<sub>2</sub>) e óxido de titânio (TiO); também são estudadas outras formas como dissulfeto de molibdênio, nitretos, amplas formas de nanopartículas de carbono e nanopartículas metálicas, como a nanopartícula de prata (TRAJANO, 2013).

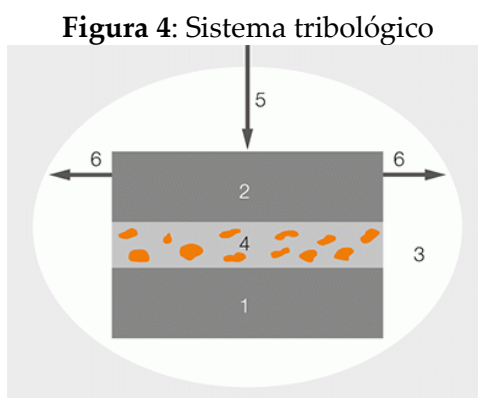
## 2.5 TRIBOLOGIA: ATRITO E DESGASTE

Tribologia vem do grego “tribos” que significa roçar, esfregar e “logos” que significa estudo. A tribologia nada mais é do que a ciência que estuda o movimento relativo das superfícies, ou seja, estuda o atrito, o desgaste e a lubrificação. Essa palavra surgiu em 1966, porém a ação da tribologia vem da antiguidade, desde a criação do fogo, por exemplo, que se originou a partir do atrito da madeira com pedras; outro exemplo é a lubrificação por banha animal que ocorria no Egito (FARIAS, 2017).

Segundo Cardoso (2013), a palavra tribologia ainda é pouco comum, porém está presente no nosso dia a dia em vários aspectos, desde uma artrite, que é a perda de lubrificação nas juntas, até um veículo em movimento que tem a tribologia em partes internas como no motor e externos como freios ou pneus e estrada. O atrito e o desgaste não podem ser eliminados, mas seu efeito pode ser reduzido para níveis toleráveis através da lubrificação.

Ainda segundo Farias (2017), a tribologia pode ser mais bem verificada e estudada através de um sistema tribológico que consiste em elementos que podem afetá-lo. O sistema tribológico é composto por dois corpos que interagem entre si em direções contrárias (corpo e contra corpo) ou por forças atuantes, o elemento interfacial

(lubrificantes) e o ambiente (temperatura, pressão, umidade), como se pode notar na imagem a seguir.



Fonte: Oliveira, 2010.

Em que:

1. Objeto de base;
2. Contra corpo ou corpo oponente;
3. Ambiente (temperatura, umidade, pressão);
4. Material intermediário (graxa, óleo lubrificante, partículas);
5. Carga;
6. Movimento.

Os principais interessados no atrito e desgaste são engenheiros mecânicos e de materiais, químicos e físicos, a fim de sempre fazerem materiais mais robustos e sempre melhores. É inevitável que uma peça tenha desgaste ou lesões por atrito, o que hoje é o maior problema que se tem na mecânica, porém usar a manutenção preventiva e fazer sempre revisões e trocas de lubrificantes pode diminuir drasticamente esse papel. Lubrificantes mais estudados e bem desenvolvidos principalmente com nanopartículas contribuem nessa diminuição (LOPES, 2007).

### 3 METODOLOGIA

Entende-se que o estudo bibliográfico é um conjunto de conhecimentos reunidos. Esse método é dividido em várias partes como leitura, fichamento, organização e resumo de textos. Além disso, a pesquisa bibliográfica é a base para as demais pesquisas, como a pesquisa de campo ou até pesquisa laboratorial, já que se trata de um preparatório (FACHIN, 2001).

Segundo Conforto *et al.* (2011), em uma revisão bibliográfica é importante: conhecer a leitura; compreender a leitura; aplicar a revisão; analisar resultados; sintetizar resultados e avaliar os resultados. Também é importante problematizar o assunto, definir os tópicos e palavras-chave e ter boas fontes de dados. A pesquisa bibliográfica possui caráter exploratório e deve ser desenvolvida com base em material já elaborado, como livros, artigos e teses.

Este artigo é uma revisão bibliográfica com o intuito de comparar referências que utilizam diversas nanopartículas dispersas em óleos lubrificantes com aplicação em

base sólida e seus comportamentos diante da força de atrito, desgaste e temperatura. O método utilizado é o sistemático com base em análise teórico-descritiva e levantamento de dados que foram coletados a partir de pesquisas feitas com o auxílio do Google Scholar e livros, com publicações no período de tempo entre os anos 2004 e 2019 em português e inglês, sendo óleos lubrificantes, nanopartículas, aditivação de lubrificantes e tribologia as palavras-chave para a pesquisa. O levantamento bibliográfico foi realizado entre os meses julho e setembro de 2020.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicialmente, foram separados 15 artigos, teses e monografias, mas a pesquisa seguiu com 7 desses trabalhos para a análise mais profunda. Nas tabelas a seguir, são apresentados os diferentes tipos de nanopartículas, tamanhos, concentrações, analisando assim a redução de atrito oriunda da inserção destas, ajudando no aumento da vida útil do lubrificante e da superfície sólida envolvida no processo real.

Os óleos utilizados para a inserção foram do tipo 10W30 e 20W50. As nanopartículas utilizadas foram nanopartículas de Grafeno puro (GP) e potencializada com  $\text{NH}_3$  ( $\text{GNH}_3$ ), Dissulfeto de molibdênio ( $\text{MoS}_2$ ), NanoAmor comercializado, nanopartículas de Nitreto de boro (BN), Óxido de Cobre (CuO), Óxido de Zinco (ZnO), Prata (Ag) e Prata potencializada com Paládio (AgPd). A Tabela 2 resume as nanopartículas no óleo 10W30.

**Tabela 2:** Comparação entre quatro nanopartículas dispersas do óleo lubrificante 10W30

AVALIAÇÃO DE QUATRO NANOPARTÍCULAS EM ÓLEO LUBRIFICANTE 10W30				
	NANOPARTÍCULA	TAMANHO	CONCENTRAÇÃO	REDUÇÃO DESGASTE
<b>BORDIGNON (2018)</b>	Nanolâminas de Grafeno Puro	Dimensão de 400 nm e espessura de 5 nm	0,05%	45%
<b>BORDIGNON (2018)</b>	Nanolâminas de Grafeno potencializada com $\text{NH}_3$	Dimensão de 400 nm e espessura de 5 nm	0,05%	94%
<b>JUSTE (2012)</b>	Nanoflores de $\text{MoS}_2$	Nanoflores de 100 nm a 300 nm	0,5%	25%
<b>FREITAS (2018)</b>	Nanoarmor comercial	Aditivo industrializado pronto	0,1%	64%

Fonte: dados da pesquisa, 2020.

Na Tabela 3, são apresentadas as nanopartículas de Nitreto de boro (BN), Óxido de Cobre (CuO), Óxido de Zinco (ZnO), Prata (Ag) e Prata potencializada com Paládio (AgPd); essas dispersas em óleo 20W50.

**Tabela 3:** Comparação entre cinco nanopartículas dispersas do óleo lubrificante 20W50

AVALIAÇÃO DE CINCO NANOPARTÍCULAS EM ÓLEO LUBRIFICANTE 20W50				
	NANOPARTÍCULA	TAMANHO	CONCENTRAÇÃO	REDUÇÃO DESGASTE
HIRAYAMA (2017)	Nitreto de Boro	100 – 500 nm	0,1%	17%
MELLO (2017)	Óxido de Cobre	2,5 nm	0,1%	21%
TRAJANO (2013)	Óxido de Zinco	5 - 12 nm	0,5%	17%
KUMARA (2017)	Prata Metálica	3 – 6 nm	1,0%	85%
KUMARA (2019)	Prata potencializada com Paládio	2 – 6 nm	1,0%	80%

Fonte: dados da pesquisa, 2020.

As nanopartículas vêm sendo cada vez mais estudadas e utilizadas na área da tribologia. Isso porque se buscam nanopartículas que auxiliem na redução de desgaste e que não causem danos à superfície sólida de contato e meio ambiente. Para a escolha da nanopartícula é sempre importante observar sua fonte, material e forma; pode-se observar que o levantamento feito neste artigo é de várias formas e materiais diferentes entre si. Têm-se nanolâminas, nanoflores e nanopartículas normais ainda variando seus materiais em metálicos, óxidos, nitreto, sulfeto e até mesmo amoníacos.

O tamanho das nanopartículas também é de fundamental importância no levantamento realizado, pois se pode observar que as nanopartículas consideradas de forma em geral variam de 2 nm até 500 nm, ou seja, uma larga escala de tamanhos. Os estudos de Kumara (2019) e Mello (2017) trazem que nanopartículas menores são melhores em questão de superfície de contato e dispersão das mesmas, uma vez que elas entremeiam e formam filmes protetores nas camadas sólidas. Já em Bordignon (2018), pode-se encontrar que nanopartículas de tamanho micrométrico também são de válida eficiência em lubrificação e diminuição do desgaste, uma vez que menores nanopartículas têm maiores superfícies de contato.

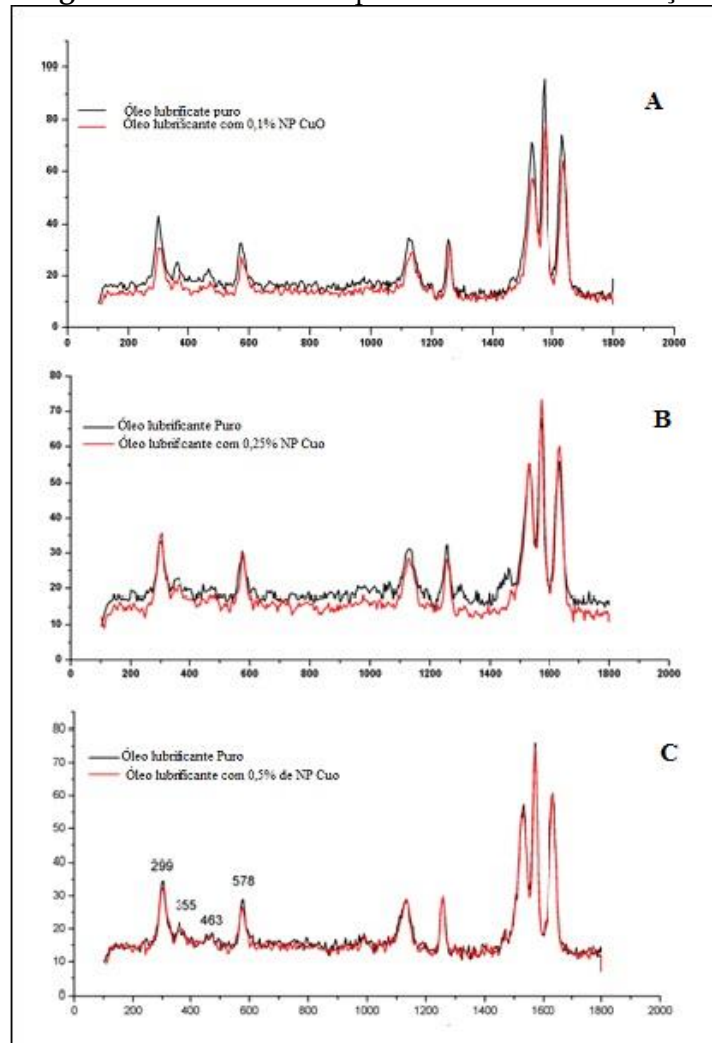
A dispersão da nanopartícula é outro passo muito importante, pois se avalia a estabilidade do meio, ou seja, nanopartículas não podem ficar em suspensão ou decantar no óleo, pois podem interferir na eficiência quando o motor estiver parado, por exemplo, vindo até a obstruir minicanais dentro dos motores. O dispersante mais usado nos estudos é o etilenoglicol, que tem presença de dois grupos alcoólicos e uma parte de cadeia carbônica, podendo adaptar-se muito bem ao óleo lubrificante e carrear as nanopartículas por ele, sendo usado o mínimo possível de dispersante, sem mudar a eficiência do óleo.

A concentração de nanopartículas que serão dispersas é um grande ponto de estudos, pois concentrações pequenas podem ser ineficientes e grandes concentrações podem ser desnecessárias ou até mesmo fazer efeito contrário do que esperado. As concentrações apresentadas nas Tabelas 2 e 3 foram as mais adequadas, como se pode observar na Figura 5 apresentada sobre o estudo de Mello (2017), que relaciona o item A

à concentração de 0,1% de nanopartícula, B equivalente a 0,25% de nanopartícula e C equivalente a 0,5% de nanopartícula.

A Figura 5 apresentada a seguir relaciona um estudo proposto por Mello (2017), mostrando o efeito da concentração de nanopartícula no atrito, em que o eixo x é representado pelo tempo em segundos e o eixo y é representado pela intensidade do atrito causado pelo óleo com e sem a nanopartícula.

**Figura 5:** Atrito causado pelo efeito da concentração



Fonte: adaptado de Mello, 2017.

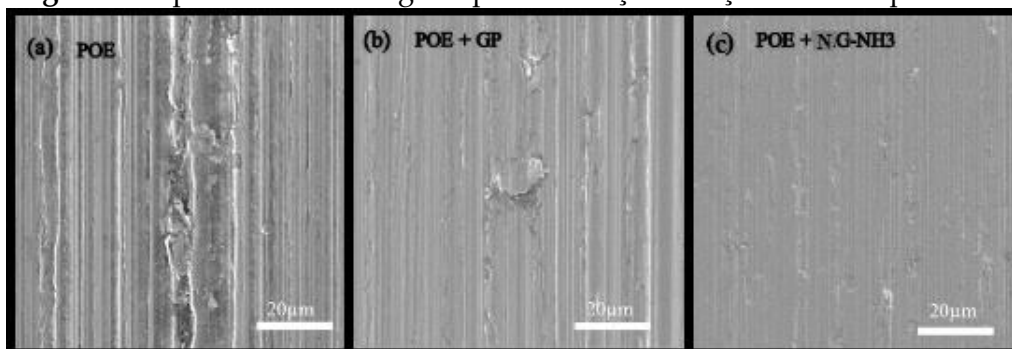
No item A da Figura 5, observa-se que a aplicação de nanopartículas é eficaz, pois a linha vermelha que apresenta a inserção de nanopartículas é mais baixa que a linha preta, dizendo assim que o atrito é menor. Observa-se também que é a menor faixa de concentração em estudo. Já no item B, existem picos em que o óleo com inserção de nanopartículas se iguala ao livre de nanopartículas e no item C existem faixas que até ultrapassam o valor de atrito do óleo sem nanopartículas, fazendo da inserção um processo sem êxito.

O item mais importante de trabalho nesse estudo é a redução do desgaste. O desgaste nada mais é do que uma consequência de todo atrito e forças aplicadas contra as superfícies sólidas, causando ranhuras, corrosão, perda de camadas da superfície, podendo levar até à quebra e ruptura da superfície. Nesse âmbito, pode-se observar que, em ambos os óleos e em todas as inserções de nanopartículas, houve redução de atrito sendo aquelas com nanolâminas de grafeno potencializadas com  $\text{NH}_3$  de Bordignon (2018) e com nanopartículas de prata de Kumara (2017), as mais eficientes, em que a redução foi de 94 e 85% respectivamente. Um dos motivos pelo qual o grafeno é um material com alto potencial de redução no desgaste se deve ao fato de que é promissor como lubrificante devido à sua estrutura fina lamelar e à sua espessura nanométrica, o que facilita o escorregamento dos planos (baixa força de cisalhamento) e minimiza as interações entre as superfícies metálicas em contato. Além disso, o grafeno é um material bidimensional com baixa energia de superfície, o que faz com que seja capaz de substituir filmes sólidos que são frequentemente utilizados para reduzir a adesão e o atrito de várias superfícies (BORDIGNON, 2018).

As nanopartículas menos eficientes foram as de Hirayama (2017) com aplicação de nanopartículas de nitreto de boro e as de Trajano (2013) com nanopartículas de óxido de zinco, ambas com 17% de redução de desgaste. Vale destacar que 17% é um ótimo percentual de redução do desgaste, uma vez que vai prolongar a vida útil do motor ou superfícies sólidas, aumentando a resistência da superfície.

Na Figura 6, são apresentadas as imagens do experimento de desgaste de Bordignon (2018), em que A representa o óleo puro, B representa o óleo aditivado com nanolâminas de grafeno e C representa o óleo aditivado com nanolâminas de grafeno potencializadas com  $\text{NH}_3$ .

**Figura 6:** Experimento de desgaste para avaliação da ação das nanopartículas

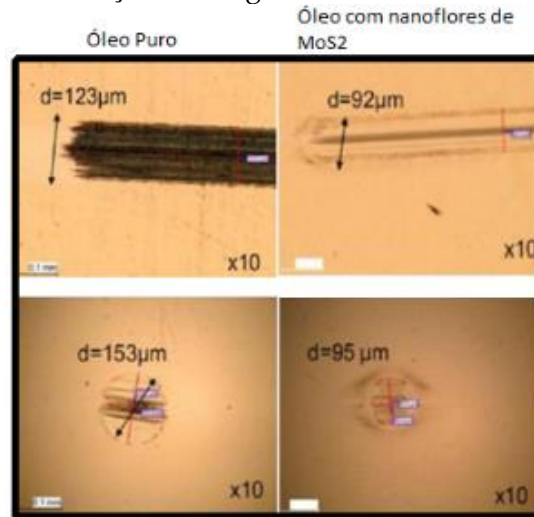


Fonte: adaptado de Bordignon, 2018.

Nota-se que o óleo puro causa ranhuras graves na superfície sólida, que são minimizadas quando o teste é repetido com o óleo contendo nanolâminas de grafeno e que são quase imperceptíveis quando testado novamente com o óleo contendo nanolâminas de grafeno potencializado com  $\text{NH}_3$ . Essas ranhuras que ficam imperceptíveis são justamente a diminuição do desgaste com tempo e a ação causada pelas nanopartículas que, no caso agem como um filme protetor acima da superfície, diminuindo o dano causado pelo contra corpo no corpo de prova.

Outro estudo que mostra a redução de desgaste é o de Juste (2012), em que se encontram cerca de 25% de redução no teste requerido. A Figura 7 demonstra as marcas de desgaste na amostra e o diâmetro da marca no contra corpo, em que foram utilizados o óleo puro e o óleo com nanoflores de MoS<sub>2</sub> como material intermediário lubrificante

**Figura 7:** Redução de desgaste com Nanoflores de MoS<sub>2</sub>



Fonte: adaptado de Juste, 2012.

Novamente, nota-se que a influência do óleo aditivado com nanopartículas sobre o teste de desgaste é muito grande: há uma redução significativa de sinal e tamanho das marcas deixadas pelo contra corpo e é assim que se espera a ação dentro de motores e outros tipos de superfícies sólidas. A redução de 25% de desgaste e de atrito é uma redução importante uma vez que a vida útil de equipamentos está diretamente ligada à lubrificação correta.

Em comparações, nota-se que todos os pontos avaliados, como tipo, tamanho e concentração das nanopartículas, são extremamente importantes para a redução do desgaste final, cada ponto com sua peculiaridade. O tipo de nanopartícula e seu material podem colaborar para uma proteção maior ou de mais facilidade; o tamanho da nanopartícula influencia diretamente na superfície de contato para melhor ação de cobertura de falhas e filmes protetores, sua concentração é extremamente ligada ao coeficiente de desgaste, pois uma concentração menor do que a necessária pode não causar o efeito esperado e uma concentração maior pode até mesmo causar o efeito inverso.

A redução de desgaste é o ponto de estudo mais enfatizado, pois, como disposto anteriormente, todos as variáveis podem causar diferenças nele para que seja realmente efetivo ou não. Nessas comparações, observam-se que as nanopartículas são realmente efetivas e que se podem mudar tipos, materiais, tamanhos, concentrações e até mesmo potencializá-las com outros materiais para que a redução seja cada vez mais efetiva.

Com o atrito em excesso, também ocorre a retirada de pequenos fragmentos metálicos das superfícies sólidas que podem causar entupimentos em pequenos vasos em motores, por exemplo, que só podem ser observados com manutenções periódicas. A manutenção preventiva é de suma importância, pois pode evitar acidentes e danos.



Ela caminha juntamente com o melhoramento dos lubrificantes, pois, com um melhor lubrificante, a fim de uma proteção efetiva e com a realização de manutenções preventivas a proteção das superfícies, é maior e o risco de incidentes, menor.

A partir disso, pensando em novos estudos, pode-se dizer que realizar variações em tipos e tamanhos de nanopartículas é viável, uma vez que podem ser potencializadas. Estudos envolvendo a química da nanopartículas e o solvente usado também são indispensáveis para que elas fiquem cada vez mais dispersas no óleo lubrificante, assim agindo com a polaridade das moléculas. Ainda é válido estudar outros tipos de óleos lubrificantes e variar concentrações de nanopartículas neles. Pode-se também avaliar mais profundamente as nanopartículas e sua inserção, trabalhar mais em testes de desgaste e tempo limite de duração da lubrificação aditivada.

## 5 CONCLUSÃO

A partir da realização desta pesquisa bibliográfica, pôde-se concluir que a inserção de nanopartículas é um ótimo meio para aumentar a qualidade do óleo, reduzindo o desgaste gerado de superfícies sólidas e agindo mais eficientemente como um lubrificante. É possível também observar que o tamanho, o tipo e a concentração estão diretamente ligados com a redução do desgaste, o que pode ser um tópico para estudos futuros.

Os resultados demonstram claramente que a adição de uma quantidade mínima (de 0,05% a 1%) de nanopartículas e de tamanhos menores é mais eficaz devido ao aumento da superfície de contato e não sobrecarrega o lubrificante.

Observa-se que o melhor resultado de redução de atrito que se obteve na pesquisa foram as nanolâminas de grafeno potencializadas com  $\text{NH}_3$  na concentração de 0,05% e redução de 94% e que o  $\text{NH}_3$  como potencializador é muito eficaz, já que a diferença do grafeno puro e potencializado é de cerca de 49%.

Ainda são necessárias fontes de estudo acerca de materiais, tipos, tamanhos e concentrações variadas para nanopartículas a fim de sempre melhorar a propriedade de diminuição de desgaste e deixar o lubrificante estável, ótimo para motores e demais superfícies sólidas, assim como para o meio ambiente e saúde humana também.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. P. P. **Caracterização de aditivos poliméricos melhoradores de índice de viscosidade e estudo reológico de lubrificantes automotivos**. 2012. 152 f. Dissertação Mestrado – Mestre em Engenharia Química, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, 2012.

ANP – Agência Nacional do Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis. **Refino do Petróleo**. 2020. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/producao-de-derivados-de-petroleo-e-processamento-de-gas-natutal/refino-petroleo>.

ANP – Agência Nacional do Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis. **Lubrificantes**. 2016, atualizado em 2019. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/petroleo-derivado/lubrificantes>.

AZEVEDO, J. B. *et al.* Propriedades reológicas de óleos lubrificantes minerais e sintéticos com degradação em motor automotivo. 2004. 5 f. *In: Anais do 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás*, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2005.

BORDIGNON, R. Z. *et al.* **Desempenho tribológico de grafeno funcionalizado como aditivo em óleo lubrificante de baixa viscosidade**. 2018. 80 f. Dissertação Mestrado – Curso de Ciência e Engenharia de materiais, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2018.

CARDOSO, R. P. O papel da tribologia em engenharia de materiais e superfícies. 2013. *In: Plano de aula Universidade Federal do Paraná*. Curitiba. 2013.

CARVALHO, R. Viscosidade do óleo. **Revista Total Brasil**, 2018. Disponível em: <https://www.totalbrasil.com/viscosidade-do-oleo>.

CAVALCANTE, C. A. V.; ALMEIDA, A. T. de. Modelo multicritério de apoio a decisão para o planejamento de manutenção preventiva utilizando PROMETHEE II em situações de incerteza. **Pesquisa Operacional**, Recife, v. 25, n. 2, p. 279-296, 2005.

CAVALCANTI, E. J. C.; MORA, N. D.; SERRA, T. **Estudo do desempenho do óleo lubrificante em pontos diferentes da turbina**. 2014. 7 f. Projeto de Iniciação Científica para Engenharia Mecânica - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, (UNIOESTE), Foz do Iguaçu, 2014.

CBIE – Centro Brasileiro de Infraestrutura. **Como funciona a destilação do petróleo?**. 2019. Disponível em: <https://cbie.com.br/artigos/como-funciona-a-destilacao-do-petroleo/>.

CBIE – Centro Brasileiro de Infraestrutura. **Quais são os maiores produtores mundiais de petróleo?**. 2020. Disponível em: <https://cbie.com.br/artigos/quais-sao-os-maiores-produtores-mundiais-de-petroleo/>.

CONFORTO, E. C. *et al.* Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. *In: Anais Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produtos*, Porto Alegre, 2011.

CYRINO, L. **Aditivos adicionados aos lubrificantes**. 2016. Disponível em: <https://www.manutencaoemfoco.com.br/aditivos-adicionado-aos-lubrificantes/>.

CYRINO, L. **Óleo automotivo e sua classificação**. 2018. Disponível em: <https://www.manutencaoemfoco.com.br/oleo-automotivo-e-sua-classificacao/>.

FACHIN, O. **Fundamentos de metodologias**. São Paulo: Saraiva, 2001.

FARIAS, M. C. M. Tribologia. *In: Projeto pavimentos tribológico*. Universidade de Caxias do Sul. Bom Princípio. 2017.

FREITAS, G., T. de. **Investigação do comportamento de um aditivo para óleos lubrificantes por meio de ensaios tribológicos e técnicas de caracterização de nanomateriais**. 2018. 142 f. Dissertação de mestrado em Engenharia Mecânica – Pós-graduação em engenharia mecânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro, 2018.

GUEDES, A. E. D. **Síntese e caracterização de nanopartículas supermagnéticas para aditivação de lubrificantes industriais**. 2017. 164 f. Tese de Doutorado - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, Natal, 2017.

HIRAYAMA, D. E. **Avaliação físico-química de lubrificantes básicos aditivados com nanopartículas**. 2017. 98 f. Dissertação de mestrado no curso de processos industriais, IPT (Instituto de pesquisas tecnológicas do estado de São Paulo), São Paulo, 2017.

IPIRANGA. **Óleo Moto Performance 10W30. Ficha de informações de segurança de produtos químicos – FISPQ n° 171**, 2016. Disponível em: [https://portal.ipiranga/wps/wcm/connect/12df27ae-43b6-4c09-b5a9-1cd6a1f9306f/IPIRANGA+MOTO+PERFORMANCE+10W30+-+REV+150416.pdf?MOD=AJPERES&CONVERT\\_TO=url&CACHEID=12df27ae-43b6-4c09-b5a9-1cd6a1f9306f](https://portal.ipiranga/wps/wcm/connect/12df27ae-43b6-4c09-b5a9-1cd6a1f9306f/IPIRANGA+MOTO+PERFORMANCE+10W30+-+REV+150416.pdf?MOD=AJPERES&CONVERT_TO=url&CACHEID=12df27ae-43b6-4c09-b5a9-1cd6a1f9306f).

IPIRANGA. **Óleo Moto Performance 20W50**. Ficha de informações de segurança de produtos químicos – FISPQ n° 092, 2016. Disponível em: [https://portal.ipiranga/wps/wcm/connect/489713c2-c5c6-4f5e-9184-1c4f98d0e55a/IPIRANGA+MOTO+PROTECTION+20W50+SL.PDF?MOD=AJPERES&CONVERT\\_TO=url&CACHEID=489713c2-c5c6-4f5e-9184-1c4f98d0e55a](https://portal.ipiranga/wps/wcm/connect/489713c2-c5c6-4f5e-9184-1c4f98d0e55a/IPIRANGA+MOTO+PROTECTION+20W50+SL.PDF?MOD=AJPERES&CONVERT_TO=url&CACHEID=489713c2-c5c6-4f5e-9184-1c4f98d0e55a).

JUSTE, K. R. de C. **Caracterização tribológica da lubrificação sólida**. 2012. 164 f. Tese Graduação - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia - UFU, Uberlândia, 2012.

KUMARA, C. *et al.* **Organic-modified silver nanoparticles as lubricant additives**. *ACS applied materials & interfaces*, v. 9, n. 42, p. 37227-37237, 2017.

KUMARA, C.; Harry M.; QU, Jun. **Synergistic Interactions Between Silver and Palladium Nanoparticles in Lubrication**. *ACS Applied Nano Materials*, v. 2, n. 8, p. 5302-5309, 2019.

LEE, K. *et al.* Understanding the role of nanoparticles in nano-oil lubrication. **Tribology Letters**, v. 35, n. 2, p. 127–131, 2009.

LOPES, E. H. O.; CARVALHO, L. H. **Efeitos do envelhecimento térmico na estrutura química e reologia de um óleo lubrificante mineral**. 2007. 9 f. *In*: 4º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2007.

MARÇAL, L. D. **Estudo da copolimerização de aditivos melhoradores do índice de viscosidade de óleos lubrificantes automotivos**. 2018. 127 f. Dissertação Mestrado em Engenharia Química, Universidade Federal de São João Del Rei – UFSJ, Ouro Branco, 2018.

MELLO, V. S. **Otimização do processo de síntese de nanolubrificantes aditivados com CuO para ação antidesgaste**. 2017. 165 f. Tese de doutorado em Engenharia mecânica – Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Natal, 2017.

NASSAR, A. M.; AHMED, N. S. **The Behavior of  $\alpha$ -Olefins Butyl Acrylate Copolymers as Viscosity Index Improvers and Pour Point Depressants for Lube Oil**; *International Journal of Polymeric Materials*, v. 55, p. 947-955, 2006.

OLIVEIRA, G. A. de. **Tribologia: atrito, desgaste, lubrificação**. 2010. 63f. Tese Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Uberlândia, 2010.

PETROBRAS. **Refino: saiba o que é e como funciona**. 2020. Disponível em: <https://petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/areas-de-atuacao/refino/>.

SANTOS JUNIOR, A. A. **Determinação de parâmetros de óleos lubrificantes de motores de ciclo Otto e ciclo Diesel através da Espectroscopia no Infravermelho, métodos multivariados e cartas de controle**. 2011. 134 f. Dissertação Mestrado – Mestre em Química, Universidade de Brasília – UNB, Brasília, 2011.

SILVA, A. E. de O. **Transposição didática: a química dos óleos lubrificantes**. 2011. 59f. Tese Graduação no Curso de Licenciatura em química, Universidade de Brasília – UNB, Brasília, 2011.

TRAJANO, M. F. **Estudo tribológico de biolubrificantes com adição de nanopartículas de óxidos (zinco e cobre)**. 2013. 83 f. Dissertação Mestrado em Tecnologia de Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN. Natal, 2013.

ZARBIN, A. J. G. Química de (nano)materiais. 2007. **Quim. Nova**, Curitiba, v. 30, n. 6, p. 1469-1479, 2007.

# Avaliação de flavonoides totais e da atividade antioxidante em extratos de aranto (*Kalanchoe daigremontiana*)

*Evaluation of total flavonoids and antioxidant activity in aranto  
(Kalanchoe daigremontiana) extracts*

GUSTAVO GONÇALVES SILVA

Discente do curso de Engenharia Química (UNIPAM)

E-mail: gustavo.gs.98@hotmail.com

RENATA NEPOMUCENO DA CUNHA

Professora orientadora (UNIPAM)

E-mail: renatanepc@unipam.edu.br

---

**Resumo:** Desde o princípio da humanidade, o homem recorre à natureza em busca de plantas para tratar e minimizar doenças. Para a obtenção dos benefícios provenientes dos fitoquímicos vegetais, é necessário executar métodos extrativos. Os extratos são soluções concentradas, obtidas a partir de matérias-primas vegetais. O presente trabalho consiste em realizar o estudo fitoquímico da planta aranto, a partir de sua extração etanólica por soxhlet. Faz ainda parte do escopo deste estudo avaliar os efeitos do volume de solvente e avaliar os teores de flavonoides totais. O material vegetal foi coletado na cidade de Patos de Minas (MG). O processo de extração foi feito sendo avaliados os efeitos das variáveis tempo e volume de solvente conforme o planejamento experimental. Foram encontrados teores de flavonoides de 68,436 µg/mL até 139,700 µg/mL, sendo que o maior valor foi com o menor tempo (4 h) e menor volume (180 mL). Devido ao longo tempo de extração, os experimentos de 8 e 12 h foram em sua maioria degradados.

**Palavras-chave:** Plantas medicinais. Extração. Flavonoides.

**Abstract:** Since the beginning of humanity, man has turned to nature in search of plants to treat and minimize diseases. In order to obtain the benefits from plant phytochemicals, it is necessary to carry out extractive methods. Extracts are concentrated solutions obtained from vegetable raw materials. The present work consists in carrying out the phytochemical study of the aranto plant, from its ethanolic extraction by Soxhlet. It is also part of the scope of this study to evaluate the effects of solvent volume and to evaluate the total flavonoid levels. Plant material was collected in the city of Patos de Minas (MG). The extraction process was carried out by evaluating the effects of the variables time and solvent volume according to the experimental design. Flavonoid contents from 68.436 µg/mL to 139.700 µg/mL were found, with the highest value having the shortest time (4 h) and the smallest volume (180 mL). Due to the long extraction time, the experiments of 8 and 12 h were mostly degraded.

**Keywords:** Medicinal plants. Extraction. Flavonoids.

---

## 1 INTRODUÇÃO

Desde o princípio da humanidade, o homem recorre à natureza em busca de plantas para tratar e minimizar doenças. Nas primeiras civilizações, as plantas como medicamentos sempre foram empregadas para tratar os males que acometiam as pessoas. No curso da história, as civilizações chinesa e egípcia deixaram registradas centenas de receitas associando às plantas (CASTRO, 2005). Na China, há registros de cultivo de plantas medicinais que datam de 3000 a.C.; os egípcios, assírios e hebreus também as cultivavam em 2300 a.C. Da cultura grega surgiram várias plantas medicinais que foram precursoras farmacopeias atuais (NEWMAN *et al.*, 2001).

No Brasil, antes mesmo de seu descobrimento, os índios utilizavam plantas para a cura de doenças, para o preparo de corantes e para o auxílio da pesca. No Brasil, existe uma expressiva diversidade de plantas, vindo a ser um local de muitos estudos relacionados à fitoterapia e farmacologia (REX *et al.*, 2000). Dentro desse contexto, a partir das plantas medicinais, muitas substâncias vêm sendo isoladas e exploradas cientificamente como princípio ativo de medicamentos (FÓGLIO *et al.*, 2006).

Dados da Organização Mundial de Saúde (OMS) mostram que cerca de 80% da população mundial faz uso de algum tipo de erva na busca de alívio e tratamento para dores. Estima-se que aproximadamente 40% dos medicamentos atualmente disponíveis no mercado foram desenvolvidos direta ou indiretamente a partir de plantas (CALIXTO, 2001). Tal conhecimento foi por muito tempo considerado apenas como sabedoria popular sem preocupação de estudos mais aprofundados sobre as propriedades das plantas, entretanto os estudos teóricos e científicos vêm aumentando nos últimos anos (DUTRA, 2009).

Dentro desse contexto, a *Kalanchoe daigremontiana* é uma planta da família *Crassulaceae* e é comumente conhecida como a mãe de milhares ou aranto. O gênero *Kalanchoe* é encontrado em toda Madagascar, na África Oriental e na África do Sul, estendendo-se para a África, Arábia e Sudeste Asiático. Foi trazida para o Brasil pelos escravos na época da colonização. *Kalanchoe* é um gênero relativamente grande, e têm sido amplamente utilizados para fins de pesquisa. O aranto reproduz-se assexuadamente formando espontaneamente plântulas inteiras nas folhas (DESCOINGS, 2003).

É uma planta suculenta (Figura 1) e xerofítica que contém glicosídeos, flavonoides e lipídios; estes últimos incluem triterpenoides e bufadienolidos que possuem atividade citotóxica contra várias linhagens celulares cancerígenas (*Nanocap aran*). Extratos vegetais do aranto mostraram ter propriedades antitumorais, anti-inflamatórias e inseticidas (SUPRATMAN *et al.* 2001).

**Figura 1:** *Kalanchoe daigremontiana*



Fonte: arquivo pessoal, 2020.

Existem vários métodos extrativos para obtenção de extratos vegetais que incluem maceração, infusão, percolação, decocção, extração em contracorrente, extração assistida por micro-ondas, ultrassom, fluido supercrítico, turbólise e extração contínua quente ou soxhlet (OLIVEIRA *et al.*, 2016).

O presente trabalho consiste em realizar o estudo fitoquímico da planta aranto, a partir de sua extração etanólica por soxhlet. Faz ainda parte do escopo deste estudo avaliar os efeitos do volume de solvente e avaliar os teores de flavonoides totais presentes no referido extrato.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 PLANTAS MEDICINAIS

A OMS define planta medicinal como sendo “todo e qualquer vegetal que possui, em um ou mais órgãos, substâncias que podem ser utilizadas com fins terapêuticos ou que sejam precursores de fármacos semissintéticos”. A diferença entre planta medicinal e fitoterápico reside na elaboração da planta para uma formulação específica, o que caracteriza um fitoterápico. Segundo a Secretaria de Vigilância Sanitária, em sua Portaria n. 6, de 31 de janeiro de 1995, fitoterápico é “todo medicamento tecnicamente obtido e elaborado, empregando-se exclusivamente matérias-primas vegetais com finalidade profilática, curativa ou para fins de diagnóstico, com benefício para o usuário”. Por fim encontra-se o fitofármaco, que, por definição, “é a substância ativa, isolada de matérias-primas vegetais ou mesmo, mistura de substâncias ativas de origem vegetal” (VEIGA JUNIOR *et al.*, 2005).

### 2.2 EXTRAÇÃO

Para a obtenção dos benefícios provenientes dos fitoquímicos vegetais, é necessário executar métodos extrativos. Os extratos são soluções concentradas, obtidas a partir de matérias-primas vegetais (raiz, caule, folhas, frutos e sementes) secas e

trituras (ANVISA, 2010). O processo de extração pode ser dividido em duas etapas: a primeira consiste na separação dos metabólitos secundários da planta por um solvente, enquanto a segunda é a concentração por meio da eliminação do solvente, geralmente por evaporação.

O soxhlet é um aparelho utilizado para extrair compostos que requer um esgotamento total, devido à limitação da solubilidade e utilização de pequena quantidade do solvente. O soluto é colocado em um cartucho ou sobre algodão e o solvente em um balão aquecido. Este sofre ebulição, evapora e passa pelo soluto, retirando-se os metabólitos secundários. O composto entra em um condensador, sendo resfriado e retorna ao balão repetitivamente (MACIEL *et al.*, 2002).

### 2.3 FLAVONOIDES

Os flavonoides representam uma classe de substâncias relevantes para o gênero de *Kalanchoe*. Os flavonoides possuem estrutura básica de 15 carbonos, responsáveis pela coloração das flores, com efeitos de aromatizantes, bactericidas, fungicidas, adstringentes e anti-inflamatórios.

Os flavonoides representam um dos grupos fenólicos mais importantes e diversificados entre os produtos de origem natural. Essa classe de metabólitos secundários é amplamente distribuída no reino vegetal. São encontrados em frutas, vegetais, sementes, cascas de árvores, raízes, talos, flores e em seus produtos de preparação, tais como os chás e vinhos. Apresenta um núcleo característico C6-C3-C6, sendo biossintetizados a partir das vias dos ácidos chiquímico e acético (COUTINHO *et al.*, 2009).

Plantas medicinais e condimentares que contêm flavonoides são usadas há milhares de anos na medicina oriental. No entanto, a despeito da literatura avaliada, ainda são pouco usados terapeuticamente na medicina popular do ocidente, embora possuam atividade antioxidante na função protetora e no tratamento de doenças degenerativas mediadas por estresse oxidativo (DORNAS *et al.*, 2009).

Apesar de os flavonoides serem largamente utilizados e vários estudos sugerirem promissoras atividades farmacológicas, os mecanismos de absorção digestiva e de biodisponibilidade não estão completamente explicados. Sabe-se que os flavonoides são absorvidos por via oral e transportados pela albumina plasmática. Sofrem metabolismo de primeira passagem, reduzindo assim a sua biodisponibilidade. Enzimas bacterianas podem também quebrar as moléculas dos flavonoides influenciando sua absorção (SOBREIRA, 2013).

Destacam-se, dentre outros, os seguintes efeitos dos flavonoides sobre os sistemas biológicos: capacidade antioxidativa (esta constitui a atividade mais elucidada pelos estudos até agora desenvolvidos); atividades anti-inflamatórias e de efeito vasodilatador; ação antialérgica; atividade contra o desenvolvimento de tumores, anti-hepatotóxica, antiulcerogênica; atuação antiplaquetária, bem como ações antimicrobianas e antivirais (LOPES *et al.*, 2000).



## 2.4 ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

Alguns estudos foram realizados com a finalidade de avaliar a atividade antioxidante de plantas do gênero *Kalanchoe* utilizando o método *in vitro* estabelecido pela medida de capacidade sequestrante de radicais livres através do DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazila) (SOBREIRA, 2013). Dois trabalhos publicados avaliaram a atividade antioxidante de diversos extratos de *Kalanchoe pinnata*. No trabalho realizado por Gupta *et al.* (2009), o extrato metanólico das folhas de *K. pinnata* apresentou atividade sequestrante de radicais livres em 63,97% quando comparada com o padrão BHT (2,6-di-terc-butil-4-metilfenol). Já no estudo conduzido por Majaz *et al.* (2011), o extrato metanólico das raízes produziu uma atividade de 73,37%, quando comparada com o ácido ascórbico.

De forma geral, denominam-se antioxidantes as substâncias que, presentes em concentrações baixas, comparadas ao substrato oxidável, retardam significativamente ou inibem a oxidação do substrato. Os radicais formados a partir de antioxidantes não são reativos para propagar a reação em cadeia, sendo neutralizados por reação com outro radical, formando produtos estáveis ou podem ser reciclados por outro antioxidante (SOUSA *et al.*, 2007).

Nos últimos anos, uma quantidade substancial de evidências tem indicado o papel chave dos radicais livres e outros oxidantes como grandes responsáveis pelo envelhecimento e pelas doenças degenerativas associadas ao envelhecimento, como câncer, doenças cardiovasculares, catarata, declínio do sistema imune e disfunções cerebrais (SOUSA *et al.*, 2007).

## 3 METODOLOGIA

### 3.1 PREPARO DO MATERIAL

O material vegetal foi coletado na cidade de Patos de Minas (MG). Todas as etapas reacionais foram realizadas no Laboratório Central Analítica do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM). A identificação e o depósito da exsicata foram realizados no Herbário *Mandevilla sp.* sob o número 130.3.1. As folhas foram separadas e lavadas, obtendo-se 867,54 g de folhas frescas. Em seguida foram secadas por 96 horas em estufa na temperatura de 50 °C. O material foi submetido à trituração no liquidificador industrial e obtendo-se 30,92 g.

### 3.2 EXTRAÇÃO E PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

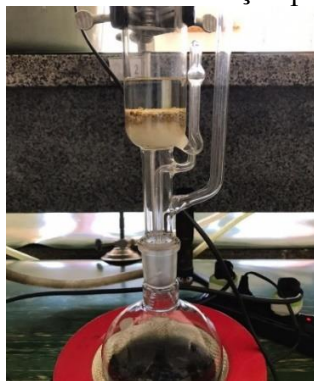
O processo de extração, ou seja, de obtenção do extrato a partir de folhas de aranto foi realizado por soxhlet (Figura 2), usando o álcool de cereais como solvente. Os experimentos foram realizados com a massa de folhas secas constantes (5 g em cada), sendo avaliados os efeitos das variáveis tempo e volume de solvente conforme o planejamento experimental explicitado na Tabela 1.

**Tabela 1:** Planejamento experimental para obtenção de extrato a partir de folhas de aranto

Experimentos	Tempo (h)	Volume de álcool de cereais (mL)
1	4 (-1)	180 (-1)
2	4 (-1)	380 (+1)
3	8 (0)	280 (0)
4	8 (0)	280 (0)
5	12 (+1)	180 (-1)
6	12 (+1)	380 (+1)

Fonte: elaborada pelos autores, 2020.

**Figura 2:** Processo de extração por soxhlet



Fonte: arquivo pessoal, 2020.

### 3.3 TESTE DE FLAVONOIDES QUALITATIVO

Para identificação de flavonoides, foi realizado o teste de Shinoda adaptado de Simões *et al.* (1999): em um tubo de ensaio com 2 mL de etanol adiciona-se a ponta de uma espátula do extrato e três fitas de magnésio metálico de 1 cm cada e 1 mL de HCl concentrado. O aparecimento de coloração róseo-avermelhada indica resultado positivo para flavonoides.

### 3.4 DETERMINAÇÃO DE FLAVONOIDES TOTAIS

A determinação de flavonoides totais foi realizada com o preparo do branco adicionando-se 2 mL da solução de cloreto de alumínio ( $\text{AlCl}_3$ ) 5% ao etanol até a marca dos 50 mL e a absorbância foi determinada em 425 nm. Uma solução de concentração 2 mg/mL de extrato bruto dissolvido em etanol foi preparada e em 15 mL desta foram adicionados 2 mL de  $\text{AlCl}_3$  5% em etanol e o volume completado até 50 mL com etanol. Após repouso de 30 minutos, realizou-se leitura em espectrofotômetro no mesmo comprimento de onda que o padrão.

A quercetina foi adotada como padrão nas concentrações de 10, 20, 30, 50 e 100  $\mu\text{g/mL}$  e, para a quantificação dos flavonoides, utilizou-se da equação gerada pelo gráfico da curva padrão. Todos os ensaios foram realizados em triplicata.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 ANÁLISE QUALITATIVA DE FLAVONOIDES

A partir do teste de Shinoda realizado no extrato de aranto, foi observada a presença de flavonoides evidenciada pela coloração róseo-avermelhada, como mostra a Figura 3.

**Figura 2:** Teste de Shinoda para presença de flavonoides



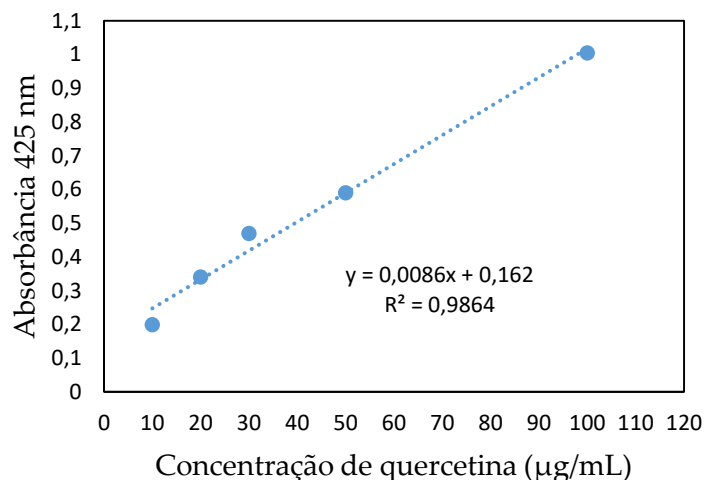
Fonte: arquivo pessoal, 2020.

### 4.2 TESTE DE FLAVONOIDES TOTAIS

A curva de calibração para determinação de flavonoides totais obteve a equação da reta  $y = 0,0086x + 0,162$  (sendo  $y$  a absorbância e  $x$  a concentração em  $\mu\text{g/mL}$ ) com coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,9864, como mostra a Figura 4.

A Tabela 2 explicita os resultados dos teores de flavonoides totais. Resultados similares foram obtidos por Costa (2012), que obteve, em seus trabalhos, valores de teores de flavonoides da ordem de 30,75 a 196,46  $\mu\text{g/mL}$  com diversas concentrações do extrato de *Kalanchoe brasiliensis* Cambess. Na literatura, os estudos para o gênero *Kalanchoe* são voltados para a investigação da atividade farmacológica e algumas pesquisas voltadas para isolamento e caracterização de flavonoides.

**Figura 4:** Curva de calibração utilizada para a quantificação de flavonoides totais



Fonte: elaborada pelos autores, 2020.

**Tabela 1:** Resultados de flavonoides totais

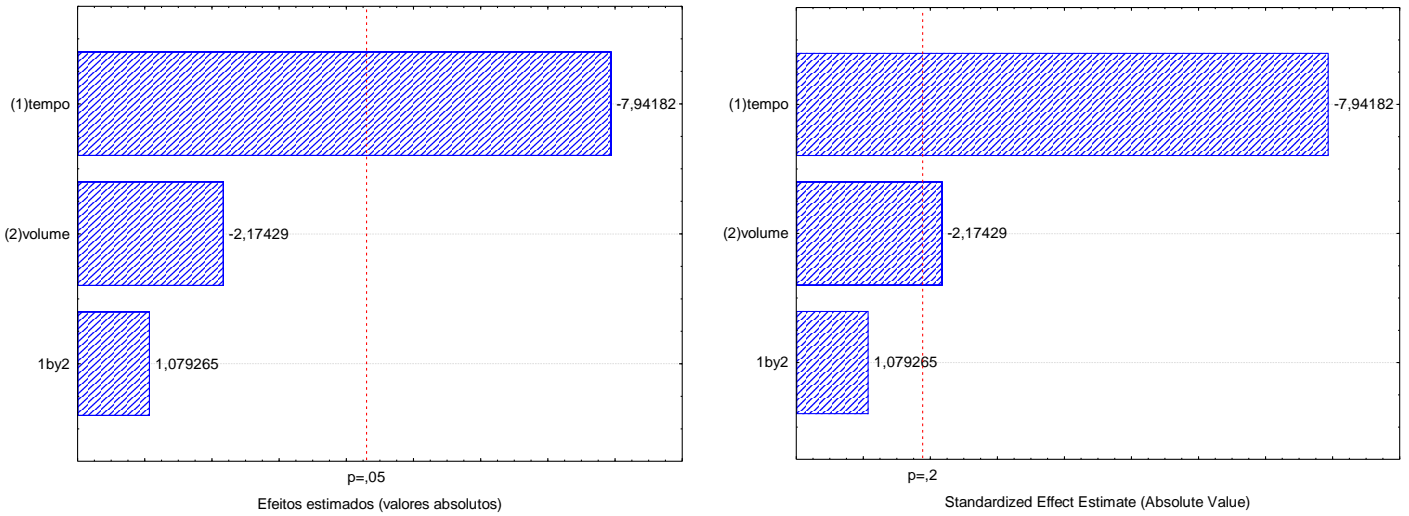
Experimentos	Tempo (h)	Volume (mL)	Flavonoides Totais (µg/mL)
1	4 (-1)	180 (-1)	139,700± 24,227
2	4 (-1)	380 (+1)	116,780± 24,227
3	8 (0)	280 (0)	97,700± 24,227
4	8 (0)	280 (0)	110,373± 24,227
5	12 (+1)	180 (-1)	76,150± 24,227
6	12 (+1)	380 (+1)	68,436± 24,227

Fonte: dados da pesquisa, 2020.

Nota-se pela Tabela 2 que extrações maiores dos teores de flavonoides totais foram obtidas para a condição de menor tempo de extração (4 horas) e menor volume de solvente (180 mL). Souza *et al.* (2009), em seu trabalho de extração de compostos fenólicos utilizando o planejamento experimental com rotação, observaram que ao agitar no processo de extração teve um efeito contrário, resultando num menor teor de composto fenólico.

Este resultado sugere que aumento de tempo de agitação pode ocasionar uma diminuição nos teores extraídos pela degradação dos compostos fenólicos, o que pode explicar o porquê de os experimentos com 12 horas terem obtido os menores teores, pois os compostos flavonoides podem ter sido degradados.

Para avaliar os efeitos dos parâmetros tempo e volume sobre a extração de flavonoides, realizou-se o tratamento estatístico tendo-se obtido o diagrama de Pareto (Figura 5), que mostra os efeitos das variáveis avaliadas, assim como a interação entre os parâmetros.

**Figura 5:** Diagrama de Pareto nos níveis de significância de 0,05 e 0,2

Fonte: dados da pesquisa, 2020.

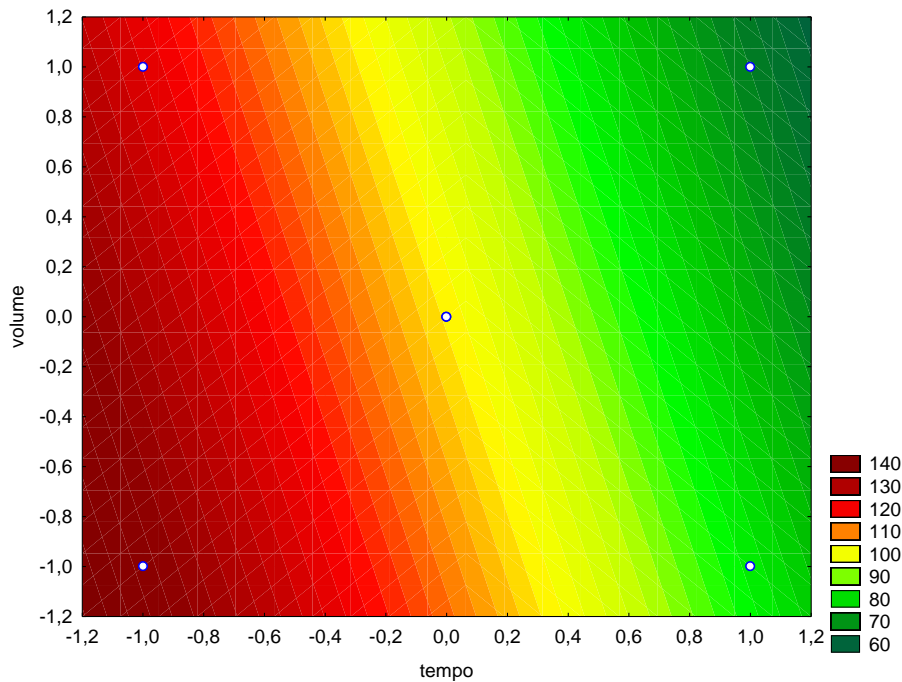
Nota-se pelo Diagrama de Pareto que, nos níveis baixos de significância, o volume de solvente e a interação desse com o tempo de extração não exercem efeito estatístico significativo sobre a extração de flavonoides. Ampliando-se o nível de significância para 0,2, obtém-se o efeito do volume de solvente sobre a resposta. O diagrama confirma os efeitos negativos das variáveis, indicativos de que um aumento no tempo e no volume de extração contribui para uma menor obtenção dos teores de flavonoides.

A equação do modelo que prediz a extração de flavonoides frente ao tempo e volume de solvente é dada por

$$\text{Teores de Flavonoides} = 101,5232 - 27,9735 * X1 - 7,6585 * X2,$$

em que X1 e X2 são, respectivamente, o tempo de extração e o volume de solvente. A Figura 6 apresenta a superfície de resposta ajustada à equação.

**Figura 6:** Superfície de resposta ajustada à equação que prediz os teores de flavonoides



Fonte: dados da pesquisa, 2020.

Nota-se que pela figura que os maiores teores extraídos de flavonoides ocorrem nas condições de baixo tempo e volume de solvente. No trabalho de Gomes (2017), a melhor extração foi obtida no experimento no qual tanto a razão (7:1) de solvente: planta quanto o tempo (1 h) de extração foram os máximos. Isso pode ser explicado pela Lei de Fick, pois, quanto maior o volume de solvente, mais facilitada a transferência do produto do meio sólido para o meio líquido, ou seja, quanto maior for a razão solvente: planta, maior será o gradiente de concentrações dos produtos. Além disso, promover o contato entre o meio fermentado e o solvente por um maior período de tempo também pode favorecer o fenômeno de transporte de massa.

Porém, o maior tempo do experimento de Gomes (2017) de 1 h é bem inferior ao menor tempo de estudo do presente trabalho, que é de 4 h. Torres *et al.* (2018) discute que o uso da temperatura é um fator que melhora a extração de compostos fenólicos, em especial os flavonoides. Contudo, também é sabido que o emprego de altas temperaturas pode levar à degradação desse composto.

Este resultado sugere que o longo tempo de extração ocasionou uma diminuição nos teores extraídos pela degradação dos compostos fenólicos pelas enzimas óxido-redutases do tecido ou reversão do equilíbrio dos compostos entre as frações sólido-líquido do sistema (SOUZA *et al.*, 2009).

## 5 CONCLUSÃO

A concentração máxima de flavonoides foi de 139,700 µg/mL com um tempo de extração de 4 horas e volume de 180 mL de etanol. O planejamento experimental se

mostrou eficiente, já que foi possível diferenciar os experimentos, porém devem ser evidenciados mais fatores como o rendimento do extrato, e o teste de quantificação de atividade antioxidante deve ser executado para um melhor estudo da planta.

Devido ao longo tempo de extração, os teores de flavonoides, em sua maioria, foram degradados, o que torna necessário o desenvolvimento de novas metodologias de otimização do método extrativo, a fim de selecionar as melhores condições de extração, sem que a substância seja degradada durante o processo extrativo.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. ANVISA. **Farmacopeia Brasileira**. v. 1, p. 546. 2010. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/documents/33832/260079/5%C2%AA+edi%C3%A7%C3%A3o+-+Volume+1/4c530f86-fe83-4c4a-b907-6a96b5c2d2fc>.
- CALIXTO, J. B. Fitofármacos no Brasil: agora ou nunca!. **Ciência hoje**, [S. l.], v. 21, n. 1234, p. 26-30, 2001.
- CASTRO, M. S. A. Farmacologia de Produtos Naturais: Plantas Mediciniais. *In*: FRANCISCHI, J. N. *et al.* **A farmacologia em nossa vida**. Minas Gerais: Ed. Universitária, cap. 9, 2005, p. 115-123.
- COSTA, A. C. de O. **Caracterização e quantificação de marcadores químicos do extrato hidroetanólico das folhas de Kalanchoe brasiliensis Cambess**. 2012. 226 f. Dissertação (Mestrado em Bioanálises e Medicamentos) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.
- COUTINHO, M. A. S. *et al.* Flavonoides: potenciais agentes terapêuticos para o processo inflamatório. **Revista Virtual de Química**, Niterói, v. 1, n. 3, p. 241-256, 2009.
- DESCOINGS, B. *Kalanchoe*. Illustrated handbook of succulent plants: *Crassulaceae*. **Springer-Verlag**, Berlin, p. 143-181, 2003.
- DORNAS, W. C. *et al.* Flavonoides: potencial terapêutico no estresse oxidativo. **Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada**, Araraquara, v. 28, n. 3, p. 241-249, 2009.
- DUTRA, M. G. **Plantas medicinais, fitoterápicos e saúde pública: um diagnóstico situacional em Anápolis, Goiás**. 2009. 112 f. Dissertação (Mestrado Multidisciplinar em Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente) - Centro Universitário de Anápolis - UniEvangélica, Anápolis, 2009.
- F.I.B. Dossiê Antioxidantes. **Revista Food Ingredientes Brasil**, 2009. p. 16-23, n. 6. Disponível em: <http://www.revista-fi.com/materias/83.pdf>.

FÓGLIO, M. A. *et al.* Plantas medicinais como fonte de recursos terapêuticos: um modelo multidisciplinar. **Multiciência**, Curitiba, v. 7, n. 10, p. 17-26, 2006.

GOMES, M. V. O. **Produção de quercetina por fermentação em meio sólido**. 2017, 57 f. Projeto Final (Bacharelado em Engenharia Química) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2017.

GUPTA, R. *et al.* Anti-inflammatory activity of extracts and isolated alkaloidal fraction from leaves of *Bryophyllum pinnatum*. **Pharmacologyonline**, [S. l.], v. 2, p. 873-886, 2009.

LOPES, R. M. *et al.* Flavonoides. **Biotecnologia ciência & desenvolvimento**, [S. l.], v. 17, p. 18-22, 2000.

MACIEL, M. A. M. *et al.* Plantas medicinais: a necessidade de estudos multidisciplinares. **Química Nova**, São Paulo, v. 25, n. 3, p. 429-38, 2002.

MAJAZ, Q. *et al.* Evaluation of antioxidant activity of *Kalanchoe pinnata*. **International Journal of Research in Ayurveda e Pharmacy**, [S. l.], v. 2, n. 6, p. 1772-1775, 2011.

NEWMAN, D. J. *et al.* The influence of natural products upon drug discovery. **Natural Products Rep**, [S. l.], v. 17, p. 215-234, 2001.

OLIVEIRA, V. B. *et al.* Efeito de diferentes técnicas extrativas no rendimento, atividade antioxidante, doseamentos totais e no perfil por CLAE-DAD de *Dicksonia sellowiana* (presl.). *Hook, dicksoniaceae*. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, Paulínia, v. 18, n. 1, p. 230-239, 2016.

REX, J. H. *et al.* Practice guidelines for the treatment of candidiasis. **Clinical Infectious Diseases**, [S. l.], v. 30, n. 4, p. 662-678, 2000.

SIMÕES, Cláudia Maria Oliveira *et al.* (orgs.). **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. Rio Grande do Sul: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1999.

SOBREIRA, F. C. **Avaliação da atividade antiúlcera de *Kalanchoe pinnata* (lam.) Pers (*crassulaceae*)**. 2013. 105 f. Dissertação (Mestrado em Insumos Farmacêuticos) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

SOUSA, C. M. de M. *et al.* Fenóis totais e atividade antioxidante de cinco plantas medicinais. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 2, p. 351-355, 2007.

SOUZA, M.M. *et al.* Estudo das condições de extração de compostos fenólicos de cebola (*Allium cepa* L.). **Rev Inst Adolfo Lutz**, São Paulo, v. 68, n. 2, p. 192-200, 2009.



SUPRATMAN, U. *et al.* Anti-tumor promoting activity of bufadienolides from *Kalanchoe pinnata* and *K. daigremontiana* × *tubiflora*. **Biosci Biotechnol Biochem**, [S. l.], v. 65, p. 947-949, 2001.

TORRES, D. da S. *et al.* Influência do método extrativo no teor de flavonoides de *cnidoscolus quercifolius* pohl (euphorbiaceae) e atividade antioxidante. **Química Nova**, São Paulo, v. 41, n. 7, p. 743-747, 2018.

VEIGA JUNIOR, V. F.; PINTO, A. C.; MACIEL, M. A. M. Plantas medicinais: cura segura. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 3, p. 519-528, 2005.

VIZZOTTO, M. *et al.* **Metabólitos secundários encontrados em plantas e sua importância**. Embrapa Clima Temperado-Documents (INFOTECA-E), 2010.  
Disponível em:  
<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/886074/1/documento316.pdf>.

# Incorporação de polpa de frutas na produção de cerveja artesanal do tipo Blonde Ale

*Incorporation of fruit pulp in the production of craft beer of the Blonde Ale type*

CAROLINE DA SILVA OLIVEIRA

Discente do curso de Engenharia Química (UNIPAM)  
E-mail: carolineso@unipam.edu.br

ARLEY DE BRITO MAGALHÃES SOUSA

Discente do curso de Engenharia Química (UNIPAM)  
E-mail: arleybms@unipam.edu.br

RENATA NEPOMUCENO DA CUNHA

Professora Orientadora (UNIPAM)  
E-mail: renatanepc@unipam.edu.br

---

**Resumo:** O crescente aumento no número de microcervejarias atuantes no Brasil vem atraindo uma clientela com gostos mais sofisticados no que diz respeito às cervejas artesanais, com destaque para os adjuntos incorporados ao processo cervejeiro. Visto que o país se constitui como um dos maiores produtores de cerveja e de frutas no mundo, este estudo teve por objetivo o desenvolvimento de cervejas no estilo Blonde Ale, com a adição de diferentes frutas, a fim de se confrontarem as amostras entre si e com uma cerveja controle, avaliando-as quanto a ensaios físico-químicos, bromatológicos, microbiológicos e de análise de espuma, para identificação de possíveis distinções entre os produtos. Os parâmetros físico-químicos e bromatológicos foram analisados quanto às diferenças significativas entre seus resultados. Através da análise do decaimento de espuma, averiguou-se a hipótese de comportamento de curva exponencial; para as considerações microbiológicas, observou-se a magnitude do avanço na formação de colônias de microrganismos entre intervalos de tempo. Assim, identificaram-se as principais diferenças e similaridades presentes nas amostras produzidas.

**Palavras-chave:** Cerveja artesanal. Blonde Ale. Polpa de frutas. Controle de qualidade.

**Abstract:** The growing increase in the number of microbreweries operating in Brazil has been attracting a clientele with more sophisticated tastes in terms of craft beers, with emphasis on the adjuncts incorporated into the brewing process. Since this country is one of the largest beer and fruit producers in the world, this study aimed to develop Blonde Ale style beers, with the addition of different fruits, in order to compare the samples with each other and with a control beer, evaluating them for physical-chemical, bromatological, microbiological and foam analysis tests, to identify possible distinctions between the products. The physicochemical and bromatological parameters were analyzed for significant differences between their results. Through the analysis of foam decay, the hypothesis of exponential curve behavior was investigated; for microbiological considerations, the magnitude of the advance in the formation of colonies of microorganisms between time intervals was observed. Thus, the main differences and similarities present in the produced samples were identified.

**Keywords:** Craft beer. Blonde Ale. Fruit pulp. Quality control.

---

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo a Associação Brasileira da Indústria da Cerveja, o Brasil é o terceiro maior produtor de cerveja do mundo, ficando atrás apenas da China e dos EUA. A produção nacional de cerveja totalizou, no primeiro semestre de 2016, uma produção de 6,34 bilhões de litros, o equivalente a um consumo *per capita* de 62 litros de cerveja por ano. O Sudeste é a região com maior produção de cerveja, correspondendo a 53,8% da produção nacional, seguido pelo Nordeste (23,2%) e Sul (12,3%) (CERVBRASIL, 2017).

De acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), a produção de cerveja artesanal vem crescendo. Em 2019, surgiram 320 novas cervejarias no Brasil, representando uma taxa média de 19,6% de crescimento por ano nos últimos vinte anos, 26,6% nos últimos 10 anos e 36,4% no período de 5 anos. Essas cervejas diversificadas buscam trazer inovações para sensações de aroma, textura e sabor. As regiões Sudeste e Sul concentram cerca de 90% das cervejarias artesanais do país, mas todos os estados possuem produção constatada. Contudo, mesmo com o setor em alta, as cervejarias artesanais ainda não alcançaram 1% do mercado brasileiro de cerveja (BRESSIANI, 2017; BRASIL, 2020).

Algumas microcervejarias na Região Metropolitana de Belo Horizonte (MG), possuem cervejas especiais apreciadas fora e dentro do país. Microcervejarias e inúmeros homebrewers, que detêm cervejas premiadas em concursos nacionais e internacionais, obtiveram seu reconhecimento, por receberem visitas dos chamados “mestres cervejeiros” de outros países, como Charlie Papazian, validando o trabalho dos cervejeiros (FERREIRA, 2010).

Segundo Ferreira (2010), novas ideias criam novos negócios pela obtenção de vantagem competitiva. Sendo assim, o escopo desse estudo partiu de fatos como o de que há muitas espécies fruteiras nativas e exóticas ainda pouco exploradas e que, de acordo com a Associação Brasileira dos Produtores Exportadores de Frutas e Derivados – ABRAFRUTAS, o Brasil exportou mais de 1 milhão de toneladas de frutas em 2020, efetivando a importância das fruticulturas para a economia (CÁCERES, 2003; ABRAFRUTAS, 2021).

Dentro desse contexto, pretendeu-se, por meio deste estudo, avaliar a possibilidade da incorporação de polpas de frutas na produção de cerveja artesanal, visando à obtenção de cervejas com aromas e sabores diferenciados, que também atendam às especificações das legislações vigentes, através da avaliação de metodologias de parâmetros físico-químicos, bromatológicos e microbiológicos.

## 2 REVISÃO TEÓRICA

### 2.1 SOBRE A CERVEJA

Estima-se que povos antigos já produziam bebidas alcoólicas semelhantes à cerveja desde meados de 8.000 a.C., as quais eram produzidas através da fermentação

de cereais como milho, cevada e centeio. Entre estes povos, destacaram-se na produção de bebidas fermentadas os gregos e os romanos. Durante o período de domínio do império romano, os germânicos inovaram, sendo os primeiros a adicionarem o lúpulo ao preparo da cerveja (BORGES, 2015).

A cerveja surgiu no Brasil com a chegada da família real, em meados de 1808. A primeira indústria cervejeira do país foi instituída por imigrantes europeus, que criaram uma pequena produção de mercadorias, subsequentemente criando a base da indústria brasileira (BORGES, 2015). De acordo com o Decreto nº 9.909, de 8 de julho de 2019,

cerveja é a bebida resultante da fermentação, a partir da levedura cervejeira, do mosto de cevada malteada ou de extrato de malte, submetido previamente a um processo de cocção adicionado de lúpulo ou extrato de lúpulo, hipótese em que uma parte da cevada malteada ou do extrato de malte poderá ser substituída parcialmente por adjunto cervejeiro (BRASIL, 2019).

O método de produção de cerveja pode ser considerado simples. Entretanto, a qualidade da cerveja está diretamente ligada ao domínio do processo, ou seja, ao controle das variáveis, como temperatura, tempo e tipos de matérias-primas. Isso se justifica pelo fato de esses parâmetros serem responsáveis pela influência na geração de cervejas diversificadas e com características específicas quando comparadas às encontradas normalmente no mercado. A fabricação de cerveja está condicionada ao preparo do mosto, à fermentação e à carbonatação. Desse modo, cada etapa detém parâmetros variáveis de acordo com o tipo de cerveja que se almeja produzir (KWAKITA; QUEIROZ, 2017).

## 2.2 CERVEJAS ARTESANAIS

Na última década do século XX, constatou-se a migração de interesses de uma pequena parcela de consumidores de cerveja, os quais caracterizam-se por uma busca maior por sofisticação e exigência de gostos, através da procura por produtos de maior qualidade, sem o empecilho de valores superiores aos cobrados pelo mercado convencional. Assim, atualmente, um dos produtos que mais se sobressaem são as cervejas artesanais. Contudo, diferentemente das cervejas Pilsen tradicionais, as cervejas artesanais têm como principal característica de fabricação a busca por qualidade e sabor no produto final, sendo operadas num processo fermentativo mais lento, em batelada, contendo apenas cereais maltados, não contendo corantes, aromatizantes, aditivos químicos e adjuntos, seguindo métodos antigos e obedecendo a Lei da Pureza da Cerveja, ou *Reinheitsgebot*, de 1516 (CARVALHO, 2015).

A cerveja do tipo Blonde Ale (BJCP 18A) pertence à categoria de Pale American Ale, comparável a cervejas do tipo Pilsen e Lager. Como impressões gerais, destaca-se como estilo introdutório de cerveja artesanal, orientada para o malte, muitas vezes com interesses em notas frutadas, lupadas, ou de caráter maltado. É uma cerveja bem equilibrada, refrescante e levemente ácida, apresentando aparência clara, espuma branca

persistente e amargor discreto. Com relação a estatísticas vitais, geralmente possui gravidade original entre 1,038 e 1,054, gravidade final entre 1,008 e 1,013 e teor alcoólico de 3,8 a 5,5% (BJCP, 2015; LIMA, 2019).

### **2.2.1 Matérias-primas**

A água é um componente indispensável na produção de cerveja, e suas propriedades têm grande impacto na qualidade do produto final. Portanto, deve ser potável, inodora, incolor, transparente e desprendida de sabor. Já com relação à acidez, o pH perfeito para as enzimas do malte se encontra entre 5 e 8, quando ocorre a mistura entre malte e água (SCHORK, 2015).

O malte, por sua vez, é obtido através da germinação do grão de cevada, através de um processo de germinação controlada com o intuito de desenvolver as suas enzimas e converter o amido, aumentando sua solubilidade e maciez. Entretanto, a cevada não é o único cereal maltado, sendo o trigo e o centeio também considerados como grãos maltados, apesar do maior emprego da cevada no processo de produção da cerveja, o que proporciona um sabor adocicado característico. Esse produto, então, oriundo da cevada germinada, é rico em nutrientes como proteínas, sais minerais e amido (FIGUEIREDO; CARVALHO, 2014).

O lúpulo, uma das principais matérias-primas no processo cervejeiro da cerveja, é o encarregado por ceder o sabor amargo/refrescante e o aroma acre. É uma espécie dioica, produzindo flores femininas e masculinas, pertencente à família Cannabaceae. Na fabricação de cerveja, são empregadas suas flores femininas, que possuem a substância denominada lupulina quando fecundadas, conferindo o amargor e o aroma. Contribui ainda para o controle da espuma durante a fervura, além de ser um agente bacteriostático e cooperar para a estabilidade do sabor e da espuma da cerveja (MATOS, 2011).

Utilizadas no processo de fermentação, as leveduras são seres unicelulares e pertencentes ao reino Fungi. São organismos que se alimentam de carboidratos e que são classificados como anaeróbios facultativos. Na ausência de oxigênio, as células das leveduras incorporam açúcares simples, como maltose e glicose, produzindo álcool e dióxido de carbono como produtos residuais (MATOS, 2011; FIGUEIREDO; CARVALHO, 2014).

### **2.2.2 Processo produtivo**

Após os grãos de cevada serem maltados e triturados, ocorre a brassagem, etapa correspondente à transformação do amido do malte em outros carboidratos, por meio do processo enzimático de sacarificação. A brassagem tem como resultado a formação do mosto, solução açucarada que é encaminhada à fervura (mosturação). Uma vez que as enzimas sejam ativadas, eleva-se a temperatura do mosto até 75°C para desativá-las (SCHORK, 2015).

Com o processo de mosturação concluído, passa-se para a filtração do mosto, que tem por objetivo a separação do líquido sacarificado dos sólidos indesejáveis, cujas substâncias podem interferir na cerveja quanto a parâmetros físicos, como viscosidade e

visual, e sensoriais, como sabor e odor. Todavia, a torta do filtrado é rica em proteínas, enzimas coaguladas, resquídeos de amido não modificados, material graxo, silicatos e polifenóis (MATOS, 2011).

A fervura visa a esterilizar a polpa maltada, extrair o aroma e o sabor amargos do lúpulo, solubilizar as leveduras, concentrar a solução, desenvolver cor e desnaturar as proteínas ainda presentes após a filtração. Após a fervura, é imprescindível resfriar o mosto rapidamente para se evitem a contaminação por microrganismos, a oxidação e a formação de DMS (dimetil sulfeto), que pode ser provocada por bactérias ou calor quando estes reduzem a SMM (S-metil-metionina), deixando a cerveja com sabor rançoso (MATOS, 2011).

Após o resfriamento, a solução é levada ao fermentador onde ocorre a bio-reação, que transforma a sacarose em etanol e dióxido de carbono, sob condições anaeróbicas. Também são sintetizados compostos de sabor e aroma, criando-se as características da cerveja. A maturação, que tem como objetivo refinar esses caracteres, pode ocorrer no fermentador, por método, ou ainda juntamente com a gaseificação na garrafa, com adição de açúcar inverso, chamado de *priming*. A gaseificação ou carbonatação consiste na injeção de *priming* na cerveja, e é seguida pelo envasamento da cerveja, com propósito de gerar o dióxido de carbono, que é o responsável pela formação do colarinho (espuma) da mesma (MATOS, 2011; SCHORK, 2015).

### 2.3 CERVEJAS COM ADIÇÃO DE FRUTAS

A fruticultura do Brasil está entre um dos principais geradores de renda, emprego e desenvolvimento rural do agronegócio, sendo o país o terceiro maior produtor de frutas do mundo, atrás apenas da China e da Índia. As frutas desempenham um papel importante, tanto pelo desejo de consumi-las quanto pela saúde que proporcionam, devido à presença de uma vasta gama de vitaminas, minerais e fibras (RUFINO, 2008).

Interessadas na diversidade da fruticultura brasileira, as indústrias alimentícias têm buscado frutas como uma fonte de inovação e alternativa na obtenção de novos sabores aos produtos, como no caso de cervejarias. Dentro desse contexto, frutas como cajá-manga (*Spondias dulcis*, Anacardiaceae), cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*, Sterculiaceae), graviola (*Annona muricata*, Annonaceae) e tamarindo (*Tamarindus indica* L., Leguminosae) poderiam fornecer novos sabores à cerveja, diante de uma prospecção acerca das características gerais do seu cultivo e desenvolvimento como planta, bem como de seus teores nutricionais.

Nesse sentido, a sistematização da composição dos alimentos por meio de registros analíticos mostra-se de extrema importância para o Brasil, para lidar com pautas como segurança alimentar e nutricional ou controle de qualidade dos alimentos, além de ser um alicerce na orientação da produção da indústria de alimentos, no desenvolvimento de novos produtos e no apoio à preservação da biodiversidade nacional (Tabela Brasileira de Composição de Alimentos – TACO, 2011). A Tabela 1 traz uma revisão de alguns parâmetros de valores nutricionais para as frutas descritas, objetivando melhor visualização e avaliação para escolha, ao contrapor os potenciais oferecidos por cada espécie.

**Tabela 1:** Valores nutricionais para as frutas apresentadas, em base úmida

Fruta	Componentes nutricionais*					
	Umidade	Fibra	Cinzas	Proteína	Lipídio	Carboidratos
Cajá-manga <sup>1,2</sup>	86,90	2,60	0,40	1,30	0,05	11,40
Cupuaçu <sup>2,3</sup>	89,20	3,10	0,65	1,20	0,30	5,21
Graviola <sup>2</sup>	82,20	1,90	1,00	0,80	0,20	15,80
Tamarindo <sup>4</sup>	31,22	5,19	2,96	4,16	0,99	5,90

\* Valores expressos em composição centesimal [g/100 g de fruta], sem disposição dos desvios.

Fonte: NEPA; UNICAMP (2011); Ferreira e Pinto (2017); Franklin e Nascimento (2020); Ferreira (2018).

A Tabela 2 visa a expor, em um apanhado geral, os principais dados obtidos por outras autorias cujas pesquisas permearam os mesmos eixos temáticos deste estudo, além de explicitar as diferentes abordagens metodológicas aplicadas.

INCORPORAÇÃO DE POLPA DE FRUTAS NA PRODUÇÃO DE CERVEJA ARTESANAL  
DO TIPO BLONDE ALE

**Tabela 2:** Amostragem de estudos que abordam adição de frutas à formulação de cerveja artesanal

Fruta adicionada	Tipo de cerveja	Quantidade de polpa*	Formato de polpa	Etapa de adição	Conclusões obtidas pelos autores
Acerola ( <i>Malpighia emarginata</i> DC)	Blonde Ale	1000,0 g 1200,0 g (12 L)	Frutas trituradas inteiros e adicionados por meio de voal (sem pasteurização)	Fervura	O aumento na umidade provocou uma redução no teor alcoólico, ao passo que as cervejas escureceram de forma sutil devido à coloração da casca e da polpa de fruta.
Atemoia ( <i>Annona cherimoia</i> Mill.; <i>Annona squamosa</i> L.)	Pilsen	8,5% (p/v)	Frutas sanitizadas em solução de hipoclorito de sódio, lavados e despolpados (sem pasteurização)	Fermentação	A adição das polpas não aumentou a acidez das cervejas em relação à cerveja sem frutas, por serem frutas pouco ácidas. Porém, a adição de frutas com altos teores de açúcares contribuiu para o aumento dos teores alcoólicos das cervejas.
Sapoti ( <i>Manilkara sapota</i> L.)		17% (p/v)		Fervura	A cerveja com adição da manga na fervura apresentou maior aceitação em relação ao método com adição na fermentação. O mesmo método apresentou valores maiores para a graduação alcoólica e acidez total.
Manga ( <i>Mangifera indica</i> L.)	American Pale Ale	200,0 g (10 L)	Fruta descascada e despolpada (polpa pasteurizada)	Fermentação	
Maracujá ( <i>Passiflora edulis</i> )	Pilsen	120,0 mL 60,0 mL 30,0 mL (5 L)	Filtrada e congelada, adição <i>in natura</i> (sem pasteurização)	Priming	O teor alcoólico e o pH se mantiveram pouco abaixo da amostra controle. Os tratamentos com maior percentual de polpa apresentaram menores teores de açúcares e maior capacidade antioxidante.
Tamarindo ( <i>Tamarindus indica</i> L.)	Saison Ale	1,5 g/L	Filtrada e pasteurizado	Fervura e maturação	As análises físico-químicas demonstraram-se aceitáveis ao processo, porém houve elevação do teor alcoólico.

\* Valores relativos aos dados de produção total utilizados pela metodologia de cada autor em questão.

Fonte: Adaptação de Fernandes (2017), Freire (2018), Souza e Freitas (2016), Sorbo (2017), Carneiro (2016), respectivamente.



### 3 METODOLOGIA

A produção da cerveja foi realizada no Laboratório de Engenharia Química (LEQ) do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), na microcervejeira da Instituição (MecBier – MEC50C 002). Com relação às matérias-primas, o malte de cevada foi adquirido através de fornecedor próprio, enquanto o lúpulo e as leveduras foram adquiridos diretamente no mercado local. Quanto aos adjuntos, as polpas de frutas foram obtidas já processadas no varejo local, sendo mantidas sob refrigeração em freezer, à temperatura aproximada de  $-18^{\circ}\text{C}$  até o momento de sua utilização, de acordo com a metodologia adotada. Durante o processo, os equipamentos e demais utensílios foram previamente higienizados com soluções de ácido peracético e de etanol, contribuindo para a esterilização dos meios utilizados e fornecendo condições favoráveis para um bom controle da qualidade do produto final.

As posteriores análises das amostras foram realizadas nos seguintes laboratórios do UNIPAM: Laboratório de Engenharia Química (LEQ), Laboratório de Química Analítica, Laboratório de Nutrição Animal e Bromatologia, Laboratório e Central de Análises de Fertilidade do Solo, e Laboratório de Microbiologia.

#### 3.1 AS POLPAS DE FRUTA

Para sua inclusão no processo de produção da cerveja, as polpas foram conduzidas a um novo processo de pasteurização, a fim de se reafirmar a eficácia do processo industrial já indicado pelo fabricante. Assim, esse tratamento térmico ocorreu com as polpas ainda lacradas (em sua forma comercial), utilizado uma temperatura de  $80\pm 3^{\circ}\text{C}$  por 15 minutos, sendo, em seguida, resfriadas em freezer e reservadas até inclusão na formulação da cerveja (SOUZA; FREITAS, 2016). Os extratos das frutas foram adicionados na segunda parte da etapa maturação, em relação estequiométrica, de modo a se evitar a supercarbonatação da cerveja, que pode ocasionar a explosão de garrafas por excesso de concentração de carboidratos.

#### 3.2 A CERVEJA ARTESANAL

As cervejas artesanais foram elaboradas com adição de diferentes percentuais de polpas de frutas, utilizando-se 200 g de cajá-manga, 200 g de cupuaçu, 400 g de graviola e 300 g de tamarindo. Para o confronto entre os resultados, foi ainda elaborada a cerveja denominada controle, a qual não foi acrescida de polpa de fruta. Para a produção da cerveja no estilo Blonde Ale, receita com rendimento previsto de 50 L, foram utilizados 3,5 kg de malte Vienna, 2,5 kg de malte Caramel Pils, e 5,0 kg de malte Pilsen. O lúpulo de aroma e amargor utilizado foi do tipo Cascade (100 g). Já para a fermentação, foi utilizado o fermento US-05 (3 unidades). A produção da cerveja foi realizada mediante o desenvolvimento das etapas descritas a seguir.

### 3.2.1 Preparo da água e moagem dos maltes

Para a produção da cerveja, foi utilizada água filtrada em carvão ativado. No Tanque 1, foram adicionados 24 L de água, à temperatura de 80°C, sendo mantidos em reserva para posterior lavagem do malte preparado. A moagem dos maltes foi realizada em moinho de roscas, levando-se em consideração a granulometria ótima.

### 3.2.2 Brassagem ou mostura

A brassagem foi efetuada no Tanque 1, adicionando-se 50 L de água, aquecendo-a até a temperatura de 66°C. Após a adição dos maltes, manteve-se o aquecimento por 60 minutos entre 65 e 69°C, com o tanque tampado e sob agitação. Ao final do tempo, o teor de sólidos solúveis se encontrava em 16,25°Brix. Em seguida, o mosto foi submetido à etapa de Mash Out, operando à temperatura de 75 a 78°C por período de 10 minutos, para inativar as enzimas.

### 3.2.3 Filtragem, lavagem e clarificação do mosto

A filtração foi realizada pela passagem da mistura mosto-bagaço pelo filtro, a fim de se obter o mosto primário, livre ao máximo de partículas sólidas. A clarificação do mosto ocorreu pela reciclo entre os tanques e pela adição da água de lavagem sobre a torta formada pelo próprio bagaço de malte. Após a obtenção do líquido límpido, fez-se a medição do °Brix da mistura, obtendo-se valor de 10,25°Brix. O mesmo foi então transferido para o Tanque 1 para a fervura.

### 3.2.4 Fervura e lupagem

Na temperatura de 100°C, o mosto foi mantido sob agitação por tempo de 60 minutos, sendo adicionados 100 g de lúpulo Cascade e pastilha de coagulante, distribuídos ao longo do período definido. Ao final da fervura, realizou-se a agitação rápida por 10 minutos, deixando-o em repouso por 20 minutos, conduzindo-o à decantação do lúpulo e à retirada da parte com maior concentração do resíduo. Foi então realizada nova aferição do teor de sólidos solúveis, alcançando-se valor de 12,50°Brix após o processo.

### 3.2.5 Ativação do fermento, fermentação e maturação

A ativação do fermento (*Saccharomyces cerevisiae*) se fez por meio de hidratação à 19°C. O mosto foi conduzido à passagem em trocador de calor e nova filtração, em filtro fino, sendo transferido para o fermentador refrigerado (MecBier 728), no qual foi adicionada a levedura. A fermentação ocorreu na temperatura de operação de 15 a 20°C por 7 dias. A primeira parte da maturação ocorreu no próprio fermentador, por 7 dias, sendo a temperatura reduzida a 4°C, para a decantação e a retirada do fermento. Na segunda fase, houve a realocação da cerveja para baldes hermeticamente esterilizados e vedados (com utilização de airlock do tipo S), utilizando-se um volume de 8 litros

(submetidos a nova filtração) por balde, e adicionando-se as quantidades definidas das polpas de fruta, por um período de 7 dias, sob temperatura de 0 a 4°C.

### **3.2.6 Carbonatação, envasamento**

A carbonatação das cervejas foi feita pela adição de 5 g de *primming* em cada garrafa. As amostras filtradas foram envazadas em garrafas de 600 mL e mantidas por 10 dias à temperatura ambiente, o que induz à refermentação dentro das garrafas, proporcionando a carbonatação da bebida. De acordo com a média de °Brix antes do envasamento, resultado de 6,00°Brix para todos os tipos de cerveja produzidos, foi possível prever teor alcoólico aproximado de 5,59% para as amostras.

## **3.3 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS**

As análises físico-químicas se basearam nas metodologias propostas pelo Instituto Adolf Lutz – IAL (2008), *European Brewery Convention – EBC* (2005), e Rosenthal (2018).

### **3.3.1 Teor de sólidos solúveis e pH**

Os valores de pH foram determinados utilizando-se pHmetro (Alfa Mare 22.906). Já as medições do teor de açúcares totais foram realizadas através da avaliação do grau Brix, utilizando-se de refratômetro de bancada (Biobrix 500.227).

### **3.3.2 Colorimetria**

A coloração das amostras foi medida pelo método de espectrofotometria, com leituras para o comprimento de onda de 430 nm. O equipamento (GENESYS 10UV) foi calibrado e zerado com água deionizada em cubeta de quartzo. Utilizando-se o mesmo recipiente, fez-se então a leitura das amostras, cuja absorbância foi utilizada para aferição da cor. Os resultados foram expressos em EBC, de modo que o fator multiplicativo de atenuação (para cubetas de 10 mm) corresponde a 12,7 e o fator de conversão SRM-EBC é de 1,97.

### **3.3.3 Densidade absoluta**

A densidade absoluta foi calculada com base no método do picnômetro, que consiste na medição da massa de um volume conhecido de líquido. Utilizou-se de balança analítica (SHIMADZU ATX224) para as aferições. Com as massas do recipiente vazio e de água à 26,6°C, calculou-se o volume real comportado pelo recipiente. Assim, mediram-se as massas de cerveja, em temperatura média de 24,0°C, e calcularam-se as densidades, as quais foram expressas em g/cm<sup>3</sup>.

### 3.3.4 Teor alcoólico

A graduação alcóolica das cervejas artesanais foi determinada com a utilização dos resultados de densidade absoluta encontrados (FG). Dessa forma, foi calculada aproximação da densidade antes da etapa de fermentação (OG), por meio do resultado de °Brix de 10,50°Bx aferido durante o processo produtivo, equivalente à densidade original de 1,049. Os resultados foram expressos em %ABV (v/v), utilizando-se fator de conversão igual a 131,25.

### 3.3.5 Acidez titulável

A análise de acidez titulável foi realizada pela transferência de 50 mL da amostra para um erlenmeyer de 500 mL. Após a adição de 0,5 mL do indicador ácido-base fenolftaleína, realizou-se titulação com solução padronizada de NaOH a 0,1 mol.L<sup>-1</sup>, até obtenção de coloração rósea. O teor de acidez titulável foi expresso em % (m/v), em relação à massa miliequivalente do ácido acético, correspondente a 0,06005.

## 3.4 ANÁLISES BROMATOLÓGICAS

As análises bromatológicas foram executadas de acordo com as metodologias descritas por Silva e Queiroz (2002) e Detmann *et al.* (2012).

### 3.4.1 Matéria seca e matéria mineral

A matéria-seca (%ASE) foi determinada por método gravimétrico em estufa (NEVONI NV 1.3) a 105°C, por 12 horas, a partir da pesagem de 10 g de amostra (ASA). O teor de matéria mineral (cinzas) ocorreu por meio da condução das mesmas cápsulas de porcelana com amostra pré-seca para forno tipo mufla (FORNITEC), durante 4 horas, a 500 °C. Após seu resfriamento em dessecador, as amostras foram pesadas novamente, e foi realizado o cálculo dos resultados, indicados em porcentagem.

### 3.4.2 Proteína bruta

O teor de proteína bruta foi determinado pelo método de Kjeldahl, que quantifica o nitrogênio orgânico total. A análise se baseou na pesagem de 0,15 a 0,30 g de cerveja e no aquecimento contínuo das amostras com ácido sulfúrico para digestão, de 50 em 50°C até 400°C, até a oxidação do carbono e do hidrogênio. Assim, todo o nitrogênio presente na amostra transforma-se em sulfato de amônio. Em seguida, destilaram-se as amostras digeridas, em destilador de hidrogênio (TECNAL TE-0364), fazendo-se a adição de hidróxido de sódio, liberando amônia dentro de volume conhecido de solução de ácido bórico, formando borato de amônio. O composto formado foi então titulado com solução padronizada de ácido clorídrico a 0,05 mol.L<sup>-1</sup>. Os teores foram expressos em porcentagem, partindo do fator de conversão nitrogênio-proteína (6,25) e do miliequivalente-grama do nitrogênio (0,014).

### 3.5 ANÁLISES DE ESPUMA

As análises de espuma das cervejas foram realizadas com adaptações das metodologias propostas por Leike (2002) e Sahara ([201-?]). Para a avaliação do decaimento exponencial da espuma nas amostras, utilizou-se de proveta de 5 cm de diâmetro (500 mL) e cervejas ainda lacradas e refrigeradas. As bebidas foram abertas e, em seguida, derramou-se o fluido a uma altura de 40 cm da base da bancada, até que a espuma atingisse a marca de 500 mL. Assim que a espuma se ajustasse acima do nível, eram iniciadas as marcações (em cm) e a contagem, com intervalos de 15 segundos para os primeiros 2 minutos, 30 segundos até os 5 minutos de análise, e 60 segundos até que a espuma esmaecesse. O volume final aproximado das amostras, sem espuma, foi de  $213 \pm 30$  mL. A partir da coleta dos dados, estes foram plotados para considerações quanto ao comportamento dos pontos e da curva formada, bem como para a determinação de equações exponenciais do tipo  $y = A \cdot e^{B \cdot x}$  e verificação da validade da hipótese para o presente estudo. A lei de decaimento exponencial parte do princípio de que o volume de espuma  $dV$  que desaparece no tempo  $t + dt$  é proporcional ao volume  $V$  presente no momento  $t$ , de modo que  $dV = -(V/\tau)dt$ . Num recipiente de área  $A$ , esse volume é também proporcional à altura  $h$ , tal que  $dV = Adh$ . Desse modo, essa teoria fenomenológica propõe a altura como sendo uma função do tempo, conforme a Equação 1.

$$h^{th}(t) = h(0) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (1)$$

Em que:  $h^{th}(t)$  = altura da espuma no tempo  $t$  [cm];  $h(0)$  = altura da espuma para  $t = 0$  [cm];  $t$  = tempo de decaimento [s];  $\tau$  = parâmetro livre da teoria, define o quão rápido a espuma decai.

A partir do modelo de decaimento, é possível estimar se há diferença entre o tipo das cervejas do experimento, por meio do cálculo da constante  $\tau$ , visto que diferentes tipos de cerveja geralmente apresentam valores distintos para o parâmetro livre em questão. A equação foi então linearizada, para melhor visualização e cálculo das variáveis, como indicada a Equação 2. Como a plotagem de dados pode gerar linhas de tendência do tipo  $y = B \cdot x + A$ , realizou-se tratamento das variáveis por meio do método dos Mínimos Quadrados (MQ), para a obtenção de equações com comportamento  $y = B \cdot x$ , proporcionando uma melhor correlação entre os pontos da reta e melhor adequação ao modelo analisado.

$$\ln\left(\frac{h^{th}(t)}{h(0)}\right) = -\frac{t}{\tau} \quad (2)$$

### 3.6 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS

As análises foram realizadas tendo por base as metodologias propostas por Silva *et al.* (2007), Tófoli (2014), Ribeiro e Soares (1993), e Pelczar, Chan e Krieg (1996). Realizou-se a contagem padrão de bactérias aeróbicas mesófilas, sem duplicata, sendo

as placas de Petri incubadas à temperatura de 37°C, nos períodos de 24 e 48 horas em estufa bacteriológica (Nova Ética INCUBADORA B.O.D. 411 D), utilizando-se PCA (Ágar Plate Coute) como meio de cultura. Também foi conduzida a investigação da presença de coliformes totais e termotolerantes através da técnica de Número Mais Provável (NMP), utilizando-se de 3 séries de 3 tubos ( $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ ) com CLST (Caldo Lauril Sulfato Triptose), alocados também em estufa bacteriológica. Já na análise para bolores, utilizou-se PDA (Ágar Batata Dextrose) como meio de cultura, sem duplicata, sendo as placas incubadas à temperatura de 25°C de 3 a 5 dias, em estufa fúngica (OLIDEF CZ). Para fins de visualização em microscópio de luz (KEN-A-VISION TT120), submeteram-se as placas de PCA ao método de coloração de Gram, enquanto as placas de PDA foram analisadas segundo a técnica de *imprinting* com azul de algodão.

### 3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise estatística dos resultados físico-químicos e bromatológicos foi realizada por meio de análise de variância (ANOVA), sendo as médias dos resultados comparadas pelo teste de Tukey, considerando nível de significância de 5% ( $p < 0,05$ ). Para tanto, foi utilizado o software livre R (versão 4.0.4), além de Microsoft Excel 2019 e PAST (versão 4.05).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o objetivo de produzir cervejas com aromas diferenciados, as polpas de frutas vêm sendo adicionadas como adjunto na produção de cerveja artesanal, pois, além do sabor frutado característico, as frutas são também fontes de açúcares para que as leveduras realizem a fermentação alcoólica e podem agregar mais ao processo por possuírem elevados teores nutricionais. Sendo assim, avaliou-se a adição de polpa das frutas cajá-manga, cupuaçu, graviola e tamarindo na formulação cervejeira, em comparação com uma amostra controle.

### 4.1 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E BROMATOLÓGICAS

Os resultados explicitados na Tabela 3 apresentam as análises físico-químicas e bromatológicas para a cerveja, provenientes da incorporação das polpas das frutas e da amostra padrão, sem a adição de adjunto. Os valores são apresentados em médias e desvios padrão, em triplicata, para cada uma das cinco amostras de cerveja desenvolvidas.

**Tabela 3:** Propriedades físico-químicas e bromatológicas das cervejas artesanais produzidas

Parâmetros	Cerveja*				
	Controle	Cajá-manga	Cupuaçu	Graviola	Tamarindo
Teor alcoólico [%ABV]	5,74 ± 0,06 <sup>a</sup>	5,83 ± 0,11 <sup>a</sup>	5,76 ± 0,08 <sup>a</sup>	5,80 ± 0,06 <sup>a</sup>	5,73 ± 0,04 <sup>a</sup>
Densidade [g/cm <sup>3</sup> ]	1,01 ± 5E-4 <sup>a</sup>	1,00 ± 9E-4 <sup>a</sup>	1,01 ± 6E-4 <sup>a</sup>	1,00 ± 4E-4 <sup>a</sup>	1,01 ± 3E-4 <sup>a</sup>
pH	4,45 ± 0,01 <sup>a</sup>	4,22 ± 0,01 <sup>b</sup>	4,33 ± 0,01 <sup>c</sup>	4,31 ± 0,01 <sup>c</sup>	3,85 ± 0,03 <sup>d</sup>
Sólidos solúveis [°Brix]	6,08 ± 0,14 <sup>a</sup>	6,08 ± 0,38 <sup>b</sup>	5,92 ± 0,14 <sup>c</sup>	5,83 ± 0,14 <sup>c</sup>	5,42 ± 0,14 <sup>d</sup>
Proteína bruta [%]	14,03 ± 3,26 <sup>a</sup>	17,96 ± 7,35 <sup>a</sup>	19,53 ± 8,77 <sup>a</sup>	13,05 ± 1,32 <sup>a</sup>	15,70 ± 0,61 <sup>a</sup>
Acidez titulável [%]	0,32 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,24 ± 0,01 <sup>b</sup>	0,26 ± 0,01 <sup>bc</sup>	0,28 ± 0,01 <sup>cd</sup>	0,29 ± 0,01 <sup>ad</sup>
Cinzas [%]	4,81 ± 0,11 <sup>a</sup>	3,56 ± 0,36 <sup>a</sup>	4,17 ± 0,28 <sup>a</sup>	4,17 ± 1,76 <sup>a</sup>	4,12 ± 0,68 <sup>a</sup>
Cor [EBC]	12,93 ± 0,22 <sup>a</sup>	12,65 ± 0,10 <sup>a</sup>	15,24 ± 0,22 <sup>b</sup>	18,51 ± 0,19 <sup>c</sup>	12,76 ± 0,14 <sup>a</sup>

\* Médias seguidas por índices diferentes nas linhas indicam  $p < 0,05$  (Teste de Tukey).

Fonte: dados da pesquisa, 2021.

Os resultados apresentados para teores alcoólicos foram avaliados a partir da massa específica, segundo IAL (2008). De acordo com Brasil (2009), as cervejas devem apresentar teores alcoólicos superiores a 4,5% v/v. Ressalta-se que todas as cervejas possuem teores alcóolicos superiores ao estabelecido por Brasil (2009), sendo que a adição de polpa de frutas não promoveu alterações desse parâmetro. Valores superiores a 4,5% v/v eram esperados, por se tratar de uma cerveja com adjunto rico em açúcares fermentescíveis (BRUNELLI, 2012). Resultados similares foram obtidos por Carneiro (2016) em cervejas acrescidas de tamarindo. Entretanto, nem todos os autores obtiveram valores elevados, sendo que Maia e Belo (2017) obtiveram teor de 3,35% v/v ao adicionar graviola à cerveja, considerada como de médio teor alcoólico.

Segundo Araújo (2018), a cerveja do tipo Pale Ale possui pH ácido, correspondido na faixa de 4 a 5. Os resultados encontram-se dentro dos limites estabelecidos, exceto para a cerveja acrescida de polpa de tamarindo. Carneiro (2016) constatou que o acréscimo de polpa de tamarindo contribui para o decréscimo do pH, fato esse que se deve ao baixo pH da referida polpa. A redução do pH também se mostrou presente em cervejas constituídas pelos adjuntos mirtilo e morango. Vogel (2017) afirma que a adição de frutas colabora para a redução do pH. Manter-se abaixo do valor de referência indica contribuição para a redução de riscos quanto à contaminação de microrganismos patogênicos (ARAÚJO, 2018).

Quanto aos valores de sólidos solúveis totais, nota-se que valores similares ao controle foram obtidos para a cerveja acrescida de cajá-manga. Entretanto, valores ligeiramente inferiores foram obtidos para as cervejas constituídas pelos demais adjuntos. Vogel (2017) encontrou valor inferior ao da cerveja controle. Segundo discussão do mesmo autor, os sólidos solúveis totais em cervejas artesanais frutadas representam os açúcares fermentescíveis e colaboram no processo fermentativo, podendo interferir no pH e na cor.

Valores distintos ao da cerveja controle foram obtidos para os teores de proteína, sendo que o acréscimo de cupuaçu, tamarindo e cajá-manga contribuíram para o aumento desse parâmetro, fator que não foi evidenciado na cerveja com polpa de graviola. Sorbo (2017) obteve valores inferiores, devido ao baixo teor proteico da polpa do maracujá. Ressalta-se que a determinação do teor de proteína baseia-se na determinação de nitrogênio, feita pelo processo de digestão Kjeldahl, em que a matéria orgânica é decomposta e o nitrogênio existente é finalmente transformado em amônia. A presença de substâncias nitrogenadas colabora para o processo de fermentação, pois estas são fontes de nutrientes para a reprodução das leveduras.

As cervejas apresentaram valores de acidez em torno de 0,3, dentro da faixa estabelecida por Venturini (2005), de 0,1 a 0,3%. Nota-se que a adição de polpa de frutas contribuiu para o ligeiro decréscimo dos teores de acidez total. Contudo, pesquisas realizadas por Carneiro (2016) com cervejas acrescidas de tamarindo indicam que a adição de fruta contribuiu para elevação da acidez em seus diferentes tratamentos, chegando a 0,59%. Maia e Belo (2017) obtiveram acidez de 0,26% m/v com a incorporação de graviola, resultado esse similar ao encontrado no trabalho em questão.

Quanto aos resultados obtidos para cinzas, verifica-se que estes se encontraram próximos aos da cerveja controle, exceto para o tamarindo, ligeiramente inferior.

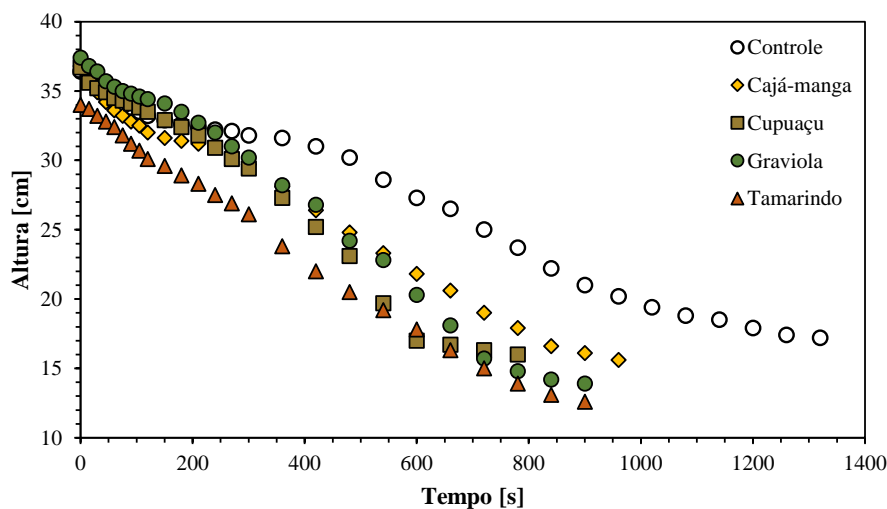
Segundo a Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA (2010), todas as amostras de cerveja podem ser classificadas como claras, por possuírem resultados de cor menor que 20 EBC. A cerveja com graviola, mesmo apresentando o valor inferior a 20, apresentou uma coloração mais escura que as demais, pois revelou 18,51 EBC. Maia (2017) obteve valor superior, da ordem de 25,5 EBC, em cervejas com frutas, tal fato sendo justificado pelo tipo de malte adotado na composição do produto.

#### 4.2 ANÁLISES DE ESPUMA

A estabilidade de espuma em uma cerveja é uma das características principais para sua aceitação no mercado. A espuma constitui-se essencialmente de proteínas de alto peso molecular, advindas do malte e de isomulonas, resinas provenientes do lúpulo (ROSA; AFONSO, 2015). Para a análise e avaliação da hipótese do decaimento exponencial de espuma nas amostras de cerveja, a Figura 1 representa a comparação entre os pares definidos.



**Figura 1:** Plotagem de dados de análise do decaimento de espuma nas amostras de cerveja



Fonte: dados da pesquisa, 2021.

Por meio da verificação do gráfico, observa-se que, nos primeiros 120 segundos, todas as curvas tendem a se comportar de forma retilínea, evidenciando um decaimento inicial mais contínuo. A partir desse ponto até cerca de 300 segundos, a curva adquire comportamento mais desacelerado e com menor variação na altura, podendo tratar de fatores do ambiente ou como uma consequência energética do movimento linear no primeiro estágio da curva. Em seguida, os pontos tomam forma que mais se assemelha com uma curva do tipo exponencial, até o final do nível de espuma de cada amostra de cerveja.

É possível notar que cada tipo de bebida demonstrou duração de espuma diferente, o que remete à influência da adição de adjuntos na formulação da cerveja, visto que o tipo controle foi o que indicou melhor estabilidade, e que os tipos frutados se apresentam com distribuição semelhante entre si. A Tabela 4 demonstra as equações de decaimento exponencial obtidas.

**Tabela 4:** Determinação de linhas de tendência exponencial para o decaimento de espuma

Cerveja	Equação	B	A	R <sup>2</sup>
Controle	$h(t) = 36,699 \cdot e^{-6 \cdot 10^{-4} \cdot t}$	-0,0006	36,699	0,9768
Cajá-manga	$h(t) = 36,631 \cdot e^{-9 \cdot 10^{-4} \cdot t}$	-0,0009	36,631	0,9858
Cupuaçu	$h(t) = 38,325 \cdot e^{-0,001 \cdot t}$	-0,001	38,325	0,9630
Graviola	$h(t) = 39,7 \cdot e^{-0,001 \cdot t}$	-0,001	39,700	0,9708
Tamarindo	$h(t) = 35,044 \cdot e^{-0,001 \cdot t}$	-0,001	35,044	0,9950

Fonte: dados da pesquisa, 2021.

Analisando-se os coeficientes das equações dadas, infere-se que as amostras apresentam comportamento bastante correlato ao exponencial e que há semelhança entre todos os tipos de cerveja, especialmente para as bebidas com adição de cupuaçu, graviola e tamarindo. Nesse sentido da averiguação da real semelhança entre os tipos de

cerveja discutidos, aplicaram-se os mesmos dados ao modelo linearizado da lei exponencial de decaimento, a fim de se calcular a constante  $\tau$ , como descrito na Tabela 5.

**Tabela 5:** Determinação da constante de decaimento exponencial por meio do modelo linearizado

Cerveja	Regressão Linear			Aplicação do Método MQ ( $A' = 0$ )		
	B	A	R <sup>2</sup>	B'	R <sup>2</sup> '	$\tau$
Controle	-0,0006	0,0089	0,9758	-0,0006	0,9898	1750,1417
Cajá-manga	-0,0009	-0,0051	0,9850	-0,0009	0,9940	1122,8151
Cupuaçu	-0,0012	0,0483	0,9624	-0,0011	0,9764	942,7177
Graviola	-0,0012	0,0660	0,9711	-0,0011	0,9778	951,7476
Tamarindo	-0,0011	0,0334	0,9952	-0,0011	0,9960	918,3583

Fonte: dados da pesquisa, 2021.

Diante da plotagem do modelo e dos coeficientes angular (B), linear (A) e de determinação (R<sup>2</sup>) dados pela linha de tendência inicial, foi aplicado o método dos Mínimos Quadrados (MQ), com o objetivo de se definir a interseção das retas de equação para coincidir com a origem do plano cartesiano ( $A = 0$ ), de modo a se adequar mais ao modelo de definição e a reduzir desvios relacionados a erros experimentais. Por meio disso, visto que foi encontrada uma melhor correlação gráfica entre os pontos, foi possível o cálculo da constante de decaimento exponencial ( $\tau$ ) para cada amostra do ensaio.

Como essa mesma constante também define diferentes valores paramétricos para tipos diferentes de cerveja, fez-se a contraposição dos resultados encontrados. As cervejas com adição de cupuaçu, graviola e tamarindo apresentaram-se praticamente idênticas, enquanto o tipo com cajá-manga distanciou-se um pouco das demais, apesar de ainda se encontrar próxima quando comparada com a cerveja controle. Em síntese, observou-se que as cervejas com adição de polpa de frutas são muito semelhantes entre si, mas constituem-se com certa diferença com relação ao tipo controle, tomando por base tanto a constante  $\tau$  quanto a distribuição exponencial dos pontos no decaimento da espuma das cervejas do estudo.

#### 4.3 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS

O controle microbiológico na produção de cerveja tem grande importância na manutenção dos parâmetros do controle de qualidade do produto final, de modo que cada levedura ou microrganismos presentes garantem propriedades sensoriais e físico-químicas particulares a cada bebida produzida (BARRETO, 2019). A Tabela 6 apresenta os resultados para as análises microbiológicas do presente estudo.

**Tabela 6:** Resultados das análises microbiológicas para as cervejas produzidas

Parâmetros		Cerveja				
		Controle	Cajá-manga	Cupuaçu	Graviola	Tamarindo
Bactérias [UFC/mL]	D3*	1092	381	158	1131	229
	D4*	2379	5785	6058	> 5600	3757
Coliformes [NMP/100 mL]	10 <sup>-1</sup>	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
	10 <sup>-2</sup>	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
	10 <sup>-3</sup>	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Bolores [UFC/mL]	D3*	1755	26	32	92	12
	D4*	2405	87	126	226	88
	D5*	3380	168	184	319	117

\* Relação de dias após inoculação, com contagem sequencial no intervalo de 24 horas.

Fonte: dados da pesquisa, 2021.

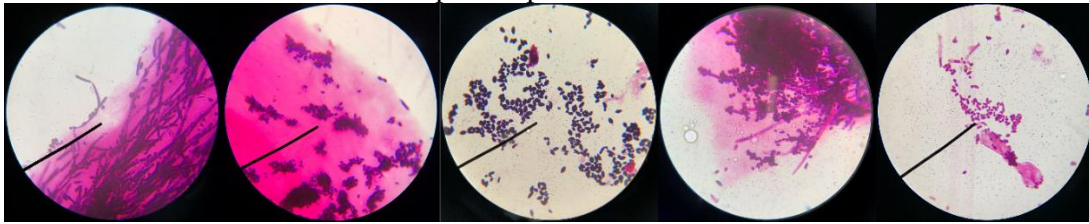
Na contagem de bactérias aeróbicas mesófilas, foi avaliado o crescimento das colônias num período de 24 horas após a primeira medição. Observou-se que todas as amostras apresentaram crescimento significativo, com exceção da cerveja controle, que se manteve mais estável em relação às cervejas frutadas. De acordo com a ANVISA (2010), o valor limite estipulado de mesófilos para cervejas é de até 3000 UFC/mL, de modo que, em D3, todas se adequaram ao padrão, mas, em D4, apenas a cerveja controle ainda se manteve dentro dos parâmetros legalmente permitidos.

Conforme os resultados indicam, não foi notada a produção de gás, nos tubos de análise, de coliformes totais e termotolerantes para nenhuma amostra nem concentração, o que se deduz como ausência para esse tipo de microrganismos. Tófoli (2014) infere que, para essa análise, os níveis de coliformes em cervejas devem ser indetectáveis tanto na água como em malte e adjuntos, em 100 mL de água, de modo que todos os tipos de cerveja da pesquisa se encontraram dentro do padrão estabelecido.

Para a contagem de colônias de bolores, foram feitas três aferições sucessivas em períodos de 24 horas. Desse modo, para todas as amostras, houve crescimento progressivo nos dias avaliados, destacando-se os valores consideravelmente mais significativos para a cerveja controle, em relação aos outros tipos. Segundo a ANVISA (2010), o limite aceitável tanto para bolores quanto para leveduras é de 100 UFC/mL, o que indica que, em D3, a cerveja controle já se encontrava fora de adequação; em D4, apenas cajá-manga e tamarindo ainda se encontravam condizentes com o parâmetro; em D5, todas as cervejas já se encontravam fora de padrão.

Já para as análises de confirmação de microrganismos, a Figura 2 apresenta os resultados da coloração de Gram para as amostras, nas placas de contagem de bactérias.

**Figura 2:** Visualização das placas de PCA por meio de coloração de Gram para as cervejas controle, cajá-manga, cupuaçu, graviola e tamarindo, respectivamente, da esquerda para a direita



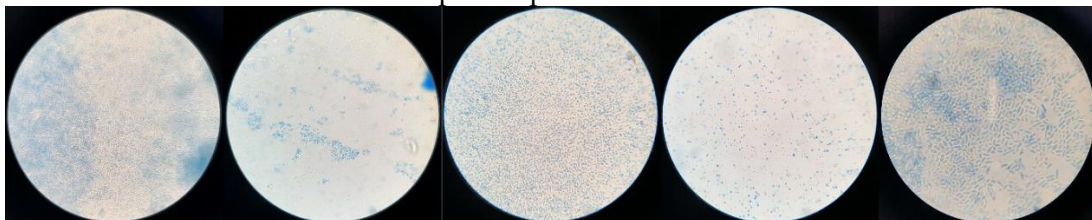
Fonte: dados da pesquisa, 2021.

Ao se compararem as imagens entre si, verifica-se que, apesar do grande número de colônias aglomeradas devido a erros experimentais relacionados ao esfregaço e ao contato de alça, há bactérias tanto Gram-positivas (coloração roxa) quanto Gram-negativas (coloração rósea), com morfologia de cocos maiores e menores e de bastonetes, de forma bem separada e delimitada. De maneira geral, essas considerações foram perceptíveis para todas as amostras de cerveja, variando apenas com relação aos parâmetros de quantidade e distribuição espacial.

Por ser um meio de cultura muito abrangente, especialmente para bactérias heterotróficas, o PCA não foi muito adequado para fazer distinção dos tipos de microrganismos específicos identificáveis nas placas, seja para bactérias inofensivas presentes em alimentos, seja para bactérias contaminantes. Contudo, segundo Sakamoto e Konings (2003), a causa da deterioração por bactérias em bebidas como a cerveja pode se justificar, principalmente, pela presença de anaeróbicas facultativas Gram-positivas (pertencentes aos gêneros *Lactobacillus* e *Pediococcus*), que produzem ácido láctico. As bactérias anaeróbicas dos gêneros *Megasphaera* e *Pectinatus* (*Acidaminococcaceae*) são consideradas as mais importantes no âmbito industrial da cerveja.

A Figura 3 indica os resultados para o *imprinting* em placas de identificação de bolores, tendo como reagente o azul de algodão.

**Figura 3:** Visualização das placas de PDA por *imprinting* com azul de algodão para as cervejas controle, cajá-manga, cupuaçu, graviola e tamarindo, respectivamente, da esquerda para a direita



Fonte: dados da pesquisa, 2021.

O meio de cultura PDA é comumente utilizado para verificação e contagem de bolores e leveduras. Assim sendo, para todas as amostras, foi identificada a presença de leveduras, em diferentes estágios de vida e quantidades, o que pode estar relacionado com o teor de carboidratos disponível em cada tipo de cerveja. Para o controle e a cerveja com adição de cupuaçu, observou-se grande quantidade de proliferação. Para cajá-

manga e graviola, a identificação foi mais baixa. Para a cerveja com tamarindo, foi possível encontrar leveduras em processo de alongamento de citoplasma e posterior divisão/multiplicação.

Com relação à contaminação por bolores, destacam-se os gêneros *Fusarium*, *Aspergillus*, *Penicillium* e *Rhizopus*, que são transmitidos por meio de esporos carregados pelo ar. Quanto a leveduras, existe o grupo das *Saccharomyces* e o das não-*Saccharomyces*, podendo gerar resultados indesejáveis de turbidez, odores e sabores no produto final. Dentre as leveduras selvagens, que se desenvolvem em pH ácido, destaca-se a *Saccharomyces diastaticus*, que apresenta maiores riscos de contaminação devido à sua semelhança morfológica e fisiológica com o fermento à base de *S. cerevisiae* (LATORRE, 2016; SOUZA; FAVERO, 2017).

## 5 CONCLUSÃO

Confrontando-se a cerveja controle com as cervejas acrescidas de polpas de frutas, observou-se que os parâmetros teor de cinzas, pH, proteínas, sólidos solúveis não apresentaram diferenças significativas. As cervejas acrescidas de frutas e do tipo sem adjunto apresentaram teores alcoólicos superiores a 5,7% v/v e todas possuíam pH ácido e coloração clara. Com relação à análise de espuma, verificou-se que esta descreve comportamento de decaimento exponencial para todas as amostras e que as cervejas frutadas possuem mais similaridades entre si do que em relação à cerveja do tipo controle.

Pelas análises microbiológicas, identificou-se que a ausência de polpa na composição da cerveja controle contribuiu para atenuar a proliferação de bactérias mesófilas aeróbicas, mas não para inibir o crescimento de colônias de leveduras/bolores, como nas demais. Pelas análises de confirmação de microrganismos, verificou-se o desenvolvimento de leveduras e de bactérias heterotróficas, não sendo possível afirmar com exatidão se são originárias da microbiota das amostras ou por via de contaminação no processo produtivo.

Como perspectivas para trabalhos futuros com cerveja, é possível a abordagem analítica de parâmetros como atividade antioxidante, lipídios, carboidratos e turbidez, visto que, devido ao método de adição de polpa ter sido realizado em processo batelada, alguns dados podem ser comprometidos quanto à sua normalidade e à homocedasticidade.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES EXPORTADORES DE FRUTAS E DERIVADOS – ABRAFRUTAS. **Dados de exportação 2020**. Brasília, 8 fev. 2021.

Disponível em: <https://abrafrutas.org/2021/02/dados-de-exportacao-2020/>

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA – ANVISA. **Consulta Pública (CP) nº 69, 13 junho de 2010**. 2010. Disponível em:

<http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/8b9452004a51a4d385e8adaa19e2217>.

ARAÚJO, B. M. **Elaboração da cerveja artesanal Pale Ale e avaliação dos parâmetros físico-químicos de acordo com os padrões comerciais**. 2018. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – UNIFOR, Formiga, 2018.

BARRETO, H. B. B. **Implantação de um sistema da qualidade em uma microcervejaria com foco no controle microbiológico**. 2019. 39 f. Monografia (Graduação em Engenharia Química) – Curso de Engenharia Química, Departamento de Engenharia e Tecnologia, Centro de Engenharias, UFERSA, Mossoró, 2019.

BEER JUDGE CERTIFICATION PROGRAM – BJCP. **Style Guidelines**. 2015. Disponível em: <https://dev.bjcp.org/style/2015/beer/?pg=16>.

BORGES, P. F. O. **Concentração do mercado de cerveja no Brasil e a participação das microcervejarias**. 2015. 72 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química e de Petróleo, Escola de Engenharia, UFF, Niterói, 2015.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Decreto N° 6.871, de 04 de junho de 2009. **Diário Oficial da União**, Brasília, 05 jun. 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Decreto N° 9.902, de 08 de julho de 2019. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2019. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2019-2022/2019/Decreto/D9902.htm#art2](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2019/Decreto/D9902.htm#art2).

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Anuário da Cerveja 2019**. Brasília, 2020. Disponível em: [http://www.cervbrasil.org.br/novo\\_site/wp-content/uploads/2020/03/anuario-cerveja-WEB.pdf](http://www.cervbrasil.org.br/novo_site/wp-content/uploads/2020/03/anuario-cerveja-WEB.pdf).

BRESSIANI, C. E. O crescimento de 39,6% no número de cervejarias em 2016 é espetacular. **O Globo**, maio 2017. Disponível em: <https://blogs.oglobo.globo.com/aqui-se-bebe/post/artigo-o-crescimento-de-396-no-numero-de-cervejarias-em-2016-e-espetacular.html>.

BRUNELLI, L. T. **Produção de cerveja com mel: características físico-químicas, energética e sensoriais**. 2012. 103 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu, 2012.

CÁCERES, M. C. **Estudo do processamento e avaliação da estabilidade do "blend" misto a base da polpa de tamarindo (*Tamarindus indica* L.) e suco de beterraba (*Beta vulgaris*)**. 2003. 124 f. Tese (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP, Campinas, 2003.

CARNEIRO, R. S. **Elaboração de cerveja artesanal estilo Saison Ale contendo tamarindo**. 2016. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos) – Departamento Acadêmico de Alimentos, UTFPR, Campo Mourão, 2016.

CARVALHO, N. B. **Cerveja artesanal: pesquisa mercadológica e aceitabilidade sensorial**. 2015. 156 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Departamento de Tecnologia de Alimentos, UFV, Viçosa, 2015.

CERVBRASIL. **Anuário 2016**. 2017. Disponível em:  
[http://www.cervbrasil.org.br/novo\\_site/anuarios/CervBrasil-Anuario2016\\_WEB.pdf](http://www.cervbrasil.org.br/novo_site/anuarios/CervBrasil-Anuario2016_WEB.pdf).

DETMANN, E. *et al.* **Métodos para análise de alimentos**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2012.

EUROPEAN BREWERY CONVENTION – EBC. **Analytica**. 5. ed. Zurique: Brauerei und Getränke-Rundschau, 2005.

FERNANDES, L. M. **Viabilidade de produção e caracterização de cerveja artesanal com acerola (*Malpighia emarginata* DC)**. 2017. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Centro de Tecnologia, UFPB, João Pessoa, 2017.

FERREIRA, R. H. **Inovação em cervejas especiais na região metropolitana de Belo Horizonte**. 2010. 133 f. Dissertação (Mestrado em Administração) – Fundação Pedro Leopoldo, Faculdades Integradas de Pedro Leopoldo, Pedro Leopoldo, 2010.

FERREIRA, L.; PINTO, L. S. R. C. Estruturados de cajá-manga (*Spondias dulcis*) com diferentes hidrocoloides. **Enciclopédia biosfera**, Goiânia, v. 14, n. 25, p. 32-41, 2017.

FERREIRA, K. C. **Caracterização integral de frutos tamarindo (*Tamarindus indica* L.) do cerrado de goiás, brasil e aplicação em produtos drageados**. 2018. 87 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Escola de Agronomia, UFG, Goiânia, 2018.

FIGUEIREDO, A. M.; CARVALHO, L. L. **Produção e avaliação sensorial de cerveja utilizando farinha de banana verde como adjunto de malte**. 2014. 34 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – UNIFAL, Poços de Caldas, 2014.

FRANKLIN, B.; NASCIMENTO, F. C. A. Plantas para o futuro: compilação de dados de composição nutricional do araçá-boi, buriti, cupuaçu, murici e pupunha. **Braz. J. of Develop.**, Curitiba, v. 6, n. 3, p. 10174-10189, mar. 2020.

FREIRE, B. R. **Produção de cerveja artesanal com frutas exóticas e avaliação da imobilização de leveduras em micropartículas magnetopoliméricas no processo de fermentação alcoólica.** 2018. 92 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologias em Saúde) – Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias em Saúde, Faculdade de Ceilândia, UnB, Brasília, 2018.

IAL; PASCUET, N. S.; ZENEBO, O. (Coord.). **Métodos físico-químicos para análise de alimentos.** 4. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

KWAKITA, L. H.; QUEIROZ, M. O. Produção de cerveja artesanal em uma cidade do interior de Mato Grosso do Sul: um estudo de caso para implementação em Paranaíba-MS. *In: SIMPÓSIO SUL-MATO-GROSSENSE DE ADMINISTRAÇÃO*, 1., 2017, Paranaíba. **Anais [...]**, Paranaíba: UFMS, 2017.

LATORRE, M. A. **Incidencia de contaminantes microbianos en cervezas artesanales embotelladas de la Patagonia Andina.** Trabalho de Conclusão de Curso, Universidad Nacional del Comahue, Centro Regional Universitario, Bariloche, 2016.

LEIKE, A. Demonstration of the exponential decay law using beer froth. **Eur. J. Phys.**, v. 23, p. 21-26, 2002.

LIMA, B. J. B. **Elaboração de cerveja artesanal tipo Blonde Ale.** 2019. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) – Curso de Química Industrial, Departamento de Química, Centro Ciências e Tecnologia, UEPB, Campina Grande, 2019.

MAIA, T. S.; BELO, R. F. C. Análises físico-químicas de cerveja artesanal elaborada com graviola e análise sensorial de cervejas com adição de frutas e frutadas comercializadas. **Revista Brasileira de Ciências da Vida**, [S. l.], v. 5, n. 5, 2017.

MATOS, R. A. G. **Produção de cervejas artesanais, avaliação de aceitação e preferência, e panorama do mercado.** 2011. 90 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, UFSC, Florianópolis, 2011.

NÚCLEO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM ALIMENTAÇÃO – NEPA; UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP. **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos.** 4. ed. rev. e ampl. Campinas, 2011.

PELCZAR, M. J. Jr.; CHAN, E. C. S.; KRIEG, N. R. **Microbiologia: conceitos e aplicações.** 2. ed. São Paulo: Makron Books, 1996.

RIBEIRO, M. C.; SOARES, M. M. S. R. **Microbiologia prática: roteiro e manual.** São Paulo: Atheneu, 1993.



ROSA, N. A.; AFONSO, J. C. A química da cerveja. **Quím. Nova Esc.**, São Paulo, v. 37, n. 2, p. 98-105, maio 2015.

ROSENTHAL, R. **Quantidade de álcool na cerveja**: aprenda como calcular. 28 jul. 2018. Disponível em: <https://www.hominilupulo.com.br/universo-da-cerveja/calcular-alcool-cerveja/>.

RUFINO, M. S. M. **Propriedades funcionais de frutas tropicais brasileiras não tradicionais**. 2008. 263 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Fitotecnia) – UFERSA, Mossoró, 2008.

SAHARA, R. Y. **Decaimento exponencial da espuma da cerveja**. [201-?]. Prática de tratamento de dados em física experimental – Instituto de Física, USP, São Paulo, [201-?].

SAKAMOTO, K.; KONINGS, W. N. Beer spoilage bacteria and hop resistance. **International Journal of Food Microbiology**, v. 89, p. 105–124, 2003.

SCHORK, M. O. **Elaboração de cerveja artesanal tipo Ale com malte de milho e farinha de arroz**. 2015. 41 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia em Alimentos) – Coordenação de Tecnologia e Engenharia de Alimentos, UTFPR, Campo Mourão, 2015.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2002.

SILVA, N.; JUNQUEIRA, V. C. A.; SILVEIRA, N. F. A.; TANIWAKI, M. H.; SANTOS, R. F. S.; GOMES, R. A. R.; OKAZAKI, M. M. **Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos**. 3 ed. São Paulo: Varela, 2007.

SORBO, A. C. A. C. **Avaliação das propriedades de uma cerveja artesanal tipo Pilsen suplementada com polpa de maracujá**. 2017. 64 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu, 2017.

SOUZA, L. C.; FREITAS, J. M. **Desenvolvimento e caracterização de cerveja artesanal estilo American Pale Ale adicionado de manga da variedade Tommy Atkins**. 2016. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, Rio Pomba, 2016.

SOUZA, R. S.; FAVERO, D. M. Correlação entre a redução da carga microbiológica e a inativação da enzima invertase na etapa de pasteurização da cerveja. **Revista Mundi Meio Ambiente e Agrárias**, Curitiba, v. 2, n. 1, p. 15.1-17, jan./jun. 2017.

TÓFOLI, R. J. **Avaliação da qualidade microbiológica e físico-química de cervejas comerciais e artesanais**. 2014. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química), IMESA, FEMA, Assis, 2014.

VENTURINI, G. **Tecnologia de bebidas: matéria prima, processamento, BPF/APPCC, legislação e mercado**. São Paulo. Edgard Blücher, 2005.

VOGEL, C. **Avaliação da adição de pequenas frutas (*berries*) na produção de cerveja artesanal: análise físico-química, sensorial, compostos fenólicos e atividade antioxidante**. 2017. 79 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos) – UFFS, Laranjeiras do Sul, 2017.

# Semente de moringa (*Moringa oleifera* Lam) utilizada no tratamento de água bruta em comunidades rurais

*Moringa seed (Moringa oleifera Lam) used in raw water treatment  
in rural communities*

NÁISLA SILVA OLIVEIRA

Discente do curso de Engenharia Química (UNIPAM)

E-mail: naislasilva@unipam.edu.br

DANIEL OLIVEIRA E SILVA

Professor orientador (UNIPAM)

E-mail: danielos@unipam.edu.br

---

**Resumo:** Descreve-se o saneamento ambiental como conjunto de práticas que certifica a qualidade da água e dos rios, a coleta de lixo e sua acomodação em aterros controlados ou sanitários, o lançamento de esgotos nas vias públicas, a garantia da qualidade e quantidade de água para o consumo humano, além do monitoramento ou erradicação de doenças. O objetivo deste trabalho foi o tratamento de água bruta em propriedades rurais com sólidos suspensos e sólidos dissolvidos, por meio do processo de coagulação/floculação, utilizando-se coagulantes naturais derivados do extrato da semente de *Moringa oleifera*. Para caracterização do material trabalhado, foram realizados os seguintes testes qualitativos: turbidez e cor. Concluiu-se que a solução coagulante obtida das sementes de *Moringa oleifera* é eficiente para tratar águas com turbidez através da sedimentação simples.

**Palavras-chave:** Sedimentação. Moringa oleífera. Tratamento de água

**Abstract:** Environmental sanitation is described as a set of practices that certify the quality of water and rivers, the collection of garbage and its accommodation in controlled or sanitary landfills, the discharge of sewage on public roads, the guarantee of the quality and quantity of water for human consumption, in addition to monitoring or eradication of diseases. The objective of this work was to contribute to the treatment of raw water in rural properties, with the presence of suspended solids and dissolved solids, through the process of coagulation/flocculation using natural coagulants derived from the seed extract of *Moringa oleifera*. To characterize the worked material, the following qualitative tests were carried out: turbidity and color. It was concluded that the coagulant solution obtained from the seeds of *Moringa oleifera* is efficient to treat turbid waters through simple sedimentation.

**Keywords:** Sedimentation. Moringa oil. Water treatment.

---

## 1 INTRODUÇÃO

O primeiro instrumento de controle de uso de recurso hídrico – Código das Águas –, foi desenvolvido entre as décadas de 1930 e 1940. Logo após, foram aperfeiçoadas as técnicas de tratamento e análises dos parâmetros de controle de qualidade de água e esgoto, iniciando o desenvolvimento sustentável e a atenção com o meio ambiente (BITTENCOURT, 2018).

Descreve-se o saneamento ambiental como conjunto de práticas que certifica a qualidade da água e a dos rios, a coleta de lixo e sua acomodação em aterros controlados ou sanitários, o lançamento de esgotos nas vias públicas, a garantia da qualidade e quantidade de água para o consumo humano, além do monitoramento ou erradicação de doenças (BITTENCOURT, 2018).

Para o tratamento de água, aplicam-se processos de decantação, filtração e desinfecção. A sedimentação de poluentes pode ser acelerada pelo uso de produtos químicos, que agem como coagulantes, como o sulfato de alumínio e polímeros, substâncias amplamente utilizadas no sistema de tratamento de água das cidades; contudo, esse recurso não é viável já que o custo desses produtos é elevado e, quando mal dosados, deixam resíduos na água (SCHINTU; MELONI; CONTU, 2000).

Para o tratamento da água bruta, a coagulação é imprescindível na Estação de Tratamento de Água (ETA). Caso essa etapa não seja eficiente, os outros processos estrarão prejudicados. Em alguns casos, faz-se necessário o descarte de toda a água efluente da ETA, por estar fora dos parâmetros de potabilidade (PAVANELLI, 2001).

Tanto no tratamento de água potável, quanto no tratamento de efluentes têm sido utilizados coagulantes naturais em vez de coagulantes químicos, uma vez que os químicos apresentam alto índice de produção de lodo residual e alta toxicidade. (GIRARDI, 2009).

A *Moringa Oleifera Lam* é uma planta perene da família *Moringaceae*, nativa do noroeste indiano, tendo sido transportada para o Brasil há alguns anos (AMAYA *et al.*, 1992).

É muito cultivada devido ao seu valor alimentar, forrageiro, medicinal, condimentar, entre outros, e utilizada no tratamento de água para o consumo humano (JAHN, 1989; MORTON, 1991; CÁCERES *et al.*, 1991; GASSENCHIMIDT *et al.*, 1995; PALADA, 1996; GERDES, 1996; GERDES, 1997; WARHURST *et al.*, 1996; WARHURST *et al.*, 1997; MAKKAR; BECKER, 1997; MATOS, 1998; KERR *et al.*, 1998; OLIVEIRA *et al.*, 1999).

É uma leguminosa ambientada às condições áridas e semiáridas, também conhecida como lírio branco, quiabo de quina, acácia-branca, árvore-rabanete-de-cavalo, cedro e moringueiro (CORREA, 1984).

É muito frequente a utilização das sementes de moringa no tratamento de água para o consumo humano nas zonas rurais do nordeste brasileiro (GERDES, 1997; O filtro..., 1999), diante a escassez de água potável para a população nessa região.

O presente trabalho teve como objetivo o tratamento de efluentes com sólidos suspensos e sólidos dissolvidos, por meio do método de adsorção, utilizando-se como biomassa a semente de moringa, visando à retirada de poluentes orgânicos e metais da água.

O tratamento de águas utilizando coagulantes naturais apresenta muitos benefícios em relação a outras tecnologias, destacando-se principalmente por dispensar a aplicação de produtos químicos, não exigir o uso de equipamentos sofisticados ou operadores qualificados para controle do processo, além de ser de simples construção e de produzir pouco lodo, que posteriormente pode ser utilizado como fertilizantes. Essas vantagens ligadas ao uso de insumos alternativos e de mão de obra simples podem reduzir os custos iniciais de implantação, operação e manutenção desse sistema, possibilitando um processo de tratamento de água bastante eficiente e acessível (PATERNIANI, 2004).

Portanto, este trabalho se justifica pela necessidade de novos estudos e novas opções mais ecologicamente corretas, principalmente quando se refere ao tratamento de água nas propriedades rurais, onde é inexistente qualquer tipo de tratamento de água para consumo humano. Além de evitar o desenvolvimento de doenças, esse tipo de alternativa traz benefícios, por ser processo de baixo custo, mostrar eficiência e não gerar resíduos.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 TRATAMENTO DE ÁGUA

No Brasil, para o tratamento de água de abastecimento público, o coagulante químico mais utilizado é o sulfato de alumínio, devido a sua alta eficiência na remoção de sólidos em suspensão e pelo baixo custo para sua aquisição. No entanto, sua aplicação pode tornar-se inviável no tratamento de água de áreas mais afastadas, em decorrência dos elevados custos de transporte (MONACO *et al.*, 2010).

Outra questão associada ao uso desse coagulante é o lodo gerado no tratamento de água para uso potável. Após o sal solubilizado, o cátion  $Al^{3+}$  é adsorvido no material sólido em suspensão, proporcionando, em razão de um fenômeno físico-químico, a formação de sedimentos no tanque, ocasionando a clarificação da água em tratamento. Porém, o material sedimentado é muito rico em alumínio, o que dificulta o descarte final desse resíduo no meio ambiente. Segundo Martyn *et al.* (1989), elevadas concentrações de alumínio no meio podem causar problemas à saúde humana, como acelerar o processo degenerativo do Mal de Alzheimer. No mais, acarreta custos adicionais com produtos químicos utilizados na correção do seu pH, pois os sais de alumínio proporcionam consumo da alcalinidade da água em tratamento (SILVA *et al.*, 2007).

### 2.2 COAGULAÇÃO/ FLOCULAÇÃO

Segundo Cardoso (2008), a floculação é o método de interação das partículas suspensas causada, principalmente, pelas forças de Van der Waals, de modo a agrupar partículas maiores que possam sedimentar. Desde que o sistema evidencie energia disponível, decorrente da agitação dele, o arranjo em porções pode acontecer

espontaneamente, apenas por contínuos choques entre as partículas presentes. No entanto, não pode ser uma agitação intensa, uma vez que esta provocaria o efeito reverso.

Os coagulantes naturais têm apresentado vantagens em relação aos químicos, exclusivamente quando se trata de biodegradabilidade, baixa toxicidade e baixo índice de produção de lodos residuais (MORAES, 2004).

### 2.3 ADSORÇÃO

Através de adsorção, as biomassas têm a capacidade de reter íons metálicos e poluentes orgânicos, levando vantagem por serem viáveis economicamente, biodegradáveis e derivadas de recursos renováveis (VAUGHAN *et al.*, 2001). O termo bioadsorção tem sido empregado para descrever a propriedade desses materiais. Esse processo resulta de interações eletrostáticas e da formação de complexos entre os íons metálicos e os grupos funcionais presentes na superfície celular. Esse fenômeno ocorre devido à presença de diversos grupos funcionais que constituem a biomassa, como celulose, polioses, proteínas e ligninas (MARSHAL *et al.*, 1999).

Existem abundantes materiais adsorventes, sendo o carvão ativado o mais usual, porém apresentam alto custo e difícil renovação, limitando assim seu uso. (LENG; PINTO, 1996 *apud* MORAIS, 2004). Outros materiais têm substituído o carvão ativado, como adsorventes alternativos, como algas, microrganismos, materiais compostados e materiais lignocelulósicos, por exemplo, bagaço de cana, casca de amendoim, de soja e de algodão (BAILEY *et al.*, 1999).

### 2.4 MORINGA OLEIFERA LAM

O gênero *Moringa*, sobretudo as espécies *M. oleifera* e *M. stenopetala*, sobressai como um dos mais prósperos coagulantes naturais, entretanto sete espécies mostraram-se o efeito coagulante. (CARDOSO *et al.*, 2008; PEREIRA *et al.*, 2011). Segundo Jahn (1989), o fator coagulante presente nas sementes de *Moringa oleifera Lam* foi separado e seis polipeptídios foram denominados, formados por várias unidades de aminoácidos. A porção ativa desse coagulante se deve à presença de uma proteína catiônica de alta massa molecular, que altera as partículas contidas na água, normalmente partículas coloidais de carga negativa, e floclula os coloides.

Não há reações de neutralização entre o coagulante e a água para formar complexos gelatinosos, no entanto, quando a coagulação/floculação é realizada por polieletrólitos, ocorre com os coagulantes derivados de sais de alumínio e ferro. Isso ocorre porque esses polieletrólitos são formados de complexos de grandes cadeias moleculares, que possuem sítios com cargas positivas ou negativas, com alta capacidade de adsorção de partículas ao seu redor. Portanto, esse tipo de coagulação/floculação praticamente não decorre da alcalinidade da água, podendo processar numa grande faixa de valores de pH, entre 4,0 e 12,0 (CARDOSO, 2008).

Podem ser extraídos das sementes de *Moringa* muitos benefícios, essencialmente, óleos comestíveis e outros óleos fundamentais podem ser extraídos antes do coagulante ser fragmentado. Os resíduos sólidos podem ser utilizados como

ração animal e fertilizante, enquanto a casca da semente pode ser ativada e usada como um adsorvente. O coagulante terá um custo extremamente baixo. Sementes de moringa são efetivas na remoção de material em suspensão, produzem volumes menores de lodo quando comparados a coagulantes químicos e são adsorventes efetivos de cádmio. Se um tratamento físico-químico aplicado é eficiente no início do tratamento de efluente, logo o lodo de qualquer fase de tratamento biológico subsequente é consideravelmente reduzido (VIEIRA *et al.*, 2010).

A grande preocupação na utilização de extratos de sementes para tratamento de água é o material residual orgânico de semente que estará presente na água ao final do tratamento, no entanto ela é orgânica e biodegradável. Se as partículas são removidas e o lodo que é gerado é comprovadamente inócuo, então este pode ser aplicado como fertilizante. Se moringa é comprovadamente ativa, segura e barata, é possível usá-la para tratamento de água potável e águas residuais (VIEIRA *et al.*, 2010).

### 3 METODOLOGIA

O material para o estudo foi coletado no Rio Mateus, localizado na zona rural do município de Luz – MG.

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA DE EFLUENTES

Para caracterizar do material trabalhado, foram realizados os seguintes testes qualitativos:

##### 3.1.1 Determinação de turbidez

Para análise da turbidez, foi utilizado Turbidímetro MS Tecnopom, antes de se realizarem as leituras das amostras. O medidor foi submetido à calibração com as devidas soluções padrões indicados pelo fabricante.

##### 3.1.2 Determinação de cor

Foi utilizado o Colorímetro DEL LAB para a aferição de cor, devidamente calibrado com suas respectivas soluções padrões.

#### 3.2 PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS FIBRAS

A biomassa foi triturada em liquidificador. Em seguida, foram pesadas 1, 2 e 3 gramas de sementes de moringa em cada 100 mL de água destilada (soluções de 10, 20 e 30 g L<sup>-1</sup> de sementes), sendo a suspensão, posteriormente, filtrada em malha de 1 mm. A solução preparada foi armazenada em geladeira (4°C) e utilizada no dia seguinte do seu preparo.

Antes da mistura do coagulante nas águas em estudo, estas foram acidificadas com ácido sulfúrico (1 mol L<sup>-1</sup>) até se obter pH em torno de 4,2, conforme recomendação de Matos *et al.* (2007) e Chagas *et al.* (2009).

Em relação à solução de *Moringa oleifera* extraída com água, a concentração é de 1%, ou seja, a cada 1000 mg de polpa de semente de *Moringa oleifera Lam*, completou-se com água destilada para o volume de 0,1 L. Logo após, colocou-se em agitação no aparelho “Jar-test” por 30 minutos, sob agitação a 15 rpm, finalmente filtração a vácuo.

As suspensões foram mantidas por períodos de 2 e 24 horas em repouso para a sedimentação do material nos béqueres. Decorrido o período, as amostras do sobrenadante foram retiradas dos béqueres para análises.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na tabela 1, tem-se a variação do tempo em relação à concentração de coagulante.

**Tabela 1:** Turbidez e Cor encontradas

Tempo de sedimentação (min)	Eficiência da remoção da turbidez (Floculador maior) (%)			Eficiência da remoção da turbidez (Floculador menor) (%)		
	Quantidade de coagulante (mg L <sup>-1</sup> )					
	Turbidez (A)					
	150	300	500	150	300	500
t <sub>0</sub>	30	65	73	23	59	3
t <sub>10</sub>	34	70	92	42	75	87
t <sub>30</sub>	43	76	93	45	77	86
	Cor (B)					
t <sub>0</sub>	41	73	77	31	67	21
t <sub>10</sub>	45	77	91	47	80	88
t <sub>30</sub>	50	81	95	50	82	91

Fonte: dados pesquisa, 2020.

Para os valores de turbidez, houve um decaimento nos primeiros segundos e posteriormente um pequeno aumento. A maioria dos resultados está abaixo dos limites estabelecidos; o que é recomendado para este parâmetro varia de 40 a 100 NTU (CONAMA, 430/2011).

Em termos de redução da cor aparente, as taxas de remoção dos floculadores maiores e menores são de 56% e 61%, respectivamente. Em relação aos melhores resultados obtidos, o primeiro é um pouco mais eficiente, conforme mostrado na tabela 1.

O tempo médio de residência do grande coagulante é de 2 minutos e 30 segundos, enquanto o tempo médio de residência do pequeno floculador é de 2 minutos e 10 segundos.

A partir dos resultados apresentados na tabela, pode-se notar que a eficiência na redução de turbidez e cor aparente está relacionada com o aumento da concentração da solução coagulante, ou seja, quanto mais concentrada a solução coagulante de sementes de *moringa oleifera*, melhor a remoção.



## 5 CONCLUSÃO

Conforme o objetivo proposto, o tratamento de água bruta em propriedades rurais com sólidos suspensos e sólidos dissolvidos, por meio do processo de coagulação/floculação, utilizando-se coagulantes naturais derivados do extrato da semente de *Moringa Oleifera*, mostrou-se satisfatório, evidenciando os que possuem os melhores parâmetros físico-químicos.

Concluiu-se que a solução coagulante obtida das sementes de *Moringa oleifera* é eficiente para tratar águas com turbidez através da sedimentação simples, sendo assim necessária a realização de mais experimentos para avaliar melhor a sua eficiência.

Obtiveram-se reduções médias da turbidez e da cor aparente, de 56 e 61%, nos processos de sedimentação simples.

## REFERÊNCIAS

- AMAYA, D. R; KERR, W. E; GODOI, H. T; OLIVEIRA, A. L; SILVA, F. R. Moringa: hortaliça arbórea rica em beta-caroteno. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.10, n. 2, p. 126,1992.
- BAILEY, S. E. *et. al.* A review of potentially low-cost sorbents for heavy metals. **Water Research**, v. 33, n. 11, p. 2469-2479, 1999.
- BITTENCOURT, C.; PAULA, M. A. S. **Tratamento de água e efluentes**: fundamentos de saneamento ambiental e gestão de recursos hídricos. São Paulo: Saraiva, 2018.
- BOROWSKI, H. C.; SILVEIRA, J. L., EBINUMA, C. D.; FERREIRA, E. D. Análise de um modelo de co-geração a partir de resíduos sólidos urbanos. **Revista de Tecnologia**, Fortaleza, v. 23, n. 1, p. 26-27, dez. 2002.
- BRASIL. **Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Disponível: em:  
[https://www.adasa.df.gov.br/images/stories/anexos/8Legislacao/Res\\_CONAMA/Resolucao\\_CONAMA\\_430\\_2011.pdf](https://www.adasa.df.gov.br/images/stories/anexos/8Legislacao/Res_CONAMA/Resolucao_CONAMA_430_2011.pdf)
- CÁCERES, A.; FREIRE, V.; GIRÓN, L. M.; AVILÉS, O.; PACHECO, G. *Moringa oleifera* (Moringaceae): ethnobotanical studies in Guatemala. **Economic Botany**, New York, v. 45, n. 4, p. 522-523, 1991.
- CARDOSO, K. C; BERGAMASCO, R; COSSICH, E. S.; MORAES, L. C. K. Otimização dos tempos de mistura e decantação no processo de coagulação/floculação da água bruta por meio da *Moringa oleifera* Lam. **Acta Sci. Tech.**, Maringá, v. 30, n. 2, p. 193-198, 2008.

CHAGAS, R. C.; SARAIVA, C. B.; MOREIRA, D. A.; SILVA, D. J. P.; MATOS, A. T.; FARAGE, J. A. Uso do extrato de moringa como agente coagulante no tratamento de águas residuárias de laticínios. *In: CONGRESSO NACIONAL DE LATICÍNIOS*, 26., 2009, Juiz de Fora. **Anais [...]**, Juiz de Fora: ICLT/EPAMIG, 2009.

CORRÊA, Manuel Pío. Dicionário de plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas. *In: Dicionário de Plantas úteis do Brasil e das Exóticas Cultivadas*. Brasília: Imprensa Nacional, 1984.

COSTA, V. R. Plásticos a caminho da reciclagem. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 107, p. 8-15, mar. 1995.

GASSENSCHMIDT, U.; JANY, K. D.; TAUSCHER, B.; NIEBERGALL, H. Isolation and characterization of a flocculating protein from *Moringa oleifera* Lam. **Biochimica et Biophysical Acta**, v.1243, p.477-481, 1995.

GERDES, G. **O uso das sementes da árvore moringa para o tratamento de água turva**. Fortaleza: Esplar, 1996. (Boletim Técnico)

GERDES, G. **Como limpar e tratar água suja com sementes da moringa**. Fortaleza: Esplar, 1997. (Boletim Técnico)

GIRARDI, F. **Tratamento de vinhaça utilizando coagulantes naturais**. 2009. 98 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2009.

JAHN, S. A. A. Monitored water coagulation with Moringa seeds in village households. **GTZ: gate**, Eschborn, n. 1, p. 40-41, 1989.

JAHN, S. A. A. Using Moringa seeds as coagulant in developong countries. **Journal of the American Water Works Association**, New York, v. 6, p. 43-50, 1998.

KERR, W. E.; SILVA, F. R.; RESENDE, A.; GODOI, H. T.; KERR, L. S. *Moringa oleifera*: distribuição de sementes dessa hortaliça arbórea. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 16, n. 1, 1998.

LENG, Chi-Cheng; PINTO, Neville G. An investigation of the mechanisms of chemical regeneration of activated carbon. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 35, n. 6, p. 2024-2031, 1996.

MAKKAR, H. P. S.; BECKER, K. Nutrients and antiquality factors in different morphological parts of the *Moringa oleifera* tree. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 128, p. 331-322, 1997.

MARSHALL, W. E. *et al.* Enhanced metal adsorption by soybean hulls modified with citric acid. **Bioresource Technology**, v. 69, p. 263-268, 1999.

MARTYN, C. N., BARKER, D. J., OSMOND, C., HARRIS, E. C., EDWARDSON, J. A., LACEY, R. F. Geographical relation between Alzheimer's disease and aluminum in drinking water. **Lancet**, v. 1, n. 8629, p. 59-62, 1989.

MATOS, F. J. A. **Farmácias vivas: sistemas de utilização de plantas medicinais projetados para pequenas comunidades**. 3. ed. Fortaleza: EUFC, 1998.

MATOS, A. T.; CABANELLAS, C. F. G.; CECON, P. R.; BRASIL, M. S.; MUDADO, C. S. Efeito da concentração de coagulantes e do pH da solução na turbidez da água, em recirculação, utilizada no processamento dos frutos do cafeeiro. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 2, p. 544-551, 2007.

MONACO, P. A. V. L. *et al.* Utilização de extrato de sementes de moringa como agente coagulante no tratamento de água para abastecimento e águas residuárias. **Ambiente & Água: an interdisciplinary journal of applied science**, v. 5, n. 3, p. 222-231, 2010.

MORAES, L. C. K. **Estudo da coagulação-ultrafiltração com o biopolímero quitosana para a produção de água potável**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2004.

MORTON, J. F. The horseradish thre, *Moringa pterygosperma* (Moringaceae): a boon to arid lands? **Economic Botany**, Ypsilanti, v. 45, n. 3, p. 318-333, July/Sept. 1991.

O FILTRO natural: experiência com semente de moringa reduz endemias em águas contaminadas. **Revista Abastece**, v. 1, n. 2, p. 22, 1999.

OLIVEIRA, J. T. A.; SILVEIRA, S. B.; VASCONCELOS, I. K. M.; CAVADA, B. S.; MOREIRA, R. A. Compositional and nutritional attributes of seeds from the multiple purpose tree *Moringa oleifera* Lamarck. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 79, p. 815-820, 1999.

PALADA, M.C. *Moringa (Moringa oleifera Lam.): a versatile tree crop with horticultural potential in the Subtropical United States*. **HortScience**, v. 31, n. 5, p. 794-797, 1996

PATERNIANI, J. E. S.; CONCEIÇÃO, C. H. Z da. Eficiência da pré-filtração e filtração lenta no tratamento de água para pequenas comunidades. **Revista de Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 1, n. 1, p. 17-21, 2004.

PAVANELLI, G. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada**. 2001. Dissertação

(Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2001.

PEREIRA, D. F.; ARAÚJO, N. A.; SANTOS, T. M.; SANTANA, C. R.; SILVA, G. F. Aproveitamento da torta da *Moringa oleifera Lam* para tratamento de água produzida. **Exacta**, v. 9, n. 3, p. 323–331, 2011.

SILVA, M. E. R.; AQUINO, M. D.; SANTOS, A. B. Pós-tratamento de efluentes provenientes de reatores anaeróbios tratando esgotos sanitários por coagulantes naturais e não-naturais. **Revista Tecnologia**, v. 28, n. 2, p. 178-190, 2007.

SCHINTU, M., MELONI, P.; CONTU, A. Aluminum fractions in drinking water from reservoirs. **Ecotoxicology and Environment Safety**, v. 46, p. 29-33, 2000.

SPERLING, M. V. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. In: SPERLING, M. V. **Princípios básicos do tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: UFMG, 1996.

VAUGHAN, T. *et al.* Removal of selected metal ions from aqueous solution using modified corncobs. **Bioresource Technology**, v. 78, p. 133-139, 2001.

VIEIRA, A. M. S.; VIEIRA, M. F.; SILVA, G. F.; ARAÚJO, A. A. A.; KLEN, M. R. F.; VEIT, M. T.; BERGAMASCO, R. Use of *Moringa oleifera* seed as a natural adsorbent for wastewater treatment. **Water Air Soil Pollut**, v. 206, p. 273-281, 2010.

WARHURST, A. M.; McCONNACHIE, G. L.; POLLARD, S. J. T. The production of activated carbon for water treatment in Malawi from the waste seed husks of *Moringa oleifera*. **Water Science Technology**, v. 34, n. 11, p. 117-184, 1996.

WARHURST, A. M.; McCONNACHIE, G. L.; POLLARD, S. J. T. Characterisation and applications of activated carbon produced from *Moringa oleifera* seed husks by single-step steam pyrolysis. **Water Research**, v. 31, n. 4, p. 759-766, 1997.

# Análise físico-química e microbiológica da água em pisciculturas extensiva e semi-intensiva

*Physical-chemical and microbiological analysis of water in extensive and semi-intensive fish farms*

HENRIQUE ALVES DA SILVA JÚNIOR

Discente do curso de Zootecnia (UNIPAM)

E-mail: [henriqueasjr@unipam.edu.br](mailto:henriqueasjr@unipam.edu.br)

JULIANA BORGES PEREIRA

Professora orientadora (UNIPAM)

E-mail: [julianabp@unipam.edu.br](mailto:julianabp@unipam.edu.br)

---

**Resumo:** Em se tratando de piscicultura, o fator primordial para a produção é a água, pois ela é a resposta para todas as ações do peixe. Neste estudo, objetivou-se verificar os parâmetros físico-químicos da água do *Pesque & Pague Eldorado*, localizado na zona rural de Patos de Minas (MG), visando a elementos como amônia, luminosidade, pH, condutividade, turbidez, cor e oxigênio dissolvido na água e ainda à análise microbiológica, coliformes totais, termotolerantes e *Escherichia coli*. As amostras de água foram oriundas de quatro tanques de criação semi-intensiva, de uma represa extensiva e da nascente do pesque e pague. Foi possível verificar alterações no aspecto físico-químico e microbiológico, como a acidez e a luminosidade fora do recomendado. Foi detectada presença de *E. coli* em todas as fontes da propriedade e coliformes totais e termotolerantes em todos os tanques. Concluiu-se que há presença de microrganismos em todas as fontes de água analisadas e anormalidades em algumas análises físico-química.

**Palavras-chave:** Coliformes termotolerantes. Coliformes totais. *Escherichia coli*. Qualidade da água.

**Abstract:** When it comes to fish farming, the primary factor for production is water, as it is the answer to all fish actions. In this study, the objective was to verify the physical-chemical parameters of the water from *Pesque & Pague Eldorado*, located in the rural area of Patos de Minas (MG), aiming at elements such as ammonia, luminosity, pH, conductivity, turbidity, color and dissolved oxygen in the water, as well as the microbiological analysis, total coliforms, thermotolerants and *Escherichia coli*. The water samples came from four semi-intensive breeding tanks, an extensive dam and the catch and pay spring. It was possible to verify changes in the physical-chemical and microbiological aspects, such as acidity and luminosity outside the recommended range. The presence of *E. coli* was detected in all sources of the property, and total and thermotolerant coliforms in all tanks. It was concluded that there is presence of microorganisms in all water sources analyzed and abnormalities in some physicochemical analyses.

**Keywords:** Thermotolerant coliforms. Total coliforms. *Escherichia coli*. Water quality.

---

## 1 INTRODUÇÃO

Ao mesmo tempo em que a água é responsável pela vida e sucesso de uma piscicultura, ela pode ser o fator de insucesso da produção. Os peixes, diferentemente dos animais terrestres, têm como habitat natural a água, que, se estiver fora dos parâmetros ideais, é como, para nós, estar respirando algum gás tóxico. A água para o consumo e produção de seres vivos está cada vez mais escassa, e a quantidade desse líquido na forma potável acaba se tornando alvo de poluição por meio do lançamento de dejetos de grandes empresas, esgoto sem tratamento, entre outros, que podem causar doenças. De acordo com os dados da Organização Mundial de Saúde (OMS), cerca de 80% das doenças comuns à população têm relação com o consumo e uso de água inadequada (SES/SP, 2017).

Tanques escavados de criação de peixes, independentemente de qual espécie, são ecossistemas dinâmicos e, em grande parte, apresentam baixa profundidade e baixo fluxo contínuo de água, o que afeta diretamente a qualidade da água, assim pode gerar um desequilíbrio rápido na qualidade da água (LACHI; SIPAÚBA-TAVARES, 2008). Todos os parâmetros devem ter a mesma importância, pois pequenos detalhes podem se tornar causa para uma falha no ganho de peso dos animais.

Quando se trata tanques extensivos, fala-se de um maior cardume de peixe e, conseqüentemente, de alto fluxo de água; entretanto, nem sempre se têm esses dois itens em conjunto, o que pode causar problemas, pois apenas a oxigenação dos tanques não será suficiente; deve-se ter também uma grande renovação de água.

Represas oriundas de nascentes estão sujeitas à contaminação. Apesar de toda a atenção, a degradação ainda é presente em várias fazendas. Em lugares com alto fluxo, é comum a contaminação da água por meio de despejo incorreto de resíduos. Porém, a contaminação pode ocorrer por parte pela fazenda vizinha, produtora de bovinocultura, seja corte, seja de leite. Os animais utilizam a água e podem defecar contaminando o corpo de água tornando-o um foco de microrganismos.

Em pisciculturas, extensiva, semi-intensiva ou intensiva, a qualidade da água vai exercer grande influência em sua produção, tendo em vista que cada parâmetro deve ser analisado cautelosamente, levando-se em consideração qual espécie de peixe está no viveiro. Poucos proprietários têm como rotina a monitoração e a manutenção da água, que é primordial para uma piscicultura sustentável (REIS, 2018).

Para uma piscicultura produtiva, deve-se atentar a diversos fatores, como os físico-químicos, que podem influenciar diretamente nos comportamentos do peixe. A amônia é facilmente encontrada no ambiente aquático, pois é proveniente de processos metabólicos de plantas e animais e da decomposição de organismos. A manutenção da quantidade de amônia depende mais especificamente do pH, ou seja, da acidez da água, que deve ser controlada numa faixa de 6,0 a 8,5, porém há piscicultores que trabalham na faixa de 6,0 a 9,0 e ainda garantem uma grande produtividade.

A cor da água também pode afetar os peixes. Essa característica da água depende de qual peixe será criado. Um exemplo são as carpas e as tilápias, que podem ser colocadas em águas de coloração verde, porque nelas há elementos básicos para suprir as exigências dessas espécies. As colorações azulada ou azul esverdeada são um indicativo de boa produtividade, mas águas cristalinas indicam, basicamente, uma baixa

produtividade do viveiro devido à luminosidade no tanque, que, por sua vez, possui uma faixa de 30 a 45 cm de bom estado.

Um fator importante é o oxigênio dissolvido, pois baixas concentrações podem levar a atraso de crescimento e até à morte de animais. A condutividade fornece dados sobre o metabolismo do tanque. Além de problemas físico-químicos, é de grande importância ficar atento à análise microbiológica, pois essa análise pode indicar a presença de doenças que acometem seres vivos aquáticos. O grupo de coliformes indica possível contaminação de origem fecal; coliformes totais, coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* podem se encontrar presentes na microbiota intestinal dos peixes; não são considerados habitantes naturais da microbiota do intestino desses animais. A presença deles permite a correlação com as diversas condições microbiológicas da água onde os peixes vivem (SOUZA *et al.*, 2011).

Levando-se em consideração todos os aspectos presentes, objetivou-se, com este estudo, verificar a presença de microrganismos (coliformes totais, coliformes termotolerantes e *Escherichia coli*) em água de quatro tanques de criação semi-intensiva, de uma represa de criação extensiva e da nascente, do *Pesque & Pague Eldorado*, no município de Patos de Minas (MG). Dessa forma, espera-se que o presente estudo contribua para ações que visem à qualidade do manejo dos animais e à qualidade da água desse pesque e pague.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 LOCAL DE COLETA

O material para o presente estudo foi coletado no *Pesque & Pague Eldorado*, no município de Patos de Minas, mesorregião do Alto Paranaíba, Minas Gerais, nos meses de setembro, outubro e novembro de 2019. O local tem como sistemas de produção o semi-intensivo contando com 4 represas e 1 represa extensiva.

### 2.2 AMOSTRAS

As amostras coletadas consistiram em seis locais diferentes na propriedade descrita. Foram definidas como amostras 1, 2, 3, 4 para o sistema semi-intensivo, amostra 5 para o extensivo, as quais foram submetidas a análises físico-químico e microbiológica da água, e amostra 6 para a água da nascente que alimenta os tanques; a água da nascente foi submetida à análise de *Escherichia coli*.

Todas as coletas foram realizadas nos meses de setembro, outubro, novembro de 2019 no período matutino. As amostras foram armazenadas em recipientes estéreis e transportadas em caixas isotérmicas com gelos para posterior análise. Cada recipiente armazenava no máximo 500 mL de água e foi identificado com o local, data e horário de coleta. As amostras foram encaminhadas, no prazo máximo de 24 horas, para o Laboratório de Microbiologia e Laboratório de Monitoramento Animal, localizado no Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), em Patos de Minas (MG).

As análises microbiológicas foram feitas em conformidade com as recomendações da Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017, que trata

das Normas e Padrões de Portabilidade da água para consumo humano. Essa portaria define os exames bacteriológicos envolvendo a pesquisa de coliformes totais e termotolerantes, inclusive *Escherichia coli*, e também as análises físico-químicas.

### 2.3 TESTE COLILERT

O Colilert é um reagente que foi adicionado a um frasco com 100 mL da água de cada amostra previamente coletada, armazenado em estufa a 36°C por 24 horas. A identificação se dá através da mudança de coloração para presença ou ausência de coliformes totais e, quando exposto à luz ultravioleta, a presença ou ausência de *Escherichia coli* na amostra, isso se deve fato de o reagente utilizar açúcares ligados a radicais orgânicos cromogênicos, que são responsáveis por essa mudança de cor e/ou fluorescência observada.

Nutrientes como ONPG (o-nitrofenil- Beta -D-galactopiranosídeo) e MUG (4-metil-umbeliferil- Beta -D-glucoronídeo) estão presentes no meio, o que confere, então, enzimas específicas, portanto os coliformes totais usam Beta-Galactosidade para metabolizarem ONPG resultando em uma mudança de cor da água, de transparente para amarelada. A *E. coli* utiliza Beta-Glucoronidase para metabolizar nutrientes como o MUC, o que causa a liberação do radical orgânico cromogênio e, como consequência, a amostra passa a apresentar fluorescência na presença de luz ultravioleta a 365 nm (HENRIQUES, 2010).

### 2.4 ENUMERAÇÃO DE COLIFORMES TOTAIS (CT) E TERMOTOLERANTES (CTT) PELA TÉCNICA DO NÚMERO MAIS PROVÁVEL (NMP)

Para observância quanto à presença/ausência, 3 tubos de 10 mL contendo Caldo Lactosado Dupla Concentração (CLD) foram utilizados; neles foram injetados 10 mL da amostra recolhida e posteriormente encubados a 35/37°C pelo período de 24/48 horas. A não formação de gás no interior dos tubos de Durhan ao longo do tempo foi caracterizada como resultado negativo. Caso contrário, ou seja, onde houve formação de gás, estes foram direcionados para o teste confirmativo de coliformes. Na próxima etapa, cada um dos tubos contendo o Caldo Lactosado positivo foi repicado com alças calibradas estéreis em tubos com Caldo Verde Brilhante (VB), teste esse confirmativo de coliformes totais, sendo incubados a 35/37°C por 24/48 horas. Para coliformes termotolerantes, foi utilizado o Caldo *Escherichia coli* (EC), incubando os tubos a 44,5°C em banho maria. O período de incubação para ambos foi de 24/48 horas. Quando os tubos de VB e EC se apresentaram afirmativos, foram observadas as quantidades de tubos e, posteriormente, realizada a relação com a tabela de número mais provável (NMP/mL).

### 2.5 ANÁLISES DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Para os parâmetros físico-químicos, foram utilizados diversos aparelhos para diferentes testes. Para a análise da amônia, foi utilizado o teste rápido Labcon Test Amônia Tóxica®, que consiste em coletar uma pequena quantidade de água em uma



proveta (5 ml) e pingar oito gotas da solução reagente 1 (fenol, nitroprussiato de sódio, álcool isopropílico e água destilada) e quatro gotas da solução reagente 2 (hidróxido de sódio, hipoclorito de sódio e água destilada), sendo obtida a quantidade de amônia total através de cores em uma tabela. As análises de pH foram realizadas com peagâmetro Tecnopeon mPA-210P, sendo previamente calibrado com diferentes níveis de pH. A mensuração da transparência foi realizada com o Secchi, que consiste em um disco com as cores preto e branco ligado a uma fita métrica; a medida é expressa em centímetros (cm) de fita métrica dentro do tanque até o ponto máximo em que se conseguir visualizar o disco. O teste de condutividade foi realizado através do Condutivímetro Mca-150; a medida é expressa em mS/cm ou S/m. A turbidez foi determinada através do Turbidímetro MS Tecnopeon®, que foi calibrado com 11 diferentes níveis de turbidez; os valores de turbidez são expressos em Unidade Nefelométrica de Turbidez (NTU). O oxigênio dissolvido é crucial aos peixes; ele foi mensurado através do oxímetro OXI ON 1001, previamente regulado. Para medir a cor da água, foi utilizado o Colorímetro DLA-COR e a unidade usada é uC (Unidade de cor).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estudo foi fundamentado em uma análise descritiva com avaliação de frequência relativa (%) e frequência absoluta (n).

A Tabela 1 apresenta a presença ou ausência de *Escherichia coli*. Foi observada a presença desse microrganismo nos 5 tanques analisados. Para confirmação da fonte de contaminação, foi feita mais uma análise da nascente que alimenta os tanques, totalizando 6 amostras.

**Tabela 1:** Presença/ausência de *Escherichia coli*, em tanques de pisciculturas, do *Pesque & Pague Eldorado*, Patos de Minas (MG), 2019

Amostra	Ausência	Presença
Tanque 1		X
Tanque 2		X
Tanque 3		X
Tanque 4		X
Represa 5		X
Nascente 6		X

**Valor de referência:** ausente segundo a Portaria de Consolidação nº 5 de 28 de setembro de 2017.

Fonte: dados de pesquisa, 2019.

De acordo com os dados apresentados, supõe-se que a nascente que alimenta os tanques analisados deriva de outro produtor de bovinocultura de corte, que deixa seu gado tomar água no rio; os animais defecariam no rio, infectando a água.

A contaminação ressalta a importância de intervenções adicionais à melhoria estrutural do abastecimento de água. Deve-se dar uma atenção à fonte. Medidas de saneamento são bastante importantes, porém é necessário sempre ficar atento ao armazenamento apropriado da água nos reservatórios e às medidas adicionais para

desinfecção, além de se evitar o descarte de material orgânico próximo a fontes de água (FERREIRA; VILELA, 2011).

Entre as diversas bactérias de origem fecal, dentro do grupo dos coliformes, a *Escherichia coli*, além de ser a mais conhecida, é a mais facilmente diferenciada dos membros não fecais. A *Escherichia coli*, embora possa ser introduzida nos alimentos a partir de fontes não fecais, é o melhor indicador de contaminação fecal até os dias de hoje.

Os resultados das análises de coliformes totais e coliformes termotolerantes estão apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2:** Presença/ausência de coliformes totais e coliformes termotolerantes, em tanques de pisciculturas, do *Pesque & Pague Eldorado, Patos de Minas (MG)*, 2019

Amostra	Coliformes totais	Coliformes termotolerantes
Tanque 1	P	P
Tanque 2	P	P
Tanque 3	P	P
Tanque 4	P	P
Represa 5	P	P

**Valor de referência:** ausente segundo a Portaria de Consolidação nº 5 de 28 de setembro de 2017.  
**Abreviaturas:** P: presença; A: ausência.

Fonte: dados de pesquisa, 2019.

Foi observada presença de coliformes totais e coliformes termotolerantes em todos os tanques; os testes de coliformes totais e coliformes termotolerantes, foram realizadas depois do teste da *Escherichia coli*. Desse modo, suspeita-se que a contaminação possa ser oriunda água da nascente conferindo a mesma medida sugerida para *E. coli*.

As amostras de águas foram provenientes dos tanques de pisciculturas semi-intensivo e extensivo, povoados por diversas espécies de peixes. Assim, é necessário fazer um bom controle, para evitar lotação nos tanques e alterações na água. Na literatura, há estudo que mostram resultados dentro das normas brasileiras. Neste estudo, ocorreu o oposto, já que todas as amostras deram positivo para coliformes totais e coliformes termotolerantes.

O piscicultor deve ficar atento às possíveis fontes de infecção, as quais podem ser oriundas de várias vias como águas que vêm com peixes de transportes, e o produtor mistura essa água com a água do tanque, ou de nascentes que aparentemente podem ser livre de microrganismos maléficos, mas na verdade são fontes de contaminação do tanque. Para Silva (2017), a qualidade da água está diretamente relacionada com influências externas como a qualidade da fonte da água, características do solo, introdução de alimentos e clima e com aspectos internos dos tanques, como a densidade dos peixes, tornando-se importante observar as possíveis fontes de contaminação.

Na Tabela 3, encontram-se os resultados das análises dos parâmetros físicos da água (luminosidade, turbidez e cor).

**Tabela 3:** Parâmetros físicos das análises da água, em tanques de pisciculturas, do *Pesque & Pague Eldorado*, Patos de Minas (MG), 2019

Amostra	Luminosidade	Turbidez	Cor
Amostra 1	60 cm	4,90 NTU	2 UC
Amostra 2	62 cm	3,30 NTU	2 UC
Amostra 3	80 cm	4,00 NTU	5 UC
Amostra 4	90 cm	1,95 NTU	3 UC
Amostra 5	55 cm	7,20 NTU	3 UC
<b>Valor de Referência:</b>	<b>30-45 cm</b>	<b>&lt;100 NTU</b>	<b>&lt;15 UC</b>

**Abreviaturas:** CM: centímetros; NTU: unidade turbidez nefelométrica; UC: unidade cor.

Fonte: dados de pesquisa, 2019.

A luminosidade da água está relacionada com a penetração de luz na água; ela serve como indicativo de produtividade natural de fitoplânctons e oxigênio dissolvido. O valor de referência é 30 cm a 45 cm. Em todos os tanques, a água analisada estava fora do padrão; nos tanques de sistema semi-intensivo, estava acima de 60 cm, que indica água muito clara, o que interfere na produtividade e gera problema com plantas daninhas aquáticas. A análise da água do tanque extensivo mostrou 55 cm, o que indica que os fitoplânctons estão se tornando escassos.

O ideal nesses casos em sistemas com tanques é a adubação, para aumento de fitoplânctons, assim haverá alimentos para os peixes e, ao mesmo tempo, a água ficará mais escura, deixando a claridade na medida ideal, para uma boa produção, contribuindo, assim, para o aumento da quantidade de oxigênio dissolvido na água, pois, com a presença de fitoplânctons, ocorre a fotossíntese.

Quando se têm tanques escuros com materiais em suspensão, como matéria orgânica, areia, argila, entre outros, isso se refere à turbidez da água, que é um aspecto físico expresso por unidade turbidez nefelométrica (NTU). Além de referir-se à qualidade da água, a turbidez está relacionada com qualidade estética (CLESCERI *et al.*, 1998).

Para o CONAMA nº 357/2005, as águas destinadas à aquicultura e atividade de pesca devem apresentar turbidez até 100 UNT (BRASIL, 2005). Assim, verificou-se que os valores encontrados no experimento estão dentro das normas, contribuindo para uma boa produtividade. A transparência é o contrário da turbidez: a transparência mede os raios solares penetráveis na água; a turbidez está relacionada com o grau de redução de luz que consegue penetrar na água, quanto maior a turbidez, menor será a penetração de luz na água, causada pela presença de sólidos (SILVA *et al.*, 2015).

A cor da água é um parâmetro que pode variar de diversas formas, isso pode depender da quantidade de matéria orgânica, pH, amônia, fitoplânctons, entre outros. Para peixes, a cor é “subjetiva”. Como citado neste estudo, cada peixe pode vir a ter preferência por uma cor; essa cor pode ser mensurada por uC (Unidades de Cor), que pode indicar se há substâncias ou não na água; para o consumo humano, se tem o valor ideal de cor inferior a 15 uC (BRASIL, 2011). Assim, verificou-se que os tanques da propriedade estão em boas condições em relação à cor.

Na Tabela 4, encontram-se os resultados das análises química das águas, como amônia, pH, condutividade, oxigênio dissolvido.

**Tabela 4:** Parâmetros químicos das análises da água, em tanques de pisciculturas, do *Pesque & Pague Eldorado*, Patos de Minas (MG), 2019

Local	Amônia	pH	Condutividade	Oxigênio dissolvido
Amostra 1	0,25 ppm	5,64	66,57 us/cm	4,95 mg/L
Amostra 2	0,25 ppm	5,15	51,50 us/cm	5,04 mg/L
Amostra 3	0,00 ppm	5,61	48,31 us/cm	5,24 mg/L
Amostra 4	0,00 ppm	5,68	57,78 us/cm	5,14 mg/L
Amostra 5	0,00 ppm	5,74	5990 us/cm	5,37 mg/L
<b>Valor de Referência:</b>	<b>&lt;0,30 ppm</b>	<b>6-8,5</b>	<b>20 -100 us/cm</b>	<b>4,0 -7,0 mg/L</b>

**Abreviaturas:** PPM: partes por milhão; US: umhos; CM: centímetros; MG/L: miligramas por litro.

Fonte: dados de pesquisa, 2019.

O nitrogênio em ambiente aquático pode ser encontrado de diferentes formas. Uma delas é a amônia. Esse quadro aumenta no decorrer do tempo devido a vários fatores, entre eles a adubação, como citado acima, para melhorar a quantidade de algas. Geralmente, os fertilizantes usados em tanques de pisciculturas contêm nitrogênio nas formas de nitrato e amônia (BOYD, 1992); a acumulação dessas fontes constitui um dos principais obstáculos para o desenvolvimento dos peixes (KOCHBA *et al.*, 1994).

Na literatura, há estudos sobre qualidade da água para vida dos peixes. Nesses estudos, valores acima de 0,20 mg/l de amônia já são suficientes para induzir a toxicidade crônica dos peixes. Em estudos mais recentes, esse número aumenta para 0,30 ppm. Os tanques avaliados tiveram bons resultados, tendo em vista que o maior valor encontrado foi 0,25 ppm; esse valor não afetará a produção, mas o piscicultor deve fazer testes e acompanhamento com frequência, pois a amônia é um fator que pode subir rapidamente.

O grau de acidez, neutralidade ou alcalinidade se dá através do potencial hidrogeniônico, um fator que pode estar relacionado com níveis de amônia (ESTEVES, 1998). Níveis baixos de pH podem vir a prejudicar a reciclagem dos nutrientes devido à redução da taxa de decomposição da matéria orgânica e inibe a fixação de nitrogênio (MERCANTE *et al.*, 2005); níveis altos demais podem ter maior transformação de íons em amônia livre gasosa.

Valores entre 6,0 a 8,5 são ideais para criação de peixes, segundo a Empraba. Assim, quando comparados com os valores encontrados no experimento, ficam fora do padrão, indicando acidez nos tanques. Com isso, a redução da produção é constante. Para evitar isso, é necessário fazer a calagem dos tanques; pode ser usado também sulfato de cálcio. Como os números de amônia foram baixos neste estudo, a calagem não será de alto risco, porém sempre avaliando esse parâmetro.

A quantidade de íons na água é a capacidade da solução de conduzir corrente elétrica, nomeado de condutividade. Para as aplicações de práticas para tomar medidas de condutividade, têm-se indicação do grau de mineralização da água e indicação rápida de variações nas concentrações de minerais dissolvidos (CLESCERI *et al.*, 1998).

Quando se têm altos valores de condutividade, isso pode significar que o tanque está com altas taxas de decomposição de matéria orgânica, sendo um indicativo de problemas com poluição. A taxa ideal condutividade, para que se tenha um tanque

de piscicultura, é de 20 a 100  $\mu\text{s}/\text{cm}$ . Todos os tanques da propriedade em estudo apresentaram bons resultados em relação à condutividade da água, não sendo necessária a manutenção nessa parte.

Para que se obtenha oxigênio dissolvido na água, os meios mais comuns são por difusão direta, ou seja, contato do ar na água, pode ser obtido por mangueiras ou nascentes, que, por sua vez, caem na água e fazem a oxigenação. Outro meio é por fotossíntese, realizado pelo fitoplâncton, ocorrendo uma variação de oxigênio dissolvido na água entre a parte da manhã e da noite. O OD é um componente essencial para o metabolismo dos microrganismos aeróbicos, indispensáveis para os seres vivos; mesmo sendo aquáticos, a maioria dos peixes não resiste a concentrações inferiores a 4,0 mg/L de OD (KEGLEY; ANDREWS, 1998).

A temperatura está diretamente envolvida com vários aspectos. Um deles é o OD. Quanto mais baixa a temperatura, mais rico em oxigênio será o meio; quanto mais alta a temperatura, menor será a quantidade de OD. Dessa forma, o valor ideal para temperatura é 25 a 32 °C; e o ideal de OD é de 4,0 a 7,0. Os tanques do pesque e pague apresentaram boa oxigenação na água, entretanto há apenas uma mangueira de DN50 para oxigenar a água dos tanques. Então foi recomendado o uso de aerador, pois a oxigenação dos tanques foi verificada em dias frescos e pode vir decrescer se a temperatura cair ou aumentar demais.

#### 4 CONCLUSÃO

Concluiu-se com este estudo microbiológico que houve presença de microrganismos em todas as fontes de água. Quanto à qualidade físico-química da água, foram detectados alguns resultados fora dos padrões recomendados para uma boa piscicultura. Dessa forma, faz-se necessário o emprego de boas práticas para regularizar os níveis ideais de qualidade de água da atividade.

#### REFERÊNCIAS

BRASIL. **Resolução Conama nº 357, de 17 de Março de 2005**. Dispõe Sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União. Brasília: DOU, 18 mar. 2005.

BOYD, C. E. **Water quality management for ponds fish culture**: Developments in aquaculture and fisheries science. 9. ed. Amsterdam: Elsevier. 1992.

CLESCERI, L. S. *et al.* **Standard methods for the examinations of water and wastewater**. 20. ed. Washington, DC: American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environment Federations, 1998.

ESTEVES, F. de Assis. **Fundamentos da limnologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

FERREIRA, S. A; VILELA, V. L. D. **Análise microbiológica de nascentes na área rural do Distrito do Pirapó, Apucarana PR.** 2011. 5 f. Monografia (Especialização) – Curso de Microbiologia, Faculdade de Apucarana, Paraná, 2011.

HENRIQUES, Kenny Rogers da Silva. **Deteção de coliformes totais e *Escherichia coli* em água de consumo humano pelo método Colilert.** 2010. 5 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2010.

KEGLEY, S. E.; ANDREWS, J. **The chemistry of water.** Sausalito (CA): University Science Nooks, 1998.

KOCHBA, M. *et al.* Modeling of nitrogen transformation in intensively aerated fish ponds. **Aquaculture**, [S. l.], v. 120, p. 95-104, 1994.

KUBITZA, Fernando. **Qualidade da água na produção de peixes.** 3. ed. Jundiaí: Embrapa Amazônia Ocidental, 1999.

LACHI, G. B.; SIPAÚBA-TAVARES, L. H. Qualidade da água e composição fitoplanctônica de um viveiro de piscicultura utilizado para fins de pesca esportiva e irrigação. **Boletim do Instituto de Pesca**, São Paulo, v. 34, n. 1, p. 29-38, 2008.

MERCANTE, Cacilda Thais Janson. Qualidade da água em pesque-pague da região metropolitana de São Paulo (Brasil): avaliação através de fatores abióticos (período seco e chuvoso). **Acta Scientiarum Biological Sciences**, Maringá, v. 27, n. 1, p. 1-7, mar. 2005.

MERCANTE, Cacilda Thais Janson *et al.* Qualidade da água em viveiro de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*): caracterização diurna de variáveis físicas, químicas e biológicas. **Bioikos**, Campinas, v. 21, n. 2, p. 79-88, dez. 2007.

REIS, G. P. A. **Avaliação qualitativa da água de pesqueiros na região do Alto Paranaíba.** Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Zootecnia) – Centro Universitário de Patos de Minas, 2018.

SILVA, Gisele Ferreira. **Tilápia-do-Nilo:** criação e cultivo em viveiros no estado do Paraná. Curitiba: Gia, 2015. 292 p.

SILVA, Neli Assunção. **Características de impactos gerados pela piscicultura na qualidade da água:** estudo de caso na Bacia do Rio Cuiabá/MT. 2007. 119 p. Dissertação (Pós-Graduação). Instituto de Ciências Exatas e da Terra. Departamento de Física. Universidade Federal do Mato Grosso, Mato Grosso, 2007.

SES/SP. Doenças relacionadas à água ou de transmissão hídrica: perguntas e respostas e dados estatísticos. **Informe Técnico**, São Paulo, 2017.

SOUZA, G. M. D. de *et al.* Análise da qualidade microbiológica da água, ao longo da cadeia produtiva de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), na região norte do Estado do Paraná. *In*: VII EPCC (Encontro Internacional de Produção Científica), Londrina (PR), 2011. **Anais Eletrônico...**, Londrina (PR): CESUMAR, 2011. Disponível em: [http://rdu.unicesumar.edu.br/bitstream/123456789/6315/1/gabriel\\_marcos\\_domingues\\_souza.pdf](http://rdu.unicesumar.edu.br/bitstream/123456789/6315/1/gabriel_marcos_domingues_souza.pdf).

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2005.

# Uso de *Azospirillum brasilense* no estabelecimento da *Brachiaria brizantha*

*Use of Azospirillum brasilense in the establishment of Brachiaria brizantha*

ROGÉRIO AMORIM DOS REIS

Discente do curso de Zootecnia (UNIPAM)

E-mail: rogerio\_amorim20@hotmail.com

HÉLIO HENRIQUE VILELA

Professor orientador (UNIPAM)

E-mail: heliohv@unipam.edu.br

---

**Resumo:** A utilização de bactérias diazotróficas (fixadoras biológicas de nitrogênio) é uma alternativa para se reduzir o uso de fertilizantes nitrogenados sem reduzir a produção. Nesse sentido, objetivou-se avaliar o desenvolvimento inicial da *Brachiaria brizantha* cv. Piatã quando semeada com sementes inoculadas com *Azospirillum brasilense*. Para isso, adotou-se o delineamento inteiramente casualizado, com cinco tratamentos (inoculação com 0,025 g, 0,05 g, 0,075 g, 0,10 g e 0,125 g do produto contendo *Azospirillum brasilense*) e quatro repetições, totalizando-se 20 unidades experimentais. Foram avaliados massa seca e comprimento de raízes, produção de matéria seca, densidade populacional de perfilhos, altura de plantas e comprimento de colmo, comprimento da última folha expandida, relação folha:colmo, número de folhas vivas e mortas. Não foi verificado efeito significativo dos tratamentos em nenhuma das variáveis analisadas ( $P>0,05$ ). A inoculação das sementes utilizando quantidades diferentes da quantidade recomendada pelo fabricante não teve efeito benéfico ao desenvolvimento da *Brachiaria brizantha* cv. Piatã.

**Palavras-chave:** Adubação. Bactérias diazotróficas. Capim-piatã.

**Abstract:** The use of diazotrophic bacteria (biological nitrogen fixers) is an alternative to reduce the use of nitrogen fertilizers without reducing production. In this sense, the objective was to evaluate the initial development of *Brachiaria brizantha* cv. Piatã when sown with seeds inoculated with *Azospirillum brasilense*. For this, a completely randomized design was adopted, with five treatments (inoculation with 0.025 g, 0.05 g, 0.075 g, 0.10 g and 0.125 g of the product containing *Azospirillum brasilense*) and four replications, totaling 20 experimental units. Habitat dry mass and root length, dry matter yield, plant population density, plant height and stem length, length of the last expanded leaf, leaf reference: stem, number of live leaves and deaths, were evaluated. There was no significant effect of the treatments on any of the analyzed variables ( $P>0.05$ ). Seed inoculation using amounts different from the amount recommended by the manufacturer had no beneficial effect on the development of *Brachiaria brizantha* cv. Piatã.

**Keywords:** Fertilization. Diazotrophic bacteria. Piatã grass.

---



## 1 INTRODUÇÃO

Segundo dados do IBGE (2015), o efetivo de bovinos no Brasil alcançou a marca de 215,2 milhões de cabeças no ano de 2015, representando um crescimento de 1,3% em relação a 2014. A principal fonte de alimento desses animais é a forragem proveniente de pastagens. Sendo assim, o Brasil possui uma imensa área de pastagens, estimada em aproximadamente 168 milhões de hectares, dos quais boa parte se encontra em algum estágio de degradação, resultando em baixa taxa de lotação, com média em torno de 1,1 UA/ha.

De acordo com Cordeiro *et al.* (2004), o manejo inadequado em áreas sob atividades pecuárias se destaca como uma das principais causas no declínio da fertilidade natural dos solos. Essa prática tem levado inicialmente à degradação das pastagens e, como consequência, à degradação do próprio solo, sendo este um dos fatores limitante à lotação das pastagens.

Outro fator que limita a produção das pastagens é a deficiência de nitrogênio (N) (OLIVEIRA *et al.*, 1997), influenciando o crescimento da planta mais do que qualquer outro nutriente (BREDEMEIER; MUNDSTOCK, 2000). Sua deficiência compromete os processos de crescimento e reprodução da planta (CAZETTA *et al.*, 2007) e ela não consegue se recuperar posteriormente. Apesar da grande importância da aplicação de N na produção das pastagens, esta é uma prática que tende a elevar os custos de produção, tanto de implantação quanto de manutenção. Além disso, parte do N introduzido no sistema de produção agrícola é frequentemente perdida, o que reduz sua eficácia e os lucros oriundos dos empreendimentos na pecuária (PRIMAVESI *et al.*, 2004).

Sendo assim, os custos econômicos e ambientais relacionados à fertilização nitrogenada têm estimulado a busca por alternativas que possam diminuir a utilização de fertilizantes nitrogenados sem que haja redução na produção das culturas. Uma das possibilidades para viabilizar maior rendimento e diminuir custos sem prejudicar o ambiente é a utilização do potencial genético das plantas, aliada aos recursos biológicos do solo, como as bactérias diazotróficas, que podem fixar o N atmosférico ao solo, tornando-o disponível para a planta, e produzir hormônios que estimulam o crescimento vegetal, principalmente de raízes, aumentando a absorção de nutrientes e água (BASHAN *et al.*, 2004; RADWAN *et al.*, 2005).

As bactérias diazotróficas do gênero *Azospirillum* têm sido estudadas com frequência, pois, quando em associação com estas bactérias, as plantas podem se beneficiar do N que é introduzido no sistema via fixação biológica de nitrogênio (FBN). A FBN, além de garantir um ecossistema em equilíbrio, possibilita a redução na aplicação de doses excessivas de compostos nitrogenados (os quais podem contaminar as águas), contribuindo para o desenvolvimento de uma agricultura menos agressiva ao ambiente (PEOPLES; CRASWELL, 1992). Diante disso, a busca por sistemas alternativos de produção agrícola que atenuem ou mesmo suprimam os efeitos danosos dos agroquímicos usados indiscriminadamente nos sistemas convencionais tem crescido (OLIVEIRA *et al.*, 2003), e a exploração do potencial da FBN atmosférico em gramíneas tropicais tem surgido como uma saída sustentável para esse impasse (SOUTO, 1982; OLIVEIRA *et al.*, 2003).

Além disso, dentre as contribuições do uso do *Azospirillum*, destacam-se aumento na taxa de acúmulo de matéria seca, aumento na biomassa e altura, aceleração na taxa de germinação e benefícios no sistema radicular, proporcionando consequente aumento na produtividade (DALLA SANTA *et al.*, 2004; HUNGRIA *et al.*, 2010; VOGEL *et al.*, 2013). Hungria *et al.* (2010) afirmaram que a utilização de bactérias *Azospirillum brasilense* em associação com gramíneas, como milho e trigo, apresentaram resultados positivos. No entanto, poucos estudos têm sido desenvolvidos direcionados a gramíneas forrageiras, o que torna difícil a afirmação de um inoculante específico para essa cultura, que favoreça e promova seu crescimento, assim como já existe para soja. Nesse sentido, o objetivo desse trabalho foi avaliar o uso da bactéria *Azospirillum brasilense* no estabelecimento da *Brachiaria brizantha* cv. Piatã.

## 2 METODOLOGIA

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no Centro Universitário de Patos de Minas - UNIPAM, durante o período de 12 de maio a 31 de julho de 2017, totalizando 81 dias de período experimental.

Para a implantação do experimento, foi utilizado o Delineamento Inteiramente Casualizado - DIC, com cinco tratamentos e quatro repetições, totalizando-se 20 unidades experimentais, as quais foram constituídas por baldes plásticos com capacidade para cinco dm<sup>3</sup>. Os tratamentos consistiram no uso de 0,025 g, 0,05 g, 0,075 g, 0,10 g e 0,125 g do produto contendo o *Azospirillum brasilense*, via tratamento de sementes, correspondendo respectivamente, à metade da dose recomendada; à dose recomendada; 1,5; 2,0; 2,5 vezes a dose recomendada pelo fabricante.

Para o tratamento das sementes, foram separadas em saquinhos plásticos 50 sementes de *Brachiaria brizantha* cv. Piatã para cada unidade experimental. Posteriormente, as quantidades de produto estipuladas para cada tratamento foram pesadas e adicionadas a cada saquinho. Depois disso, os saquinhos foram fechados, chacoalhados para a mistura do produto com as sementes e permaneceram fechados por cinco dias. Passado este período de tratamento e já com todos os vasos ocupados pelo mesmo tipo de solo, foram abertos sulcos no solo dos vasos e realizada a semeadura. A irrigação foi realizada três vezes na semana, durante todo o período experimental, utilizando-se a mesma quantidade de água em cada vaso.

Antes da semeadura, o solo utilizado no experimento foi analisado na Central de Análises de Fertilidade do Solo (CeFert) do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM) e apresentou as seguintes características (tabela 1).

**Tabela 1:** Análise química de fertilidade do solo

Análise	Valor
pH água	5,47
M.O.	4,64 dag kg <sup>-1</sup>
P-rem	5,59 mg L <sup>-1</sup>
P-meh	2,43 mg dm <sup>-3</sup>
K <sup>+</sup>	177,25 mg dm <sup>-3</sup>
Ca <sup>2+</sup>	2,00 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
Mg <sup>2+</sup>	1,30 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
Al <sup>3+</sup>	0,09 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
H + AL	4,0 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
SB	3,75 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
T	3,84 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
T	7,75 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
V	48,41%
M	2,34%

SB = Soma de Bases; t = CTC efetiva; T = CTC a pH 7,0; V = Sat. de bases; m = Sat. por alumínio. P, K = [Mehlich-1, HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup>]; Ca, Mg, Al = [KCl 1 mol L<sup>-1</sup>]; H + Al = [Solução Tampão - SMP a pH 7,5]; M.O. = Método Titulométrico.

Fonte: dados da pesquisa, 2017.

Em função das características químicas do solo e do capim utilizado, optou-se por não realizar nenhum tipo de correção do solo para a semeadura. Na adubação de cobertura, foram utilizados 100 kg/ha de nitrogênio, utilizando-se como fonte o sulfato de amônio, dividido em duas adubações correspondentes a 50 kg/ha de nitrogênio. Em cada uma delas, foram pesados 238,10 g de sulfato de amônio, correspondente a 50 kg/ha de nitrogênio, o qual foi diluído em 2 litros de água, sendo aplicados 100 ml da solução em cada unidade experimental. As adubações de cobertura foram realizadas aos 40 e 55 dias posteriores à semeadura, adotando-se o mesmo procedimento em ambas.

Ao findarem os dias de condução do experimento, as seguintes variáveis foram mensuradas:

- massa seca de raízes: por meio da lavagem de todo o sistema radicular das plantas presentes em cada balde e, posteriormente, secagem em estufa a 60°C;
- comprimento de raízes: medindo-se desde a base da planta até a ponta da raiz mais longa;
- produção de matéria seca: por meio da colheita da parte aérea das plantas e secagem em estufa a 60°C;
- densidade populacional de perfilhos: por meio da contagem dos perfilhos vivos em cada balde;
- altura de planta e comprimento de colmo: medindo-se a altura da planta desde sua base até a ponta da folha mais alta e medindo-se o colmo desde a base da planta até a inserção (lígula) da última folha expandida, em cinco perfilhos tomados aleatoriamente em cada balde;
- comprimento da última folha expandida: por meio da mensuração do comprimento da última folha expandida, em cinco perfilhos tomados aleatoriamente em cada balde;

- relação folha:colmo: por meio da pesagem separada de todas as folhas e colmos de cada um dos perfilhos tomados para análise e, posteriormente, dividindo-se o peso seco das folhas pelo peso seco de colmos;
- número de folhas vivas e número de folhas mortas: por meio da contagem do número de folhas vivas e mortas, em cinco perfilhos tomados aleatoriamente em cada balde.

Os dados mensurados foram tabulados e posteriormente submetidos à análise de variância. Quando observado efeito significativo dos tratamentos, estes foram submetidos ao teste de regressão. Ambas as análises foram realizadas utilizando-se o software Sistema de Análise de Variância – SISVAR (FERREIRA, 2014), adotando 5% como nível de significância.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para avaliar o desenvolvimento do sistema radicular, foram considerados o comprimento e a massa seca das raízes, não havendo efeito significativo ( $P>0,05$ ) dos tratamentos para ambas as variáveis (tabela 2).

**Tabela 2:** Massa seca e comprimento de raízes da *Brachiaria brizantha* cv. Piatã, submetida à inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense*

Tratamentos	Massa seca de raízes (g)	Comprimento de raízes (cm)
0,025 g	13,89	55,50
0,05 g	16,12	60,50
0,075 g	15,53	60,70
0,10 g	15,32	55,50
0,125 g	13,71	58,20
<b>Médias</b>	14,91	58,10

Fonte: dados da pesquisa, 2017.

Resultados diferentes foram obtidos por Hungria (2011), os quais comprovaram que gramíneas são colonizadas por bactérias diazotróficas endofíticas. Por diferentes métodos de ação, a exemplo da FBN ou da produção de fito-hormônios, atuam no aumento do sistema radicular das plantas. Okon e Vanderleyden (1997) também encontraram resultados favoráveis quanto ao uso de *Azospirillum brasilense*, afirmando que esses microrganismos contribuem não só com a FBN, mas principalmente com alterações morfológicas e fisiológicas nas raízes das plantas.

A produção de matéria seca (MS), a densidade populacional de perfilhos (DPP), a altura de plantas e o comprimento de colmo não foram influenciados pela inoculação das sementes pré-semeadura ( $P>0,05$ ), conforme pode ser observado na tabela 3.

**Tabela 3:** Produção de matéria seca, densidade populacional de perfilhos, altura de plantas e comprimento de colmo da *Brachiaria brizantha* cv. Piatã, submetida à inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense*

Tratamentos	Produção MS (g/vaso)	DPP (perfilhos/vaso)	Altura de plantas (cm)	Comprimento de colmo (cm)
0,025 g	37,78	34,00	77,00	30,50
0,05 g	42,21	31,00	79,20	32,50
0,075 g	38,84	28,00	78,50	29,70
0,10 g	38,21	35,00	79,70	28,20
0,125 g	38,53	25,00	85,20	36,00
<b>Média</b>	39,12	31,00	79,92	31,38

Fonte: dados da pesquisa, 2017.

Em relação à produção de MS, resultados semelhantes foram encontrados por Bashan e Holguin (1997), que testaram a eficiência do *Azospirillum* spp. em milho, no qual a inoculação não resultou em aumento de produtividade. Tais resultados diferem daqueles encontrados por Hungria *et al.* (2010), os quais verificaram aumento de 26% na produção de milho; porém, os autores afirmam que esse incremento na produção foi atribuído ao aumento da absorção de macro e micronutrientes, e não especificamente ao processo de fixação biológica de nitrogênio. Incrementos em produtividade também foram observados por Sala *et al.* (2007) e Cavallet *et al.* (2000) para as culturas do milho e trigo, respectivamente. Possivelmente, o aumento na produtividade nessas culturas esteja relacionado ao melhor desenvolvimento de seu sistema radicular.

A altura de plantas associada à DPP representa, entre outras, característica determinante da produção de MS. O uso de maior quantidade de *Azospirillum* proporcionou, numericamente, plantas de maior altura; no entanto, a DPP de perfilhos, neste mesmo tratamento, foi numericamente menor, resultando em produção de MS semelhante aos demais tratamentos. A altura de colmo também foi numericamente superior quando se utilizou maior quantidade de *Azospirillum*, o que certamente contribuiu para que a altura de plantas também fosse maior.

Cavallet *et al.* (2000), utilizando sementes de milho, encontraram resultados semelhantes para altura de plantas. A inoculação com *Azospirillum* spp. não influenciou essa característica; no entanto, quando utilizada a associação entre *Azospirillum* spp. via tratamento de sementes e aplicação de 30 kg/ha de nitrogênio em cobertura, Ramos *et al.* (2010) encontraram altura de plantas de milho superior à testemunha.

O comprimento de colmo, conforme descrito por Niklas (1994), é influenciado diretamente pela altura do dossel, pois esta demanda aumento na estrutura de sustentação da planta, sendo este aumento proporcional à força requerida para suportar as folhas do perfilho. Nesse sentido, ao se observarem os dados, pode-se notar que, embora sem efeito significativo, no tratamento onde se observou numericamente maiores alturas de plantas (0,125 g), também foram observados os maiores comprimentos de colmo. É possível que o uso de maior quantidade de *Azospirillum brasilense* tenha contribuído para maior FBN, tornando-o mais disponível às plantas, o que refletiu nesse incremento de altura.

A DPP variou de 25 a 35 perfilhos/vaso para os tratamentos cuja inoculação das sementes foi com 0,125 g e 0,10 g do produto contendo *Azospirillum brasilense*, respectivamente. Outros fatores inerentes ao ambiente possuem maior efeito sobre a emissão de perfilhos que a inoculação de sementes com *Azospirillum*. Para Ozturk *et al.* (2006), a emissão e a sobrevivência de perfilhos são dependentes da interação entre genótipo e ambiente; a qualidade de luz que incide sobre o dossel vegetativo também é outro fator que suprime o desenvolvimento de perfilhos, estimulando a dominância apical (ALMEIDA *et al.*, 2002).

Ao se dividir a produção de MS pela DPP correspondente, encontrou-se a variável peso/perfilho, conforme apresentado na tabela 4. Ressalta-se que apenas se apresentou essa variável para enriquecer o trabalho, não sendo esta submetida à análise de variância.

**Tabela 4:** Peso/perfilho da *Brachiaria brizantha* cv. Piatã, submetida à inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense*

Tratamentos	Produção MS (g/vaso)	÷	DPP (perfilhos/vaso)	=	Peso/perfilho (g)
0,025 g	37,78		34,00		1,11
0,05 g	42,21		31,00		1,36
0,075 g	38,84		28,00		1,38
0,10 g	38,21		35,00		1,09
0,125 g	38,53		25,00		1,54
<b>Média</b>	39,12		31,00		1,26

Fonte: dados da pesquisa, 2017.

Observando o peso/perfilho e relacionando-o com a DPP, pode-se notar o efeito da compensação tamanho/DPP, que foi estudada por vários autores (YODA *et al.*, 1963; SACKVILLE-HAMILTON *et al.*, 1995; PRETZSCH, 2002). Segundo esses estudos, maior DPP resulta em perfilhos menores; menor DPP resulta em perfilhos maiores. Embora nenhuma das variáveis envolvidas nessa descrição apresentasse efeito significativo, pode-se notar que, numa condição de maior DPP (35 perfilhos/vaso), o peso/perfilho foi menor (1,09 g), acompanhado de menor comprimento de colmo (28,20 cm). Ao contrário, numa condição de menor DPP (25 perfilhos/vaso), o peso/perfilho foi maior (1,54 g), acompanhado de maior altura de plantas (85,20 cm) e comprimento de colmo (36,00 cm), confirmando o efeito de compensação entre tamanho/DPP.

O comprimento da última folha expandida, a relação folha:colmo, o número de folhas vivas e mortas não foram influenciadas ( $P > 0,05$ ) pelos tratamentos (Tabela 5).

**Tabela 5:** Comprimento da última folha expandida (CFE), relação folha:colmo (F:C), número de folhas vivas (NFV) e mortas (NFM) da *Brachiaria brizantha* cv. Piatã, submetida à inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense*

Tratamentos	CFE (cm)	F:C (g)	NFV	NFM
0,025 g	38,00	0,96	4,65	1,85
0,05 g	40,50	0,99	5,05	1,90
0,075 g	39,50	0,92	4,70	1,80
0,10 g	40,20	0,90	4,80	1,55
0,125 g	39,50	0,83	5,10	1,45
<b>Média</b>	39,50	0,92	4,86	1,71

Fonte: dados da pesquisa, 2017.

Os resultados encontrados para o comprimento da última folha expandida não foram influenciados pelas doses de *Azospirillum* utilizadas. Fischer *et al.* (2001) destaca que essa variável e a longevidade das folhas são determinadas geneticamente, podendo ou não ser influenciadas por diversos fatores.

Os resultados obtidos para a relação folha:colmo corroboram aqueles observados por Santos (2013), em trabalho realizado com capim-marandu submetido à inoculação com bactérias diazotróficas, o qual também não encontrou resultados significativos para essa variável. Numericamente menor, a relação folha:colmo obtida no tratamento em que se utilizou 0,125 g do produto contendo *Azospirillum brasilense* possivelmente é reflexo do maior valor encontrado para comprimento de colmo nesse tratamento, o que muito provavelmente se refletiu em maior peso do colmo, afetando diretamente a relação folha:colmo.

Segundo Wilson e t'Mannetje (1978), as porções verdes da planta são as mais nutritivas da dieta, consumidas preferencialmente pelos animais. Segundo esses autores, alta relação folha:colmo representa forragem com elevado teor de proteína, digestibilidade e consumo, além de conferir à gramínea melhor adaptação ao pastejo ou tolerância ao corte. Nesse sentido, é possível inferir que as plantas oriundas do tratamento 0,05 g fossem mais bem consumidas, enquanto aquelas oriundas do tratamento 0,125 g fossem mais rejeitadas.

Embora sem efeito estatístico, na medida em que se usou maior quantidade de *Azospirillum brasilense*, houve uma redução no número de folhas mortas e ligeiro aumento no número de folhas vivas. Esses resultados estão de acordo com aqueles encontrados por Guimarães *et al.* (2011) em trabalho realizado com *Brachiaria decumbens* também em desenvolvimento inicial. Os autores verificaram um aumento de 10% no número de folhas quando comparado à ausência do inoculante. Esse aumento na quantidade de folhas vivas se torna importante para a recuperação das gramíneas, pois se sabe que as folhas são órgãos fotossintetizantes responsáveis pela captura e utilização da energia luminosa para realização de reações químicas vitais à planta (TAIZ; ZEIGER, 2004).

#### 4 CONCLUSÃO

A inoculação de sementes de *Brachiaria brizantha* cv. Piatã com *Azospirillum brasilense* em quantidades menores ou maiores que aquela indicada pelo fabricante não é benéfica ao seu desenvolvimento, uma vez que os resultados mais positivos coincidiram com a recomendação do fabricante. Recomenda-se que novos estudos sejam realizados com plantas forrageiras, sobretudo, considerando um tratamento controle sem inoculação.

#### REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M. L.; SANGOI, L.; TRENTIN, P. S.; GALIO, J. Cultivares de trigo respondem diferentemente à qualidade da luz quanto à emissão de afilhos e acumulação de massa seca. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 3, p. 377-383, 2002.
- BALDANI, J. I.; REIS, V. R. S.; TEIXEIRA, K. R. S.; BALDANI, V. L. D. Potencial biotecnológico de bactérias diazotróficas associativas e endofíticas. *In*: SERAFINI, L. A.; BARROS, N. M.; AZEVEDO, J. L. (Org.) **Biotecnologia**: avanços na agricultura e na agroindústria. Caxias do Sul: EDUCS, 2002.
- BALDANI, V. L. D.; BALDANI, J. I.; DOBEREINER, J. Effects of *Azospirillum* inoculation on root infection and nitrogen incorporation in wheat. **Canadian Journal of Microbiology**, Ottawa, v. 29, p. 284-299, 1983.
- BASHAN, Y.; HOLGUIN, G.; DE-BASHAN, L. E. *Azospirillum*-plant relations physiological, molecular, agricultural, and environmental advances (1997-2003). **Canadian Journal of Microbiology**, [S.l], v. 50, p. 521-577, 2004.
- BASHAND, Y.; HOGUIN, G. *Azospirillum*-plant relationship: environmental and physiological advances (1990-1996). **Canadian Journal Microbiology**, Ottawa, v. 43, p. 103-121, 1997.
- BAZZICALUPO, M.; OKON, Y. Associative and endophytic symbiosis. *In*: PEDROSA, F.; HUNGRIA, M.; YATES, M.G.; NEWTON, W. E. (ed.). **Nitrogen fixation**: from molecules to crop productivity. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000. p. 409-410.
- BODDEY, R. M.; VICTORIA, R. L. Estimation of biological nitrogen fixation associated with *Brachiaria* and *Paspalum* grasses using <sup>15</sup>N labelled organic matter and fertilizer. **Plant and Soil**, [S.l], v. 90, p. 265-292, 1986.
- BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 2, p. 365-372, 2000.



CAVALLET, L. E.; PESSOA, A. C. S.; HELMICH, J. J.; HELMICH, P. R.; OST, C. F. Produtividade do milho em resposta à aplicação de nitrogênio e inoculação das sementes com *Azospirillum* spp. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 129-132, 2000.

CAZETTA, D. A.; FORNASIERI FILHO, D.; ARF, O. Resposta de cultivares de trigo e triticale ao nitrogênio no sistema de plantio direto. **Científica**, Jaboticabal, v. 35, p. 155-165, 2007.

CORDEIRO, F. C.; DIAS, F. de C.; MERLIM, A. de O.; CORREIA, M. E. F.; AQUINO, A. M. de e BROWN, G. Diversidade da macrofauna invertebrada do solo como indicadora da qualidade do solo em sistema de manejo orgânico de produção. **Revista Universidade Rural: Série Ciências da Vida, Seropédica**, v. 24, n. 2, p. 29-34, jul./dez. 2004.

DALLA SANTA, O. R.; HERNÁNDEZ, R. F.; ALVAREZ, G. L. M.; JUNIOR, P. R.; SCCOL, C. R. *Azospirillum* sp. inoculation in wheat, barley and oats seeds greenhouse experiments. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 47, n. 6, p. 843-850, 2004.

DOBBELAERE, S.; CROONENBORGH, A.; TRYS, A.; PTACEK, D.; OKON, Y.; VANDERLEYDEN, J. Effect of inoculation with wild type *Azospirillum brasilense* and *A. irakense* strains on development and nitrogen uptake of spring wheat and grain maize. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 36, p. 284-297, 2002.

DÖBEREINER, J. Fixação de nitrogênio em associação com gramíneas. In: CARDOSO, E.J.B.N., TSAI, S.M., NEVES, M.C.P. **Microbiologia do solo**. Campinas: SBCS, 1992. p. 173-180.

DÖBEREINER, J.; BALDANI, V. L. D.; BALDANI, J. I. **Como isolar e identificar bactérias diazotróficas de plantas não-leguminosas**. Brasília: Embrapa-SPI; Itaguaí: Embrapa-CNPAB, 1995.

DÖBEREINER, J.; DAY, J. M. Associative symbiosis in tropical grasses: characterization of microorganisms and dinitrogen-fixing sites. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NITROGEN FIXATION, 2., 1976. **Proceedings [...]**. Pullman, USA: Washington State University Press, 1976, p. 518-538.

DÖBEREINER, J.; MARRIEL, I.; NERY, M. Ecological distribution of *Spirillum lipoferum* Beijerinck. **Canadian Journal of Microbiology**, [S.l.], v. 22, p. 1464-1473, 1976.

ELBELTAGY, A.; NISHIOKA, K.; SATO, T.; SUZUKI, H.; YE, B.; HAMADA, T.; ISAWA, T.; MITSUI, H.; MINAMISAWA, K. Endophytic colonization and in plant

nitrogen fixation by a *Herbaspirillum* sp. isolated from wild rice species. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 67, n. 11, p. 5285-5293, 2001.

EMBRAPA. **III Plano Diretor da Embrapa Gado de Corte 2004-2007**. Campo Grande, 2005.

EUCLIDES, V. P. B.; MACEDO, M. C. M. de; VALLE, C. B. do; DIFANTE, G. dos S.; BARBOSA, R. A.; CACERE, E. R. Valor nutritivo da forragem e produção animal em pastagens de *Brachiaria brizantha*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, p. 98-106, 2009.

FERREIRA, D. F. **Sisvar**: a guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciênc. agrotec**, Labras v. 38, n. 2 p. 109-112, 2014.

FISCHER, A.; SILVA, S. C. da O ecossistema de pastagens e a produção animal. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., 2001, Piracicaba. **Anais [...]**. Piracicaba: ESALQ, 2001, p. 733-754.

GARCEZ NETO, A. F. *et al.* Respostas morfogênicas e estruturais de *Panicum maximum* cv. mombaça sob diferentes níveis de adubação nitrogenada e alturas de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 31, p. 1890-1900, 2002.

GUIMARÃES, S. L.; BONFIM-SILVA, E. M.; KROTH, B. E.; MOREIRA, J. C. F.; REZENDE, D. Crescimento e desenvolvimento inicial de *Brachiaria decumbens* inoculada com *Azospirillum* spp. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 7, n. 13, p. 286-296, 2011.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; SOUZA, E. M. S.; PEDROSA, F. O. Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. **Plant and Soil**, Netherlands, v. 331, p. 413-425, 2010.

HUNGRIA, M. **Inoculação com *Azospirillum brasiliense***: inovação em rendimento a baixo custo. Londrina: Embrapa Soja, 2011.

IBGE. **Pesquisa da pecuária municipal 2014-2015**. Disponível em: <http://saladeimprensa.ibge.gov.br/noticias.html?view=noticia&id=1&idnoticia=3268&busca=1&t=ppm-rebanho-bovino-alcanca-marca-recorde-215-2-milhoes-cabecas-producao-leite>.

KUSS, A. V. **Fixação de nitrogênio por bactérias diazotróficas em cultivares de arroz irrigado**. 2006. 109 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

LOUREIRO, M. F.; BODDEY, R. M. Balanço de nitrogênio em quatro gramíneas do gênero *Brachiaria*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 23, p.1343-1353, 1988.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. **Recuperação de áreas degradadas**. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/desenvolvimento-sustentavel/recuperacao-areas-degradadas>.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2006.

NIKLAS, K. J. *Plant allometry: the scaling process*. Chicago: Illinois, 1994.  
OKON, Y.; VANDERLEYDEN, J. Root-associated *Azospirillum* species can stimulate plants. **ASM News**, Washington, v. 63, p. 364-370, 1997.

OLIVEIRA, A. L. M.; URQUIAGA, S.; BALDANI, J. I. **Processos e mecanismos envolvidos na influência de microrganismos sobre o crescimento vegetal**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2003.

OLIVEIRA, O. C. *et al.* A baixa disponibilidade de nutrientes do solo como uma causa potencial da degradação de pastagens no cerrado brasileiro. *In*: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 1997, Ouro Preto. **Anais [...]**. Ouro Preto, 1997. p. 110-117.

OZTURK, A.; CAGLAR, O.; BULUT, S. Growth and yield response of facultative wheat to winter sowing, freezing sowing and spring sowing at different seeding rates. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Berlin, v. 192, p. 10-16, 2006.

PENG, S.; BISWAS, J. C.; LADHA, J. K. Influence of rhizobial inoculation on photosynthesis and grain yield of rice. **Agronomy Journal**, Madison, v. 94, n. 4, p. 925-929, 2002.

PEOPLES, M. B.; CRASWELL, E. T. Biological nitrogen fixation: investments, expectations and actual contributions to agriculture. **Plant and Soil**, Netherlands, v. 141, n. 1-2, p. 13-40, 1992.

PRETZSCH, H. A unified law of spatial allometry for woody and herbaceous plants. **Plant Biology**, [online], v. 4, n. 2, p. 159-166, 2002. Disponível em: <https://www.waldwachstum.wzw.tum.de/fileadmin/publications/543.pdf>.

PRIMAVESI, A. C.; PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L. de A.; CANTARELLA, H.; SILVA, A. G. da; FREITAS, A. R. de; VIVALDI, L. J. Adubação nitrogenada em capim-Coastcross: efeitos na extração de nutrientes e recuperação aparente do nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 33, n. 1, p. 68-78, 2004.

RADWAN, T. E. E.; MOHAMED, Z. K.; REIS, V. M. Aeração e adição de sais na produção de ácido indol acético por bactérias diazotróficas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 10, p. 997-1004, 2005.

RAMOS, A. S.; SANTOS, T. M. C.; SANTANA, T. M.; GUEDES, E. L. F.; MONTALDO, Y. C. Ação do *Azospirillum lipoferum* no desenvolvimento de plantas de milho. **Revista Verde**, Mossoró, v. 5, n. 4, p. 113-117, 2010.

REIS JUNIOR, F. B.; MACHADO, C. T. T.; MACHADO, A. T.; SODEK, L. Inoculação de *Azospirillum amazonense* em dois genótipos de milho sob diferentes regimes de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Brasília, v. 32, n. 3, p. 1139-1146, 2008.

REIS, V. M. **Uso de bactérias fixadoras de nitrogênio como inoculante para aplicação em gramíneas**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2007.

RODRIGUES, R. C.; ALVES, A. C.; BRENNECKE, K.; PLESE, L. P. de M.; LUZ, P. H. de. C. Produção de massa seca, relação folha/colmo e alguns índices de crescimento do *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés cultivado com a combinação de doses de nitrogênio e potássio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, n. 3, p. 394-400, 2008.

SACKVILLE-HAMILTON, N. R.; MATTHEW, C.; LEMAIRE, G. In defence of the -3/2 boundary rule: a re-evaluation of self thinning concepts and status. **Annals of Botany**, Londres, v. 76, p. 569-577, 1995.

SALA, V. M. R.; CARDOSO, E. J. B. N.; FREITAS, J. G.; SILVEIRA, A. P. D. Resposta de genótipos de trigo à inoculação de bactérias diazotróficas em condições de campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 6, p. 833-842, 2007.

SANTOS, C. S. A. dos. **Capim Marandu submetido à inoculação com bactérias diazotróficas associativas em Latossolo vermelho de Cerrado**. 2013. 69. f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Rondonópolis, 2013.

SOUTO, S. M. **Variação estacional da fixação de N<sub>2</sub> e desnitrificação em gramíneas forrageiras tropicais**. 1982. 268 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 1982.

STEENHOUDT, O.; VANDERLEYDEN, J. *Azospirillum*, a free-living nitrogen-fixing bacterium closely associated with grasses: genetic, biochemical and ecological aspects. **FEMS Microbiology reviews**, Semimonthly, v. 24, n. 4, p. 487-506, 2000.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

TARRANT, J. J.; KRIEG, N. R.; DÖBEREINER, J. A taxonomic study of the *Spirillum lipoferum* group, with descriptions of a new genus, *Azospirillum* gen. nov. and two species, *Azospirillum lipoferum* (Beijerinck) comb. nov. and *Azospirillum brasilense* sp. nov. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 24, p. 967-980, 1978. Disponível em:

[www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/600745/1/AtaxonomicstudyoftheSpirillumlipoferumgroup.pdf](http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/600745/1/AtaxonomicstudyoftheSpirillumlipoferumgroup.pdf).

VALLE, C. B.; MACEDO, M. C. M.; EULIDES, V. P. B.; JANK, L.; RESENDE, R. M. S. Gênero *Brachiaria*. In: FONSECA, D. M.; MARTUSCELLO, J.A. (Ed.). **Plantas forrageiras**. Viçosa: Editora UFV, 2010. cap. 1, p. 30-77.

VOGEL; G. F.; MARTINKOSKI, L.; MARTINS, P. J.; BICHEL, A. Desempenho agronômico de *Azospirillum brasilense* na cultura do arroz: uma revisão. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v. 6, n. 3, p. 567-578, 2013. Disponível em: <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/2707/2043>.

WILSON, J. R.; TMANNETJE, L. Senescence, digestibility and carbohydrate content of buffel grass and green panic leaves in swards. **Australian Journal Agricultural Research**, Victoria, v. 29, p. 503-519, 1978.

YODA, K.; KIRA, T.; OGAWA, H.; HOZUMI, K. Self-Thinning in Overcrowded Pure Stands under Cultivated and Natural Conditions. **Journal of Biology**, Osaka, v. 14, p. 107-129, 1963.

# Uso de inoculante na silagem de cenoura e raiz de mandioca

*Use of inoculant in carrot and cassava root silage*

LARISSA INÁCIO SOARES DE OLIVEIRA

Discente do curso de Zootecnia (UNIPAM)  
E-mail: larissaiso@unipam.edu.br

FLÁVIO MOREIRA DE ALMEIDA

Professor orientador (UNIPAM)  
E-mail: flavioma@unipam.edu.br

---

**Resumo:** A alimentação dos animais representa o custo mais alto de produção. Uma forma de reduzir esse gasto é buscar alternativas como o uso de sobras de culturas. A ensilagem representa uma maneira de armazenar alimentos, e sua qualidade depende de uma fermentação eficiente, porém podem ocorrer perdas nutritivas no material ensilado. A utilização de aditivos torna-se uma boa opção, já que estes são responsáveis por melhorar os padrões fermentativos e inibir uma fermentação indesejável. Diante disso, o objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito do uso do inoculante microbiano Silotrato® sobre as características bromatológicas, físicas e químicas de silagem de cenoura e de raiz de mandioca. A pesquisa foi realizada no Laboratório de Bromatologia e Nutrição Animal do UNIPAM. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, sendo 4 tratamentos: silagem de cenoura sem inoculante (SCC), silagem de cenoura com inoculante (SCI), silagem de raiz de mandioca sem inoculante (SMC) silagem de raiz de mandioca com inoculante (SMI). Para cada tratamento, foram utilizadas 3 repetições, totalizando-se 12 minissilos. Os parâmetros avaliados foram perdas por gases (% MS); produção de efluentes (kg t<sup>-1</sup> massa verde); recuperação de matéria seca (%); pH e análise bromatológica de matéria seca (MS), cinzas (MM), fibra insolúvel em detergente neutro (FDN), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE) e carboidratos não fibrosos (CNF). Não houve diferenças significativas em nenhum dos parâmetros analisados. Conclui-se que o uso do inoculante microbiano nas silagens de cenoura e raiz de mandioca não resultou em benefícios significativos relacionados ao pH, às perdas de gases e efluentes durante a ensilagem, à recuperação de matéria seca, além de também não melhorarem os componentes nutricionais para os animais.

**Palavras-chave:** Análise bromatológica. Inoculação microbiana. Perdas fermentativas.

**Abstract:** Feeding animals represents the highest cost of production. A way to reduce this expense is to seek for alternatives, such as using crop leftovers. Silage represents a way to store food, and its quality depends on efficient fermentation, however, nutritional losses can occur in the ensiled material. The use of additives is a good option, as they are responsible for improving fermentation patterns and inhibit undesirable fermentation. Therefore, the objective of this project was to evaluate the effect of using the microbial inoculant Silotrato® on the bromatological, physical and chemical characteristics of carrot and cassava root silage. The research was carried out at the Laboratory of Animal Nutrition and Bromatology at UNIPAM. The experimental design used was completely randomized, with 4 treatments: Carrot silage without inoculant (SC), carrot silage

with inoculant (SCI), cassava root silage without inoculant (SM) cassava root silage with inoculant (SMI). For each treatment, 3 repetitions were used, totaling 12 mini silos. The parameters evaluated were gas losses (% MS); effluent production (kg t<sup>-1</sup> green mass); dry matter recovery (%); pH and chemical analysis of dry matter (DM), ash (MM), neutral detergent insoluble fiber (NDF), crude protein (CP), ether extract (EE) and non-fibrous carbohydrates (NFC). There were no significant differences in any of the analyzed parameters. It is concluded that the use of microbial inoculant in carrot and cassava root silages did not result in significant benefits related to pH, losses of gases and effluents during ensiling, dry matter recovery, and also did not improve the nutritional components for the animals.

**Keywords:** Bromatological analysis. Microbial inoculation. Fermentative losses.

---

## 1 INTRODUÇÃO

Na atividade pecuária, a alimentação dos animais representa o custo mais alto de produção. Em razão disso, os produtores estão cada vez mais em busca de alternativas que reduzam esse gasto, sem comprometer o desempenho e a produção, além de ser fornecido um alimento que, mesmo com um valor inferior, apresenta alto valor nutritivo e boa digestibilidade, o que possibilita aos animais expressar seu máximo potencial produtivo.

O uso de sobras de culturas e de culturas impróprias para o consumo humano já vem sendo realizado há algum tempo e torna-se uma oportunidade para os produtores reduzirem custos na produção. Além disso, a destinação apropriada desses alimentos contribui para a diminuição dos riscos de poluição ambiental que poderiam ocorrer com o seu acúmulo. As raízes, os tubérculos e os grãos são menos perecíveis, uma vez que possuem menores teores de umidade, porém o mau controle após a colheita pode levar a perdas de massa e qualidade (HODGES; BUZBY; BENNETT, 2011). De acordo com Pinheiro (2019), a maior causa dos descartes de cenoura é a bifurcação nas raízes, mas também ocorre a incidência de mela, pintas e nematoides, causados pelo calor e pelas chuvas.

A ensilagem representa uma alternativa de armazenamento de cereais na propriedade, sendo uma forma de conservação anaeróbica dos alimentos através da fermentação natural do amido ou de açúcares em ácidos, principalmente láctico e acético, por bactérias lácticas homo e heterofermentativas. No entanto, a qualidade da silagem resultante depende de uma fermentação anaeróbica eficiente, sendo dependente do teor de umidade da silagem, da capacidade tamponante e do teor de carboidratos solúveis, que, na cenoura, são os açúcares e, na mandioca, o amido, os quais fornecem energia para os animais. Esses fatores afetam negativamente o processo fermentativo, impedindo uma rápida queda do pH, que é o fator principal para ocorrer uma fermentação adequada e inibir o crescimento de microrganismos indesejáveis, que podem reduzir a qualidade inicial da silagem.

Devido à possível ocorrência dessas perdas nutritivas do material ensilado, a utilização de aditivos é uma boa opção, já que eles são responsáveis por melhorar os padrões fermentativos e inibir uma fermentação indesejável na silagem. De acordo com Henderson (1993), o aditivo ideal é aquele que contribui para a redução de perdas de

matéria seca, impede a fermentação secundária (atuação de bactérias clostrídicas ou enterobactérias), aumenta o valor nutritivo, melhora a estabilidade aeróbica e oferece retorno em produção animal em relação ao custo apresentado pelo uso do aditivo.

Entre os tipos de aditivos, estão os biológicos, como os inoculantes, que são compostos por enzimas e microrganismos, sendo responsáveis por aumentar a população bacteriana que produz os ácidos orgânicos, principalmente o ácido lático, resultando na queda do pH em um menor tempo. Em decorrência dessa queda, ocorre uma melhor fermentação, menor perda de matéria seca, redução no crescimento de microrganismos indesejáveis e baixa perda de nutrientes.

Segundo Bolsen *et al.* (1995), a inoculação de bactérias produtoras de ácido lático na forragem pode favorecer a fermentação, resultando na queda e na manutenção do pH baixo, além de aumentar a relação entre ácido lático e acético. Porém, Harrison, Blauwiekel e Stokes (1994) ressaltam que os efeitos do uso de aditivos microbianos estão relacionados ao tipo de inoculante utilizado, à quantidade aplicada e ao conteúdo de matéria seca e à composição química da forragem escolhida.

Diante disso, o objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito do uso do inoculante microbiano Silotrato® sobre as características bromatológicas, físicas e químicas de silagem de cenoura e de raiz de mandioca.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Bromatologia e Nutrição animal, localizado no Bloco H do Centro Universitário de Patos de Minas – UNIPAM, na cidade de Patos de Minas – MG.

O experimento foi conduzido utilizando-se minissilos experimentais confeccionados em tubos de policloreto de vinil (PVC), medindo 10 cm de diâmetro e 40 cm de comprimento, contendo tampa adaptada com válvula tipo “Bunsen” para permitir o escape dos gases. Na parte inferior, foi colocada uma camada de 5 cm de areia, protegida por uma tela plástica; sobre esta, uma camada de tecido de algodão, para que fosse possível drenar os efluentes.

Antes de ensilar, o material foi pré-secado, já que ambas as culturas possuíam em sua composição muita umidade. Então, primeiramente, foi feito um teste para definir o tempo que cada cultura deveria permanecer na estufa para atingir 40% de umidade. Para isso, as amostras de cenoura e de raiz de mandioca foram moídas no moinho Tipo Willey, pesadas e acondicionadas na estufa ventilada a 60° C; 0, 1, 2 e 4 horas após serem colocadas na estufa, foram pesadas e, delas, retiradas 10g para serem levadas à estufa a 105° C, em cápsulas de porcelana, onde também, após 1, 2 e 4 horas, foram retiradas e pesadas. Após esse processo e com todos os dados, foi calculada a matéria seca em cada horário pesado e feita uma curva de desidratação. Feito isso, o tempo necessário para a pré-secagem das amostras foi determinado, sendo, para a mandioca, 5 horas e, para a cenoura, 7 horas.

No dia da ensilagem, as culturas de cenoura e raiz de mandioca foram picadas em pedaços menores, moídas no moinho Tipo Willey e colocadas na estufa ventilada 60°C para pré-secagem, ficando na estufa durante o tempo preestabelecido. A compactação da massa ensilada foi realizada com auxílio de um bastão de madeira, com



acomodações de camadas de aproximadamente 10 cm de espessura, buscando atingir densidade de 550,0 a 650,0 kg/m<sup>3</sup> de material (entre 2,8 e 3,2 kg). Após a acomodação final do material, os silos foram fechados e vedados com fita adesiva. Os silos foram pesados antes e após o enchimento e vedação.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x2, sendo dois fatores relacionados às culturas utilizadas (cenoura e raiz de mandioca) e dois fatores associados à inoculação microbiana (controle sem inoculação; inoculação), totalizando 4 tratamentos assim distribuídos: silagem de cenoura controle (SCC), silagem de cenoura com inoculante (SCI), silagem de raiz de mandioca controle (SMC), silagem de raiz de mandioca com inoculante (SMI). Para cada tratamento, foram utilizadas 3 repetições, totalizando 12 minissilos. O inoculante utilizado foi o Silotrato®, que foi adicionado na proporção de 2mL/Kg de silagem.

Os silos foram abertos 210 dias após a ensilagem. A abertura foi feita seguindo a rotina: pesagem do minissilo cheio fechado, pesagem da silagem, amostragem da silagem e pesagem do conjunto (minissilo + areia + tela + pano + tampa) vazio.

Os parâmetros avaliados foram perdas por gases (% MS); produção de efluentes (kg t<sup>-1</sup> massa verde); recuperação de matéria seca (%); pH e análise bromatológica de matéria seca (MS), cinzas (MM), fibra insolúvel em detergente neutro (FDN), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE) e carboidratos não fibrosos (CNF).

A determinação das perdas por gases foi feita através da diferença dos pesos dos minissilos antes da abertura em relação ao peso computado na data de fechamento, correspondendo à perda de massa na forma de gases, conforme a Equação 1 a seguir:

$$G = \frac{(P_{fe} - P_{ab})}{(MF_{fe} \times MS_{fe})} \times 1000$$

Onde,

G = perda por gases (% MS);

P<sub>fe</sub> = peso do mini-silo cheio no fechamento (kg);

P<sub>ab</sub> = peso do mini-silo cheio na abertura (kg);

MF<sub>fe</sub> = massa de forragem no fechamento (kg);

MS<sub>fe</sub> = teor de matéria seca da forragem no fechamento (% MS).

A determinação da produção de efluente foi realizada através dos pesos do conjunto vazio (minissilo + areia + pano + tela + tampa) após a retirada de toda a forragem, subtraindo-se deste o peso do conjunto antes da ensilagem, com a areia seca, permitindo a estimativa da produção de efluente que foi drenado para o fundo, conforme Equação 2 abaixo:

$$E = \frac{(P_{ab} - P_{fe})}{MF_{fe}} \times 1000$$

Onde:

E = produção de efluente (kg t<sup>-1</sup> massa verde);

Pab = peso do conjunto (mini-silo + tampa + areia + pano + tela) vazio na abertura (kg);

Pfe = peso do conjunto (mini-silo + tampa + areia + pano + tela) vazio no fechamento (kg);

MFfe = massa de forragem no fechamento (kg).

Já a determinação do índice de recuperação de matéria seca foi realizada através da diferença de peso obtida pela pesagem da massa de forragem no momento da ensilagem e abertura e de seus respectivos teores de matéria seca (MS), calculando-se a recuperação de MS (RMS), de acordo com a Equação 3:

$$RMS = \frac{(MF_{ab} \times MS_{ab})}{(MF_{fe} \times MS_{fe})} \times 100$$

Onde:

RMS = índice de recuperação de matéria seca (%);

MFab = massa de forragem na abertura (kg);

MSab = teor de matéria seca da forragem na abertura (%);

MFfe = massa de forragem no fechamento (kg);

MSfe = teor de matéria seca da forragem no fechamento (%).

No momento da abertura dos minissilos, de cada repetição foi retirada uma amostra para a realização da análise de pH e outra amostra para realização das análises bromatológicas. Da mesma forma, no dia da ensilagem foi feita a amostragem de cada tratamento para realização das mesmas análises bromatológicas, para posterior comparação dos resultados, uma vez que não existem muitos dados na literatura sobre a composição bromatológica dessas duas silagens. As análises realizadas foram matéria seca (MS), cinzas (MM), fibra insolúvel em detergente neutro (FDN); proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE).

A concentração de carboidratos não fibrosos (CNF) foi obtida conforme relatado por Hall e Akinyode (2000), em que  $CNF = 100 - (\% PB + \% FDN + \% EE + \% MM)$ .

Os dados de pH, perda de gases e efluentes e recuperação de matéria seca foram submetidos à análise de variância, utilizando-se o procedimento MIXED do software SAS® (*Statistical Analysis System*, versão 9.4); caso fosse significativo, os dados médios dos parâmetros avaliados seriam comparados pelo teste de Tukey. Para todos os procedimentos estatísticos, foi utilizado 0,05 como nível crítico de probabilidade para o erro tipo I.

Realizou-se o estudo de Shapiro-Wilk a 5% para verificar se as pressuposições de distribuição normal, de aditividade e de homocedasticidade dos dados foram atendidas. O modelo estatístico utilizado na análise dos dados encontra-se a seguir:

- $Y_{ijk} = \mu + G_i + I_j + GI_k + \varepsilon_{ijk}$
- Em que:  $Y_{ijk}$  = valor observado da característica;
- $\mu$  = média geral;
- $G_i$  = efeito relativo à mandioca e cenoura ( $i = 1,2$ );
- $I_j$  = efeito relativo ao inoculante ( $j = 1,2$ );

- $GI_{ij}$  = efeito relativo à interação entre a tipo de silagem  $i$  e inclusão de inoculante  $j$ ;
- $\epsilon_{ijk}$  = erro aleatório, associado a cada observação  $Y_{ijk}$ .

Já os valores médios da composição bromatológica entre as silagens de cenoura e de raiz de mandioca foram comparados através de estatística descritiva.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não foram observadas diferenças significativas ( $P > 0,05$ ) no pH, perda por gases (PG), produção de efluentes (PE) e recuperação de matéria seca (RMS) em nenhuma das duas silagens avaliadas (cenoura e raiz de mandioca), portanto o uso do inoculante não foi benéfico para esses parâmetros, sendo os valores estatisticamente iguais ao tratamento controle, conforme a Tabela 1.

**Tabela 1:** Valores de pH, perda por gases (PG), produção de efluentes (PE) e recuperação de matéria seca (RMS) nas silagens de cenoura e de raiz de mandioca com e sem o uso de inoculante microbiano

Parâmetros	Cenoura		Raiz de mandioca		ANOVA	CV (%)
	Controle	Inoculante	Controle	Inoculante		
pH	4,28	3,74	4,23	4,05	0,4190	10,2
PG (% MS)	1,34	8,25	0,26	0,61	0,3285	136,68
PE (kg t <sup>-1</sup> massa verde)	53,81	53,29	30,24	35,86	0,0684	49,08
RMS (%)	88,59	58,82	98,57	96,09	0,9032	20,04

Médias seguidas de letras diferentes na mesma linha diferem entre si pelo teste Tukey a 5%. CV, Coeficiente de variação.

Fonte: dados da pesquisa.

Devido à falta de estudos realizados com a silagem de cenoura, recorreu-se a trabalhos que avaliaram os mesmos parâmetros em alimentos semelhantes na composição bromatológica da cenoura, principalmente pela alta umidade e pelos teores de açúcares. Em relação à silagem de raiz de mandioca, também são poucos os estudos relacionados, principalmente analisando os mesmos parâmetros com o uso de inoculantes microbianos, e, da mesma forma, foram pesquisados trabalhos que se assemelhavam com o presente estudo.

Almeida Rego *et al.* (2012) afirma que é indicado o uso de aditivos para auxiliar durante a fermentação de alimentos com elevado teor de umidade e que o uso de inoculantes microbianos tem mostrado benefícios nesse tipo de material, resultando em uma silagem com melhor qualidade e com menores perdas. Entretanto, nesse estudo, não foram observadas diferenças significativas em nenhum dos parâmetros analisados (Tabela 1). De modo geral, os aditivos utilizados deveriam reduzir as perdas de matéria seca, reduzir o pH e as fermentações secundárias, melhorar a estabilidade aeróbia e o valor nutritivo das silagens (HENDERSON, 1993). No entanto, seus efeitos são dependentes do tipo de inoculante, da sua atividade biológica, da quantidade aplicada e do tipo de forragem em teor de matéria seca e composição química (HARRISON; BLAUWIEKEL; STOKES, 1994).

Os valores médios de pH dos minissilos no dia da abertura do tratamento com inoculante não se diferenciaram do tratamento controle ( $P > 0,05$ ). No entanto, as silagens controle de cenoura e de raiz de mandioca apresentaram pH ligeiramente acima da faixa ideal, que é entre 3,8 e 4,2, proposta por McDonald, Henderson e Heron (1991), enquanto a inoculada apresentou valores menores. O mesmo ocorreu no estudo de Almeida Rego *et al.* (2012), em que se avaliou o uso de inoculantes com bactérias homoláticas (*Lactobacillus plantarum*) e heteroláticas (*Lactobacillus buchneri*) em silagem de bagaço de laranja e não se observaram resultados benéficos referentes aos valores de pH. Contrariando esses resultados, Penteado, Santos e Carvalho (2007), avaliando silagem de capim Mombaça, verificaram redução no pH ao se inocular *Lactobacillus plantarum* no material, como era de se esperar.

Santos (2018) avaliou a utilização do aditivo microbiano contendo *Lactobacillus buchneri* para verificar o ganho qualitativo da silagem de folha de mandioca e observou que as médias de pH também não se diferenciaram estatisticamente, porém menores valores foram encontrados nas silagens inoculadas, corroborando o presente estudo. Silva *et al.* (2008) encontraram o valor de pH na silagem da raiz de mandioca igual a 3,90; isso é indicativo de um bom padrão de fermentação desse alimento, já que, de acordo com McDonald, Henderson e Heron (1991), uma silagem é considerada de qualidade satisfatória se apresentar pH inferior a 4,2.

O inoculante utilizado nesse estudo foi o Silotrato, que é composto por bactérias homoláticas (*Lactobacillus curvatus*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus acidophilus*, *Pediococcus acidilactici*, *Enterococcus faecium*) e heteroláticas (*Lactobacillus buchneri*, *Lactobacillus lactis* e *Propionibacterium acidipropionici*), assim como 5% de complexo enzimático (LUDWIG *et al.*, 2018).

Inoculantes com bactérias homoláticas promovem aumento na produção de ácido láctico e rápida redução do pH da massa ensilada, através da rápida fermentação dos carboidratos solúveis (KUNG; STOKES; LIN, 2003). Já as bactérias heteroláticas reduzem o pH da massa ensilada mais lentamente (YITBAREK; TAMIR, 2014), porém são capazes de produzir ácidos antifúngicos, como ácido acético e propiônico, através da fermentação de carboidratos solúveis em água (QUEIROZ *et al.*, 2013) eficazes no controle de fungos e demais microrganismos deterioradores (OUDE ELFERERINK *et al.*, 2001).

Não houve efeito do uso do inoculante sobre as perdas por gases e efluentes em nenhuma das duas silagens analisadas. Em se tratando de silagem, perdas por efluentes e gases são comuns, principalmente quando se utiliza de materiais com altos teores de umidade. Era esperado que as bactérias heterofermentativas proporcionassem maior produção de gases (OUDE ELFERERINK *et al.*, 2001) e que houvesse menores produções de efluentes pela inoculação de bactérias homofermentativas (MCDONALD; HENDERSON; HERON, 1991). No entanto, resultados semelhantes foram observados por Almeida Rego *et al.* (2012), que avaliaram o uso de inoculantes com bactérias homoláticas (*Lactobacillus plantarum*) e heteroláticas (*Lactobacillus buchneri*) em silagem de bagaço de laranja e não obtiveram diferenças significativas para as perdas de gases e efluentes. Os valores encontrados por esses autores foram de 45,92 kg/t MV de produção de efluentes e 1,80% MS de perdas por gases para o tratamento com a combinação das bactérias. A alta produção de efluentes corrobora o encontrado nesse estudo e é

explicado pela alta umidade dos materiais ensilados, como é o caso também do bagaço de laranja. A silagem de cenoura apresentou maiores perdas que a de raiz de mandioca, também justificado pelo maior teor de umidade quando se comparam essas duas raízes.

De acordo com Silva *et al.* (2017), as perdas por gases estão associadas ao tipo de fermentação que ocorre durante o processo. Quando a fermentação ocorre por bactérias homofermentativas, a glicose é utilizada como substrato para produzir ácido láctico, promovendo perdas menores. Todavia, quando a fermentação acontece por bactérias heterofermentativas, são produzidos gás carbônico (CO<sup>2</sup>), etanol e manitol, resultando em significativas perdas por gases. Portanto, as maiores produções de gases estão associadas à presença de bactérias hetero e entero fermentativas, o que explica os resultados desse estudo em relação à maior perda por gases na silagem de cenoura com inoculante. Além disso, quando as forragens têm baixo teor de matéria seca, as perdas por gases são ainda maiores (MCDONALD; HENDERSON; HERON, 1991).

O efluente das silagens contém, em sua maior parte, compostos orgânicos como proteínas, açúcares, ácidos orgânicos, constituindo perda de valor nutritivo durante a conservação de silagens; portanto, evitem-se essas perdas resulta em maior qualidade da silagem. A produção e, conseqüente, o escoamento de efluentes dependem de vários fatores, como o teor de matéria seca da planta (LOURES *et al.* 2005), a pressão de compactação e a forma e o tamanho do silo (TAVARES *et al.*, 2005).

Silva *et al.* (2017) ressalta que a compactação excessiva pode promover o aumento nas perdas por gases e efluentes, que são inversamente proporcionais aos teores de matéria seca. Portanto, o aumento nas perdas por gases e efluentes pode levar a uma menor recuperação de matéria seca, como pode ser observado nos resultados desse estudo. Mesmo não ocorrendo diferenças significativas no índice de recuperação de matéria seca (RMS) das silagens em relação ao uso do inoculante, quando se comparam as duas silagens, pôde-se observar que a silagem de mandioca apresentou menor perda de gases e de efluentes e que, conseqüentemente, houve uma maior recuperação de matéria seca (RMS), quando comparada com a silagem de cenoura (Tabela 1). Isso fica mais evidenciado quando se observa a perda por gases da silagem de cenoura com inoculante, que foi muito superior a controle, e, em razão disso, a RMS foi menor.

Almeida Rego *et al.* (2012), analisando o efeito do inoculante microbiano heterolático (*Lactobacillus buchneri*) em combinação ou não com bactéria homolática (*Lactobacillus plantarum*) sobre o pH, a composição bromatológica e as perdas de efluentes e gases em silagens de bagaço de laranja, não observaram diferenças significativas entre os tratamentos avaliados para os valores de recuperação de matéria seca, assim como nesse estudo. Discordando desses dados, outros autores verificaram que o uso de *Lactobacillus plantarum* levou a incrementos significativos na taxa de recuperação de matéria seca das silagens de capim elefante e Mombaça (ZANINE *et al.* 2010; PENTEADO; SANTOS; CARVALHO, 2007). Essa comparação pode ser feita, uma vez que esses materiais também apresentaram altos teores de umidade.

A composição bromatológica das silagens avaliadas encontra-se na tabela 2. Devido à escassez de trabalhos utilizando a cenoura, foi realizada também uma análise bromatológica antes da ensilagem, apenas para fins de comparação com os resultados da pós-ensilagem.

**Tabela 2:** Composição bromatológica da silagem de cenoura com e sem o uso do inoculante, antes e depois da ensilagem

Parâmetros (%)	Cenoura			CV (%)
	Antes da ensilagem	Controle	Inoculante	
MS	43,95	43,98	44,16	0,70
MM	9,14	16,39	12,83	14,27
PB	10,32	13,24	14,03	5,89
EE	1,88	2,69	3,85	32,74
FDN	17,87	26,04	24,77	9,58
CNF	60,80	46,21	44,06	5,19

Fonte: dados da pesquisa.

As cenouras frescas possuem aproximadamente 12% de MS (BATH, 1981; MULLER; PIGDEN; GRAHAM, 1984); portanto, para a ensilagem desse material, foi feita uma pré-secagem, que objetivou proporcionar condições ideais para o crescimento das bactérias lácticas, permitindo um melhor armazenamento e conservação, além de evitar o escoamento de nutrientes provenientes do excesso de umidade, conforme citam Pereira e Reis (2001). Portanto, o teor de MS foi elevado para aproximadamente 44%; após a abertura dos minissilos, observou-se que os valores permaneceram semelhantes aos apresentados antes da ensilagem e semelhantes entre os dois tratamentos.

Almeida Rego *et al.* (2012), analisando o efeito do inoculante microbiano heterolático (*Lactobacillus buchneri*) em combinação ou não com bactéria homolática (*Lactobacillus plantarum*) sobre a composição bromatológica em silagens de bagaço de laranja, não encontraram diferenças no teor de MS com a inclusão dos inoculantes. Porém, observaram variação na MS, antes do fechamento do silo, de 18,73% para 19,31% na abertura do silo, tendo um aumento de 0,58 pontos percentuais, o que se diferencia do apresentado, já que não houve um aumento expressivo da MS após a ensilagem.

De acordo com Bath (1981) e Muller, Pigden e Graham (1984), as cenouras frescas possuem 10% de proteína bruta (PB), 1,4% de extrato etéreo (EE) e 9,1% de fibra. As análises feitas antes da ensilagem se mostraram semelhantes ao que esses autores afirmam em relação à proteína e à gordura; já a fibra apresentou-se superior nesse estudo (Tabela 1). Em relação às análises realizadas após a ensilagem, não houve diferenças expressivas nesses parâmetros com o uso do inoculante, porém, quando se compara com os valores antes da ensilagem, houve um leve aumento, assim como ocorreu com a matéria mineral.

No estudo de Almeida Rego *et al.* (2012), não houve diferenças sobre os teores de MM, PB e EE, com a inoculação de bactérias em silagem de bagaço de laranja. Esses autores declaram que o efeito do uso de inoculantes microbianos sobre o teor de PB das silagens ainda não está bem definido, pois os resultados são controversos em outros materiais ensilados com maior frequência, como o sorgo e o milho, ora apresentando alteração no teor de PB com a inclusão dos inoculantes (SILVA *et al.*, 1997); ora sem apresentar diferenças (PEDROSO *et al.*, 2000).

Já em relação ao teor de FDN, Almeida Rego *et al.* (2012) observaram valores significativamente superiores de FDN na silagem de bagaço de laranja com *Lactobacillus buchneri* em relação à silagem controle, o que pode ter ocorrido devido às perdas de carboidratos solúveis durante a fermentação, aumentando proporcionalmente a concentração dos componentes da fibra na MS total (PEDROSO *et al.*, 2005). Mesmo não apresentando diferenças, isso também pode ter ocorrido nesse estudo, já que as perdas por efluentes foram consideráveis, e o teor de FDN após a abertura foi superior ao observado antes da ensilagem.

A estimativa de carboidratos não fibrosos (CNF) foi realizada com base nos demais parâmetros analisados e, portanto, houve a redução de 60 para 44 e 46%, conforme Tabela 1, em consequência do aumento dos outros teores. Na cenoura, a maior parte dessa fração é composta por sacarose, um carboidrato de rápida fermentação no rúmen, que torna esse alimento altamente digestível e palatável. De acordo com Antunes *et al.* (2011), os açúcares são fermentados rápida e completamente no rúmen pelos microrganismos, sendo convertidos em ácidos graxos voláteis e, ocasionalmente, em quantidades significativas de lactato. Devido à alta fermentação desses açúcares, as cenouras devem ser combinadas com alimentos fibrosos para se evitar acidose e deve ser introduzida progressivamente na dieta (BAKSHI; KAUR; WADHWA, 2016).

Os resultados das análises bromatológicas da silagem de raiz de mandioca estão apresentados na Tabela 3. Da mesma forma que na silagem de cenoura, foi realizada a análise bromatológica antes da ensilagem, para fins comparativos.

**Tabela 3:** Composição bromatológica da silagem de raiz de mandioca com e sem o uso do inoculante, antes e depois da ensilagem

Parâmetros (%)	Raiz de mandioca			CV (%)
	Antes da ensilagem	Controle	Inoculante	
MS	46,47	47,50	47,65	0,44
MM	2,59	2,73	2,52	4,86
PB	3,16	3,12	2,77	6,66
EE	1,60	0,81	1,56	49,95
FDN	7,68	7,56	5,95	31,12
CNF	84,98	82,65	86,96	5,66

Fonte: dados da pesquisa.

Conforme Butolo (2002), a raiz de mandioca apresenta 60 a 65% de umidade (35% de MS) e carboidratos de fácil fermentação, sendo essas características adequadas para a ensilagem, permitindo uma fermentação sem inconvenientes. No entanto, para padronizarem-se os dois materiais utilizados, foi feita também a pré-secagem da raiz de mandioca antes de sua ensilagem, atingindo em torno de 46,5% de MS. Após a abertura dos minissilos, a matéria seca teve um leve aumento, porém não foi expressivo entre os dois tratamentos (controle e inoculante).

Carvalho (1983) cita valores de 35% de MS para a raiz de mandioca fresca e 45% para a raiz mandioca ensilada. Já Vieira (2015) analisou a composição químico-bromatológica da silagem de raiz de mandioca e obteve teores médios de 43,21% de MS. Os valores obtidos nesse estudo estão ligeiramente acima (47,6%) dos citados na

literatura, porém isso pode ter ocorrido devido ao maior tempo de ensilagem nesse experimento, que foi de 210 dias, diferentemente dos 30 dias citados por esses autores.

Os resultados para a matéria mineral desse estudo se mostraram acima dos citados na literatura. Butolo (2002) menciona entre 0,6 a 0,9% de cinzas e Carvalho (1983) apresenta valores de 1,43% de MM para a raiz de mandioca fresca e 1,84% para a raiz ensilada. De acordo com Santos (2018), não é interessante para uma boa silagem alto teor de matéria mineral, pois esses minerais fazem parte da fração inorgânica do material, podendo causar diminuição de energia na silagem. Os valores apresentados nesse estudo estão apenas um pouco superiores aos da literatura, não sendo muito expressivos.

A silagem de raiz de mandioca apresenta baixo teor de proteína, conforme mostrado nos resultados desse estudo, em torno de 3% (Tabela 3). Butolo (2002) encontrou variação de 1,0 a 1,5%; Vieira (2015) obteve valor médio de 3,19% e Carvalho (1983) observou teor de 1,25% de proteína para a raiz de mandioca fresca e 1,61% para a raiz de mandioca ensilada. Já nos estudos feitos por Figueiredo, Souza e Ferreira (2006), detectou-se concentração de proteína bruta na raiz da mandioca igual a 3% na MS, resultado semelhante ao do presente estudo.

Em relação à gordura (EE), também foram baixos os valores encontrados, porém se assemelham aos apresentados na literatura por Vieira (2015), que obteve 3,17% de extrato etéreo para a silagem de raiz de mandioca. Já Carvalho (1983) encontrou valores bem inferiores, sendo 0,29% para a raiz fresca e 0,37% de gordura para a raiz de mandioca ensilada. Porém, Butolo (2002) afirma que a composição da mandioca pode variar conforme as condições ambientais, o cultivar utilizado e a idade da planta.

A fração fibrosa da silagem de raiz de mandioca apresentada nesse estudo, mesmo sem apresentar diferenças expressivas, foi menor na silagem inoculada em comparação com a silagem controle (Tabela 3); quando se compara com a análise feita antes da ensilagem, observa-se que a silagem inoculada teve uma pequena redução no teor de FDN. Da mesma forma, Santos (2018), avaliando a utilização do aditivo microbiano contendo *Lactobacillus buchneri* sobre a composição bromatológica da silagem de folha de mandioca, observou que o FDN apresentou uma redução total de 5,59% para a silagem com o aditivo microbiano. Vieira (2015) analisou a composição químico-bromatológica da silagem de raiz de mandioca e obteve valor de 8,79% de FDN.

Os carboidratos não fibrosos (CNF) são constituídos principalmente de amido, açúcares, substâncias pécicas e beta-glucanos. Dos seus componentes, o amido talvez seja o mais importante, sendo o principal componente energético dos grãos de cereais e de raízes utilizados na alimentação de ruminantes (ZEOULA; CALDAS NETO, 2001).

Na raiz de mandioca, o amido é o principal componente, sendo composto de 17,0% de amilose e cerca de 83,0% de amilopectina, teores que diferem dos do milho, que apresenta 24,0% de amilose e 76,0% de amilopectina (CIACCO; CRUZ, 1982). Além disso, esse amido apresenta 91% de digestibilidade ruminal, sendo maior que a do milho, cuja digestibilidade é de 65% (SIMAS *et al.*, 2008). Portanto, a raiz de mandioca é uma excelente fonte de amido para os animais, sendo esse um carboidrato de fácil fermentação ruminal e fonte de energia.

O cálculo do CNF é feito através de uma fórmula baseada nos outros componentes nutricionais, sendo, portanto, uma estimativa. Os valores encontrados



nesse estudo se assemelham aos valores apresentados por Vieira (2015), que analisou a composição químico-bromatológica da silagem da raiz da mandioca e obteve valor médio de 82,30%. Em relação ao teor apresentado antes da ensilagem, não houve diferenças grandes quando se compara com os valores encontrados após a abertura dos minissilos.

#### 4 CONCLUSÃO

O uso do inoculante microbiano nas silagens de cenoura e raiz de mandioca não resultou em benefícios significativos relacionados ao pH, às perdas de gases e efluentes durante a ensilagem e a recuperação de matéria seca, além de não interferir nos componentes nutricionais para os animais.

#### REFERÊNCIAS

ALMEIDA REGO, F. C. de; LUDOVICO, A.; SILVA, L. C. da; LIMA, L. D. de; SANTANA, E. W. Perfil fermentativo, composição bromatológica e perdas em silagem de bagaço de laranja com diferentes inoculantes microbianos. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 2, p. 3411-3420, 2012.

ANTUNES, R. C.; RODRIGUEZ, N. M.; SALIBA, E. O. S. **Nutrição de ruminantes**. Jaboticabal: Funep, 2011.

BAKSHI, M. P. S.; KAUR, J.; WADHWA, M. Waste to worth: vegetable wastes as animal feed. **CAB Reviews**, v. 11, n. 12, p. 1-26, 2016.

BATH, D. L. Feed by-products and their utilization by ruminants. *In*: HUBER, J. T. (Ed.) **Upgrading residues and by-products for animals**. Boca Raton: Ed. CRC Press, 1981. p. 2-16.

BOLSEN, K. K. *et al.* **Improving silage quality**. Manhattan: Kansas State University, 1995.

BUTOLO, J. E. **Qualidade de ingredientes na alimentação animal**. Campinas: Agros Comunicação, 2002.

CARVALHO, J. L. H. A mandioca: raiz e parte aérea na alimentação animal. **Embrapa Cerrados-Circular Técnica** (INFOTECA-E). Brasília, 1983.

CIACCO, C. F.; CRUZ, R. **Fabricação de amido e sua utilização**. São Paulo: Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia, 1982.

FIGUEIREDO, M. P. de; SOUZA, L. F.; FERREIRA, J. Q. Cinética da degradação ruminal da matéria seca da haste, da raiz, do feno da parte aérea e da silagem de raiz

de mandioca (*Manihot esculenta Crantz*) tratada com ureia. **Braz. Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v. 43, n. 1, p. 11-17, 2006.

HALL, M. B.; AKINYODE, A. Cottonseed hulls: working with a novel fiber source. In: ANNUAL FLORIDA RUMINANT NUTRITION SYMPOSIUM, 11., 2000, Gainesville. **Proceedings [...]**. Gainesville, 2000, p. 179-186.

HARRISON, J. H.; BLAUWIEKEL, R.; STOKES, M. R. Fermentation and utilization of grass silage. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 77, n. 10, p. 3209-3235, 1994.

HENDERSON, N. Silage additives. **Animal Feed Science and Technology**, New York, v. 45, n. 1, p. 35-56, 1993.

HODGES, R. J.; BUZBY, J. C.; BENNETT, B. Postharvest losses and waste in developed and less developed countries: opportunities to improve resource use. **The Journal of Agricultural Science**, v. 149, n. 51, p. 37-45, 2011.

KUNG, J. R. L.; STOKES, M. R.; LIN, C. J. Silage additives. In: BUXTON, D. R.; MUCK, R. E.; HARRISON, J. H. (Ed.) **Silage science and technology**. Madison: American Society of Agronomy, 2003. p. 251-304.

LOURES, D. R. S.; NUSSIO, L. G.; PAZIANI, S. F.; PEDROSO, A. F.; MARI, L. J.; RIBEIRO, J. L.; ZOPOLLATO, M.; SCHMIDT, P.; JUNQUEIRA, M. C.; PACKER, I.U.; CAMPOS, F. P. Chemical composition and effluent yield of tanzania grass silages affected by wilting, particlesize and enzymatic/microbial additive. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 3, p. 726-735, 2005.

LUDWIG, L.; GAYER, T. O.; FRAPORTI, L.; KASPER, N. F.; KROLOW, R. H.; CASTAGNARA, D. D. Impacto de inoculantes microbiano e enzimático na qualidade nutricional de silagens de milho maximus. **Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão**, v. 10, n. 2, 2018.

McDONALD, P.; HENDERSON, A. R.; HERON, S. J. E. **The biochemistry of silage**. 2. ed. Marlow: Chalcomb Publications, 1991. 340 p.

MULLER, P. G.; PIGDEN, W. J.; GRAHAM, W. W. **Economic, nutritional and physiological evaluation of feeding food processing waste products to farm livestock**. 1984. 84 f. Working paper, Ottawa, 1984. Disponível em: <https://econpapers.repec.org/RePEc:ags:aaacwp:243874>.

OUDE ELFERINK, S. J. W. H.; KROONEMAN, J.; GOTTSCHAL, J. C.; SPOELSTRA, S. F.; FABER F.; DRIEHUIS, F. Anaerobic conversion of lactic acid to acetic acid and 1,2 propanediol by *Lactobacillus buchneri*. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 67, n. 1, p. 125-132, 2001.

PEDROSO, A. F.; FREITAS, A. R.; SOUZA, G. B. Efeito de inoculante bacteriano sobre a qualidade da silagem e perda de matéria seca durante a ensilagem de sorgo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 29, n. 1, p. 48-52, 2000.

PEDROSO, A. F.; NUSSIO, L. G.; PAZIANI, S. F.; LOURES, D. R. S.; IGARASI, M. S.; COELHO, R. M.; PACKER, I. H.; HORII, J.; GOMES, L. H. Fermentation and epiphytic microflora dynamics in sugar cane silage. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 5, p. 427-432, 2005.

PENTEADO, D. C. S.; SANTOS, E. M.; CARVALHO, G. G. P. Inoculação com *Lactobacillus plantarum* da microbiota em silagem de capim Mombaça. **Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v. 56, n. 214, p. 191-202, 2007.

PEREIRA, J. R.; REIS, R. A. Produção de silagem pré-secada com forrageiras temperadas e tropicais. In: SIMPÓSIO SOBRE PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE FORRAGENS CONSERVADAS, Maringá, 2001. **Anais [...]**. Maringá: UEM/CCA/DZO, 2001.

PINHEIRO, E.; MARANGON, M. **Cenoura/Cepea**: chuvas ainda causam descarte em MG. 2019. Disponível em: <https://www.hfbrasil.org.br/br/cenoura-cepea-chuvas-ainda-causam-descarte-em-mg>.

QUEIROZ, O. C. M.; ARRIOLA, K. G.; DANIEL, J. L. P.; ADESOGAN, A.T. Effects of 8 chemical and bacterial additives on the quality of corn silage. **Journal of Dairy Science**, v. 96, n. 9, p. 5836-5843, 2013.

RODRIGUES, P. H. M.; SENATORE, A. L.; ANDRADE, S. J. T.; RUZANTE, J. M.; LUCCI, J. M.; LIMA, F. R. Efeitos da adição de inoculantes microbianos sobre a composição bromatológica e perfil fermentativo da silagem de sorgo produzida em silos experimentais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 31, n. 6, p. 2373-2379, 2002.

SANTOS, M. T. D. **Lactobacillus buchneri em silagem da folha de mandioca**. 2018. 61f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias, Rio Largo, 2018.

SILVA, A. W. L.; MACEDO, A. F.; MIGUELLUTI, D. J.; HOESCHL NETO, W. Efeito do uso de inoculante bacteriano e de diferentes proporções de grãos na massa sobre a composição bromatológica da silagem de milho. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 34., 1997, Juiz de Fora. **Anais [...]**. Juiz de Fora: SBZ, 1997. p. 170-172.

SILVA, M. A. A da; FURLAN, A. C.; MOREIRA, I.; PAIANO, D.; SCHERER, C.; MARTINS, E.N. Avaliação nutricional da silagem de raiz de mandioca contendo soja

integral para leitões na fase inicial. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 8, p. 1441-1449, 2008.

SILVA, V. L. D.; FRANÇA, A. F. S.; BASTO, D. C.; COSTA, E. R.; FERNANDES, E. S.; SILVA, M. C. D.; JUNIOR, A. J. S. Perdas por efluentes, gases e recuperação de matéria seca em silagem de milho aditivada com milho desintegrado com palha e sabugo. *In*: ANAIS DO CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA, 2017. **Anais eletrônicos** [...]. Campinas, 2017. Disponível em: <https://proceedings.science/zootec/papers/perdas-por-efluentes--gases-e-recuperacao-de-materia-seca-em-silagem-de-milho-aditivada-com-milho-desintegrado-com-pal>.

SIMAS, J. M. C.; PIRES, A.V.; SUSIN, I.; SANTOS, F. A. P.; MENDES, C. Q.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. C.; FERNANDES, J. J. R. Efeitos de fontes e formas de processamento do amido na utilização de nutrientes e parâmetros ruminais de vacas em lactação. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 60, n. 5, p. 1128-1134, 2008.

TAVARES, V. B.; PINTO, J. C.; EVANGELISTA, A. R.; FIGUEIREDO, C. P.; ÁVILA, C. L. S.; LIMA, R. F. Effects of different compaction degrees, inclusion of absorbent additive and wilting on the chemical composition of tanzania grass silages. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 1, p. 40-49, 2005.

VIEIRA, P. A. S. **Silagem da raiz de mandioca para alimentação de bovinos leiteiros**. 2015. 111 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2015.

YITBAREK, M. B.; TAMIR, B. Silage Additives: review. **Journal of Applied Sciences**, v. 4, p. 258-274, 2014.

ZANINE, A. M.; SANTOS, E. M.; DÓREA, J. R. R.; DANTAS, P. A. S.; SILVA, T. C. da; PEREIRA, O. G. Evaluation of elephant grass silage with the addition of cassava scrapings. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 12, p. 2611-2616, 2010.

ZEOULA, L. M.; CALDAS NETO, S. F. Recentes avanços em amido na nutrição de vacas leiteiras. *In*: SIMPÓSIO INTERNACIONAL EM BOVINOCULTURA DE LEITE, 2., 2001, Lavras. **Anais [...]**. Lavras, 2001. p. 249-284.