

ISSN 1806-6399

PERQUIRERE

Engenharias, Ciências Exatas e da Terra

Revista do Centro Universitário de Patos de Minas
vol. 23, n. 2 - maio/ago. 2026



Revista Perquirere

Revista do Centro Universitário de Patos de Minas

ISSN 1806-6399

Volume 23, número 2, maio/ago. 2026

Patos de Minas: Perquirere, UNIPAM, v. 23, n. 2, maio/ago. 2026: 1-193



Centro Universitário de Patos de Minas



Núcleo de Editoria e Publicações

UNIPAM | Centro Universitário de Patos de 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

Pablo Fonseca da Cunha

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>

EDITOR

Geovane Fernandes Caixeta

CONSELHO EDITORIAL

Ciências Biológicas e da Saúde

Adriana Cristina de Santana (UNIPAM)
Bethânia Cristhine de Araújo (UNIPAM)
Célio Marcos dos Reis Ferreira (UFVJM)
Daniela Resende de Moraes Salles (UNIPAC – 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 Ciências da Terra

Alice Pratas Glycério de Freitas (UNIPAM)
Bruno Batista Gonçalves (UNIPAM)
Bruno Sérgio Vieira (UFU)
Carlos Henrique Eiterer de Souza (UNIPAM)
Eduardo Pains de Moraes (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)

Janaina Aparecida Pereira (UNIPAM)
Lucas Mendes da Silva (UNIPAM)
Mariana Assunção de Souza (UNIPAM)
Paulo Eduardo Silva Martins (UNIT)
Renata Nepomuceno da Cunha (UNIPAM)
Renato Ianhez (UNIPAM)
Sady Alexis Chavauty Valdes (UNIPAM)
Sandro de Paula Matias (UNIPAM)
Vinicius de Moraes Machado (UNIPAM)
Walter Vieira da Cunha (UNIPAM)

Ciências Humanas, Ciências Sociais, Letras e Artes

Consuelo Nepomuceno (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)
Laércio José Vida (UNIPAM)
Luís André Nepomuceno (UFV)
Marcos Antônio Caixeta Rassi (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
Rejane Maria Magalhães Melo

DIAGRAMAÇÃO E FORMATAÇÃO

Jordana Bastos Mesavila

SUMÁRIO

Eficiência de promotores de crescimento como ativador do metabolismo antioxidante na cultura da soja submetida ao déficit hídrico	8
César Emanuel Lacerda Rodrigues Evandro Binotto Fagan	
Influência de bioativos associados a fertilizantes convencionais na produtividade do trigo	20
Laysa Cristina de Melo Silva Mauricio Antônio de Oliveira Coelho	
Influência de diferentes doses do <i>Bacillus aryabhattai</i> na tolerância à deficiência hídrica na cultura da soja.....	29
Kamilla Gabrielle Rodrigues Silva Rodrigo Mendes de Oliveira	
Inoculação na soja com diferentes formulações de <i>Bradyrhizobium japonicum</i>.....	35
Amanda Moreira da Costa Luis Henrique Soares Aurélio Carneiro Soares Moreira	
Obtenção de população F2 de alface, segregante para a característica de tolerância à termoinibição	45
Thatiany de Fátima Botelho Luiz Antonio Augusto Gomes Wellington Ferrari da Silva	
Tratamento de sementes de soja tratadas com silício e sua influência na qualidade durante o período de armazenamento.....	55
Cecília Isabel da Silva Cruzeiro Wellington Ferrari da Silva	
Análise do desempenho de fachadas com revestimento cerâmico no ambiente urbano sob a ação de agentes climáticos.....	64
Daniel de Oliveira Mota Eduardo Mateus da Silva Oliveira Daiane Teodoro de Andrade Reis	
Concreto de alto desempenho (CAD) com o uso de polímero superabsorvente.....	83
Thalles Soares de Sousa Sheilla Pereira Vieira	

Análise descritiva e comparativa de sinais de EEG e relatos emocionais associados à exposição aos ruídos branco e rosa	101
Emilly Emanuelli de Araújo	
Victor Henrique da Cunha Faria	
Gaspar Eugênio Oliveira Ramos	
Repetição espaçada na educação em TI: uma abordagem para aumentar a retenção de conhecimento	124
Isadora Caroline Freitas Hansen	
Juliana Lilis da Silva	
Sistema de gerenciamento de atividades cotidianas de profissionais da área de segurança do trabalho.....	141
Júlia Vasconcelos Caixeta Ribeiro	
Juliana Lilis da Silva	
Sistema de gerenciamento de clientes para uma empresa de contabilidade: desenvolvimento de uma solução web para otimização do controle organizacional.....	158
Lucas Cândido Clemente Amaral	
Juliana Lilis da Silva	
Moeda única para o Mercosul e a necessidade da harmonização tributária de seus estados-partes.....	176
Gabriel Queiroz Gonçalves	
Heitor Cunha Barros	

Eficiência de promotores de crescimento como ativador do metabolismo antioxidante na cultura da soja submetida ao déficit hídrico

*Efficiency of growth promoters as activators of antioxidant metabolism in soybean
under water deficit*

CÉSAR EMANUEL LACERDA RODRIGUES

Discente de Agronomia (UNIPAM)
cesaremanuel@unipam.edu.br

EVANDRO BINOTTO FAGAN

Professor orientador (UNIPAM)
evbinotto@unipam.edu.br

Resumo: O objetivo da pesquisa foi avaliar a eficiência de diferentes bactérias promotoras de crescimento, prolina e ABA como ativadores do metabolismo antioxidante na cultura da soja submetida ao déficit hídrico. O experimento foi instalado na casa de vegetação do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), localizada em Patos de Minas (MG), em 20 de outubro de 2025, utilizando seis tratamentos (T₁: Controle; T₂: *Bacillus* spp. A 2ml/kg; T₃: *Bacillus* spp. B 4ml/kg; T₄: *Azospirillum brasilense* 2ml/kg; T₅: Prolina 200ml/ha⁻¹; T₆: ABA 300ml/ha⁻¹) com oito repetições e cultivar TEC 7022 IPRO. As avaliações foram de atividade da superóxido dismutase (SOD), peroxidase (POD), catalase (CAT), peroxidação lipídica (PL) e massa seca de raiz (MSR), caule (MSC), folhas (MSF) e vagens (MSV). Nos resultados de SOD, a aplicação de prolina e ABA resultou em uma redução significativa da atividade enzimática; o menor valor de atividade foi observado no tratamento com ABA. Para a atividade da POD, não houve diferença estatística na atividade da POD em nenhum dos tratamentos avaliados. Para a CAT, o tratamento *Bacillus* spp. A apresentou uma atividade intermediária e um estresse oxidativo mais estável. O tratamento com ABA apresentou novamente a menor atividade enzimática. Na avaliação de PL, *Bacillus* spp. A, *Azospirillum brasilense* e prolina apresentaram redução média de 7,68%. Na avaliação de massa seca os resultados foram não significativos para todos os órgãos avaliados. Portanto, pode-se concluir que ABA se destaca na redução de estresses abióticos. Microrganismos e prolina reduzem os danos oxidativos quando usados de maneira integrada.

Palavras-chave: peroxidase; *Glycine max*; superóxido dismutase; catalase; peroxidação.

Abstract: This study aimed to evaluate the efficiency of different plant growth-promoting bacteria, proline, and ABA as activators of antioxidant metabolism in soybean under water deficit. The experiment was conducted in the greenhouse of the University Center of Patos de Minas (UNIPAM), located in Patos de Minas, Minas Gerais, Brazil, on October 20, 2025, using six treatments (T₁: control; T₂: *Bacillus* spp. A at 2 mL/kg; T₃: *Bacillus* spp. B at 4 mL/kg; T₄: *Azospirillum brasilense* at 2 mL/kg; T₅: proline at 200 mL ha⁻¹; and T₆: ABA at 300 mL ha⁻¹), with eight replications and the cultivar TEC 7022 IPRO. The evaluations included superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD), catalase (CAT), lipid peroxidation (LP), and dry matter of roots (RDM), stems (SDM), leaves (LDM), and pods (PDM). Regarding SOD activity, the

application of proline and ABA resulted in a significant reduction in enzymatic activity, with the lowest activity value observed in the ABA treatment. For POD activity, no statistically significant difference was observed among the evaluated treatments. For CAT activity, the *Bacillus* spp. A treatment showed intermediate activity and more stable oxidative stress. The ABA treatment again showed the lowest enzymatic activity. In the LP evaluation, *Bacillus* spp. A, *Azospirillum brasilense*, and proline showed an average reduction of 7.68%. For dry matter, the results were not significant for any of the evaluated plant organs. Therefore, it can be concluded that ABA stands out in reducing abiotic stress. Microorganisms and proline reduce oxidative damage when used in an integrated manner.

Keywords: peroxidase; *Glycine max*; superoxide dismutase; catalase; peroxidation.

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma das mais importantes culturas na economia mundial. Seus grãos são muito usados pela agroindústria (produção de óleo vegetal e rações para alimentação animal), indústria química e de alimentos. Recentemente, vem crescendo também o uso como fonte alternativa de biocombustível (Costa Neto; Rossi, 2000). Atualmente é a cultura mais explorada no Brasil, que se mantém como o maior produtor e exportador mundial dessa leguminosa. Para a safra 2024/25, obteve-se uma produção de 171,47 milhões de toneladas de grãos, valor 13,3% superior ao da safra anterior, em uma área plantada de 47,6 milhões de hectares, representando aumento de 3,2% em relação ao último ano (Conab, 2025).

Muitos são os tipos de estresse que os vegetais podem enfrentar, como oscilações drásticas de temperatura, umidade, radiação solar, ataque de pragas e doenças, estresses térmicos ou hídricos, entre outros. As plantas conseguem mudar a constituição de compostos moleculares como um mecanismo de resposta, e muitas dessas alterações podem estar diretamente relacionadas com defesa e proteção. Para sobreviver, durante sua evolução, alguns dos mecanismos de resposta que os vegetais desenvolveram contra esses estresses foram enzimas antioxidantes, hormônios e aminoácidos, que, quando acionados, detectam a situação adversa (Shewry; Lucas, 1997; Wit, 2007). Um estudo da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) demonstrou que, na região sul do Mato Grosso do Sul, mesmo em anos com quantidade e distribuição de chuvas “satisfatórias”, as simulações de balanço hídrico mostraram que houve a necessidade de complementação com irrigação para atender à demanda de água pela soja em seu ciclo (Flumignan *et al.*, 2015).

O déficit hídrico é um dos principais estresses abióticos, que afeta negativamente o crescimento e o rendimento das culturas. Essas mudanças estão relacionadas principalmente a funções metabólicas alteradas. Uma delas, por exemplo, é a perda ou síntese reduzida de pigmentos fotossintéticos (Jaleel *et al.*, 2009). A maior parte da produção agrícola está relacionada a órgãos reprodutivos, como frutos e grãos, e sua produção pode ser afetada ou tomada pela falta de água, principalmente nos períodos de seca (Pimentel; Rossiello, 1995), uma vez que a formação de todos os componentes de produção como folhas, flores, vagens e grãos dependem da translocação de uma série de solutos que só ocorre na presença de água no solo. Como resposta à exposição a diversos tipos de estresses ambientais, a planta produz espécies

reativas de oxigênio (ERO's), as quais ocasionam um estresse oxidativo. Diante da produção desses ERO's, o sistema de defesa da planta está associado à ativação de mecanismos enzimáticos que constituem um sistema antioxidante. Esse sistema utiliza enzimas importantes na rota de desintoxicação, como as catalases, as peroxidases e as superóxido dismutases (Hasanuzzaman *et al.*, 2013).

O papel benéfico da comunidade microbiana na promoção do crescimento das plantas pode ocorrer de inúmeras formas, por exemplo, atuando na mobilização e transporte de nutrientes para a planta pela fixação de nitrogênio e solubilização/mineralização de fósforo. Entre os mais usados, temos os gêneros *Azospirillum* e *Bacillus*, que podem atuar na produção de fito-hormônios que estimulam o desenvolvimento vegetal e proteção das plantas contra patógenos. Além disso, esses microrganismos podem auxiliar na tolerância à alta salinidade e ao déficit hídrico através da produção de compostos como exopolissacarídeos (EPS) (Castiglioni *et al.*, 2008; Zhang *et al.*, 2008). O aminoácido prolina possui importante função de osmoproteção em plantas submetidas a estresses como seca, alta temperatura e salinidade. O acúmulo de prolina nas células vegetais submetidas a estresse hídrico é sugerido como um mecanismo de ajuste osmótico (Nepomuceno *et al.*, 2001).

O ácido abscísico (ABA) é um hormônio vegetal reconhecidamente importante no estabelecimento de mecanismos de tolerância de plantas a estresses abióticos. Entre os mecanismos mais conhecidos está a indução do fechamento estomático (Munemasa *et al.*, 2015), o que, conseqüentemente, leva a uma redução da evapotranspiração em plantas submetidas à deficiência hídrica ou altas temperaturas. O ABA também é conhecido como indutor de tolerância à deficiência hídrica, pois está envolvido na regulação da expressão de genes que codificam proteínas relacionadas à tolerância, à deficiência hídrica, as LEA proteínas, as quais são muito hidrofílicas, podendo proteger sistemas de endomembranas, enzimas e lipídeos em tecidos que sofrem desidratação (Shinozaki; Yamaguchi-Shinozaki, 1999). Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência de promotores de crescimento, aminoácidos e hormônios como ativadores do metabolismo antioxidante na cultura da soja.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 IMPLANTAÇÃO E CONDUÇÃO

O experimento foi implantado e conduzido na casa de vegetação do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), localizada em Patos de Minas (MG), no dia 20 de outubro de 2025, e finalizado no dia 19 de dezembro de 2025. Segundo a classificação de Köppen e Geiger (1928), o local apresenta clima tropical de savana (Aw), com pluviometria média anual em torno de 1412 mm, sendo a temperatura média anual igual a 21 °C (Oliveira; Maciel; Queiroz, 2014).

Foi utilizada a cultura de soja [*Glycine max* (L.) Merril.], cultivar TEC 7022 IPRO em delineamento de blocos casualizados (DBC), sendo seis tratamentos com oito repetições cada (Tabela 1), totalizando 48 unidades experimentais. O solo utilizado foi devidamente corrigido de acordo com a necessidade da cultura e esterilizado em autoclave com temperatura a 121 °C por uma hora. Os tratamentos foram aplicados por

meio do tratamento de sementes (TS), com exceção dos tratamentos com prolina e ABA, que foram feitos em aplicação foliar, no estágio reprodutivo da cultura (R1).

Foram plantadas três sementes por vaso, com posterior desbaste deixando duas plantas por vaso. As plantas receberam uma irrigação diária de 250ml de água por vaso até a submissão ao estresse, que foi feita no estágio reprodutivo da cultura, aproximadamente dois dias após as aplicações de prolina e ABA.

Tabela 1: Descrição dos tratamentos utilizados no trabalho:
“Eficiência de promotores de crescimento como ativador do metabolismo
antioxidante na cultura da soja submetida ao déficit hídrico”.
Centro Universitário de Patos de Minas, UNIPAM. Patos de Minas, 2025

Trat.	Descrição	Dose
1	Controle	-
2	<i>Bacillus spp. A</i>	2ml/kg
3	<i>Bacillus spp. B</i>	4ml/kg
4	<i>Azospirillum brasilense</i>	2ml/kg
5	Prolina	200ml/ha ⁻¹
6	ABA	300ml/ha ⁻¹

2.2 AVALIAÇÕES

As avaliações foram feitas dia 03 de janeiro de 2026 no Núcleo de Pesquisa em Fisiologia e Estresse de Plantas (NUFEP), localizado no Campus I do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM). Foram realizadas as análises de catalase, peroxidase, superóxido dismutase, peroxidação lipídica e massa de matéria seca de raiz, caule, vagens e folhas.

2.3 ATIVIDADE DAS ENZIMAS ANTIOXIDANTES

A atividade da superóxido dismutase (SOD) foi determinada segundo a metodologia de Beauchamp e Fridovich (1971), citados por Bor, Ozdemir E Turkan (2003); a de catalase, Peixoto *et al.* (1999); a de peroxidase, Teisseire e Guy (2000); a peroxidação lipídica, Heath; Packer (1968).

2.4 MASSA DE MATÉRIA SECA

As determinações de massa seca de raiz, caule, vagens e folhas foram realizadas utilizando duas plantas para cada repetição. 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 de circulação forçada e com temperatura de 70 °C, até o peso constante.

2.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, nível de 5% de probabilidade de erro pelo software SISVAR.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a atividade da SOD (Tabela 2), com exceção dos tratamentos com ABA e prolina, os resultados obtidos, apesar de apresentarem valores numericamente distintos em relação aos demais tratamentos e à testemunha, não diferiram estatisticamente entre si ($p \leq 0,05$), demonstrando uma possível homeostase do sistema antioxidante para esses tratamentos nesta variável em específico. Por outro lado, a aplicação de prolina e ABA resultou em uma redução significativa da atividade da SOD, diferindo-se entre si, e dos tratamentos pertencentes ao grupo “a”. O menor valor de atividade enzimática foi observado no tratamento com ABA ($28,32 \text{ U } \mu\text{g proteína}^{-1}$), que se diferiu estatisticamente de todos os demais tratamentos.

A prolina é um ótimo antioxidante. Essa propriedade está relacionada ao potencial de ionização da amina (composto orgânico nitrogenado), capaz de extinguir o oxigênio singlete ($^1\text{O}_2$), que é uma das espécies reativas de oxigênio mais potente produzida durante a fotossíntese, e que, posteriormente, é convertido em radical superóxido (O_2^-) principalmente por reações de transferência de elétrons (redução), que é onde a SOD atua, dismutando esse superóxido (O_2^-) em peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e oxigênio (O_2) (Matysik *et al.*, 2002; FRIDOVICH, 1986), o que explica em partes a não necessidade de uma maior atividade da SOD.

A menor atividade da SOD sob o tratamento com ABA pode se derivar do fato de que esse fitormônio modulou o sistema antioxidante ao reduzir a geração de espécies reativas de oxigênio, reduzindo a necessidade de uma produção ou ativação enzimática. Segundo Ingram e Bartels (1996) e Verslues *et al.* (2006), o ABA pode regular a expressão de vários conjuntos de genes responsivos ao estresse, incluindo aqueles envolvidos no acúmulo de osmólitos compatíveis e na síntese de proteínas LEA e de outras proteínas induzidas por estresses. Essas proteínas protetoras ajudam a manter o “status” hídrico celular e protegem outras proteínas/enzimas e organelas celulares do colapso sob estresse hídrico, por exemplo (Kishor *et al.*, 2005).

Para a enzima peroxidase, o comportamento não se repetiu, apesar de se observar maiores valores de atividade nos tratamentos com prolina e *Azospirillum brasilense*. Nesta avaliação, não houve diferença estatística na atividade da POD em nenhum dos tratamentos avaliados. A produção de radicais livres pode ser neutralizada por enzimas antioxidantes. Porém, quando esse estresse ocorre por muito tempo, ocorre uma “explosão oxidativa” (aumento das ERO’s) que geralmente não é acompanhada na mesma proporção pelo incremento na atividade de algumas enzimas antioxidantes. Por apresentar alta especificidade por ascorbato, uma propriedade característica da POD é a sua instabilidade na ausência do mesmo, que pode ocorrer quando o estresse oxidativo se estende por um longo período. Sob condições onde a concentração de ascorbato é

menor que 20 uM, a atividade da POD é rapidamente perdida (Shigeoka *et al.*, 2002), o que explica, em síntese, a indiferente atividade nos tratamentos.

Ao avaliar o efeito da utilização de prolina na tolerância ao estresse hídrico na cultura da soja, Barcelos (2022) obteve resultados parecidos nos teores de POD para os tratamentos que receberam estresse hídrico e aplicações de prolina, que também não apresentaram diferença estatística, porém, foram verificados maiores valores de atividade enzimática.

A atividade da catalase apresentou resultados um pouco mais coerentes. O controle apresentou os maiores valores, diferindo-se dos demais, evidenciando um maior estresse oxidativo onde não havia nenhum tipo de tratamento. O *Bacillus spp.* A apresentou uma atividade intermediária, inferior aos tratamentos do grupo “b” e ao controle, mantendo uma atividade enzimática menor e consequentemente um nível de estresse oxidativo um pouco mais estável devido a alguns possíveis mecanismos de ação da cepa em questão, como produção de exopolissacarídeos (EPS) ao redor das raízes, auxinas, ABA e redução dos níveis de etileno em situações de estresse hídrico. Já para os tratamentos *Bacillus spp.* B, *Azospirillum brasilense* e prolina, não houve diferença estatística para a variável em análise. O tratamento com ABA apresentou novamente a menor atividade enzimática e se diferiu de todos os demais tratamentos. Esse resultado pode ser explicado, uma vez que o ácido abscísico (ABA) é reconhecido pela resposta a estresses abióticos, regulando processos como o fechamento estomático. Dessa forma, é possível que a modulação do hormônio influencie na tolerância de uma planta ao estresse hídrico (Park *et al.*, 2017).

Tabela 2 - Atividade da SOD (U µg proteína⁻¹); POD (µmol purpurogalina min⁻¹ mg proteína⁻¹); CAT (µmol min⁻¹ µg proteína⁻¹) de plantas de soja submetidas aos tratamentos (Controle; *Bacillus spp.* A; *Bacillus spp.* B; *Azospirillum brasilense*; Prolina; ABA). Núcleo de Pesquisa em Fisiologia e Estresse de Plantas (NUFEP). Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM). Patos de Minas, MG, 2025

Trat.	Descrição	SOD	POD	CAT
		(U µg proteína ⁻¹)	(µmol purp. min ⁻¹ mg prot. ⁻¹)	(µmol min ⁻¹ µg prot. ⁻¹)
1	Controle	41,88 a *	2,12 ns	108,16 a *
2	<i>Bacillus spp.</i> A	45,46 a	2,46	61,20 c
3	<i>Bacillus spp.</i> B	44,39 a	2,57	76,45 b
4	<i>Azospirillum brasilense</i>	45,55 a	2,78	85,86 b
5	Prolina	35,42 b	2,66	76,22 b
6	ABA	28,32 c	2,49	47,10 d
CV (%)		6,25	12,22	7,04

* médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

ns - Não significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

A peroxidação lipídica (Tabela 3) apresentou redução significativa nos tratamentos com *Bacillus spp.* A, *Azospirillum brasilense* e prolina. Apesar de não terem diferidos entre si, diferiram-se do controle e dos tratamentos *Bacillus spp.* B e ABA, apresentando uma redução média da PL em 7,68% em relação aos mesmos, que também não diferiram entre si, mas que apresentaram os maiores valores de PL para os

tratamentos avaliados. Para os tratamentos que obtiveram os menores valores de PL tem-se que *Bacillus spp.* A reduziu a peroxidação lipídica em 7,08%, *Azospirillum brasilense* em 7,76% e prolina em 8,21%, ambos em relação ao controle. Essa redução pôde ser calculada com o uso de uma equação de variação percentual.

$$\text{Redução (\%)} = \frac{(\text{Controle} - \text{Tratamento})}{\text{Controle}} \times 100$$

A PL está associada ao estresse oxidativo e à degradação de membranas celulares. A redução na PL observada no tratamento com *Bacillus spp.* A (Tabela 3) pode estar diretamente atrelada a um de seus mecanismos de ação, a produção de exopolissacarídeos nas raízes. Algumas cepas de *Bacillus spp.* isoladas de ambientes com baixa atividade de água demonstram resposta positiva na produção de EPS quando submetidas a temperaturas elevadas (40 °C) e formação de biofilme, reforçando sua capacidade adaptativa a condições adversas (Braga, 2015).

Contudo, Alkahtani *et al.* (2021) explicam que o melhor desempenho com a inoculação de algumas cepas de *Bacillus spp.* deve-se ao aumento de fenóis e na maior atividade enzimática, que protegem proteínas e lipídios do estresse oxidativo, neutralizando espécies reativas de oxigênio, reduzindo a peroxidação lipídica e evitando que a membrana celular seja danificada.

O *Azospirillum brasilense* promove um maior desenvolvimento de raízes primárias, secundárias e terciárias, o que garante uma maior vantagem para plantas tratadas em um cenário de estresse por terem mais facilidade na captação de água no solo e consequentemente uma menor peroxidação lipídica (Molla *et al.*, 2001). Já a prolina é um aminoácido que pode aumentar sua concentração em até 100 vezes em uma condição de estresse (Verbruggen; Hermans, 2008), isso explica a redução significativa da PL, uma vez que ela atua contribuindo com a estabilidade de estruturas como membranas e proteínas (Hayat *et al.*, 2012; Mwenye *et al.*, 2016; Jaleel *et al.*, 2007).

Tabela 3: Peroxidação lipídica (PL) - (nmol TBARS g MF⁻¹) de plantas de soja submetidas aos tratamentos (Controle; *Bacillus spp.* A; *Bacillus spp.* B; *Azospirillum brasilense*; Prolina; ABA). Núcleo de Pesquisa em Fisiologia e Estresse de Plantas (NUFEP). Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM). Patos de Minas, MG, 2025

Trat	Descrição	PL
1	Controle	51,27 a *
2	<i>Bacillus spp.</i> A	47,64 b
3	<i>Bacillus spp.</i> B	51,05 a
4	<i>Azospirillum brasilense</i>	47,29 b
5	Prolina	47,06 b
6	ABA	50,38 a
	CV (%)	4,11

* médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Para os níveis de acúmulo de matéria seca nas raízes, caules, folhas e vagens (Tabela 4), os resultados obtidos foram não significativos perante a análise estatística a 5% de probabilidade de erro pelo teste de Tukey. Apesar do resultado estatístico, nota-se um pequeno incremento no acúmulo de matéria seca nas raízes, caules e folhas no tratamento com *Azospirillum brasilense*, um incremento esperado, considerando os mecanismos de ação da bactéria quanto à produção de fitormônios como auxinas e citocininas. Para o tratamento com *Bacillus spp. A*, mais uma vez, fica perceptível também um pequeno incremento na massa seca de caules e folhas, proveniente de mecanismos de ação da cepa em questão parecidos com os da bactéria citada anteriormente, mas, aqui, o destaque fica no maior valor de massa seca de vagens, um resultado bastante interessante quando se fala em translocação de massa para os grãos em situações de estresse.

Para culturas em geral, o acúmulo de massa de matéria seca pode ser uma característica importante, pois parte desta pode ser remobilizada para os grãos durante a sua formação, principalmente em períodos de estresses e, portanto, constitui-se num fator importante para determinar a produtividade final de grãos (Van Keuler; Wolf, 1986; Chaves *et al.*, 2002).

Tabela 4: Massa seca de raiz, caule, folhas e vagens (MS, g planta⁻¹) de plantas de soja submetidas aos tratamentos (Controle; *Bacillus spp. A*; *Bacillus spp. B*; *Azospirillum brasilense*; Prolina; ABA). Núcleo de Pesquisa em Fisiologia e Estresse de Plantas (NUFEP). Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM).

Patos de Minas, MG, 2025

Trat	Descrição	MSR	MSC	MSF	MSV
1	Controle	7,23 ns	7,34 ns	11,22 ns	0,45 ns
2	<i>Bacillus spp. A</i>	6,14	8,48	13,95	0,75
3	<i>Bacillus spp. B</i>	5,44	7,22	11,87	0,54
4	<i>Azospirillum brasilense</i>	8,13	8,8	15,22	0,64
5	Prolina	6,02	6,72	11,48	0,54
6	ABA	5,56	7,32	12,68	0,69
CV (%)		33,3	21,76	19,67	41,74

ns - Não significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

4 CONCLUSÃO

Nas condições em que o experimento foi conduzido, a aplicação de ABA apresentou resultados significativos na redução de estresses abióticos, evidenciando uma menor atividade enzimática através da modulação do sistema antioxidante. A utilização de microrganismos e a aplicação de prolina como ativadores desse sistema, por sua vez, tem um potencial de proporcionar uma expressiva redução dos danos oxidativos causados durante um estresse hídrico, quando inseridos num conjunto de práticas integradas, e não apenas de forma isolada.

REFERÊNCIAS

- ALKAHTANI, M.; HAFEZ, Y.; ATTIA, K.; AL-ATEEQ, T.; ALI, M. A.; HASANUZZAMAN, M.; ABDELAAL, K. *Bacillus thuringiensis* and silicon modulate antioxidant metabolism and improve the physiological traits to confer salt tolerance in lettuce. **Plants**, v. 10, n. 5, p. 1025, 2021.
- BARCELOS, Gabriel Ferreira. **Efeito da utilização de prolina na tolerância ao estresse hídrico na cultura de soja**. 2022. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2022.
- BEAUCHAMP, C.; FRIDOVICH, I. Superoxide dismutase: improved assays and applicable to acrylamide gels. **Analytical Biochemistry**, New York, v. 44, n. 1, p. 276-287, 1971.
- BOR, M.F.; ÖZDEMİR, F.; TÜRKAN, I. The effect of salt stress on lipid peroxidation and antioxidants in leaves of sugar beet *Beta vulgaris* L. and wild beet *Beta maritima* L. **Plant Science**, Amsterdam, v. 164, p. 77-84, 2003.
- BRAGA, A. P. A. **Rizobactérias nativas da Caatinga com potencial para redução dos efeitos da seca em soja (*Glycine max* L.)**. 2015. 89 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.
- CASTIGLIONI, P.; WARNER, D.; BENSON, R. J.; ANSTROM, D. C.; HARRISON, J.; STOECKER, M.; ABAD, M.; KUMAR, G.; SALVADOR, S.; D'ORDINE, R.; NAVARRO, S.; BACK, S.; FERNANDES, M.; TARGOLLI, J.; DASGUPTA, S.; BONIN, C.; LUETHY, M. H.; HEARD, J. Bacterial RNA chaperones confer abiotic stress tolerance in plants and improved grain yield in maize under water-limited conditions. **Plant Physiology**, 147(2), 446-455. 2008.
- CHAVES, M. M.; PEREIRA, J. S.; MAROCO, J. P.; RODRIGUES, M. L.; RICARDO, C. P. P.; OSÓRIO, M. L.; CARVALHO, I.; FARIA, T.; PINHEIRO, C. How plants cope with water stress in the field: photosynthesis and growth. **Annals of Botany**, London, v. 89, p. 907-916, 2002.
- CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra brasileira de grãos**. v. 12 – safra 2024/25, nº 12 - Décimo segundo levantamento. Setembro, 2025.
- COSTA NETO, P. R.; ROSSI, L. F. S. Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em fritura. **Química Nova**, v.23, p. 4, 2000.

FLUMIGNAN, D. L., ALMEIDA, A. C. S., GARCIA, R. A. **Necessidade de irrigação complementar da soja na Região Sul de Mato Grosso do Sul**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2015. 8p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Circular Técnica, 34).

FRIDOVICH, I. Superoxide dismutases. *In: Advances in enzymology and related areas of molecular biology*. v. 58, 1986, p. 61-97.

HASANUZZAMAN, M.; NAHAR, K.; ALAM, M.; ROYCHOWDHURY, R.; FUJITA, M. Physiological, biochemical, and molecular mechanisms of heat stress tolerance in plants. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 14, n. 5, p. 9643-9684, 2013.

HAYAT, S.; HAYAT, Q.; ALYEMENI, M. N.; WANI, A. S.; PICHTEL, J.; AHMAD, A. Role of proline under changing environments. **Plant Signaling & Behavior**, [S. l.], v. 7, n. 11, p. 1456-1466, 2012.

HEATH, R. L.; PACKER, L. Photoperoxidation in isolated chloroplasts. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. **Archives in Biochemistry and Biophysics**, New York, v. 125, p. 189-198, 1968.

INGRAM, J.; BARTELS, D. The molecular basis of dehydration tolerance in plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, 47:377-403, 1996.

JALEEL, C. A.; MANIVANNAN, P.; WAHID, A.; FAROOQ, M.; AL-JUBURI, H. J.; SOMASUNDARAM, R.; PANNEERSELVAM, R. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. **International Journal of Agriculture and Biology**, v. 11, p. 100-105, 2009.

JALEEL, C. A.; MANIVANNAN, P.; KISHOREKUMAR, A.; SANKAR, B.; GOPI, R.; SOMASUNDARAM, R.; PANNEERSELVAM, R. Alterations in osmoregulation's, antioxidant enzymes and indole alkaloid levels in *Catharanthus roseus* exposed to water deficit. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v.59, p. 150-157, 2007.

KISHOR, P. B. K.; SANGAM, S.; AMRUTHA, R. N.; LAXMI, P. S.; NAIDU, K. R.; RAO, K. R. S. S.; RAO, S.; REDDY, K. J.; THERIAPPAN, P.; SREENIVASULU, N. Regulation of proline biosynthesis, degradation, uptake and transport in higher plants: its implications in plant growth and abiotic stress tolerance. **Current Science**, 88:424-438, 2005.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes, 1928.

MATYSIK, J.; ALIA, BHALU, B.; MOHANTY, P. Molecular mechanisms of quenching of reactive oxygen species by proline under stress in plants. **Current Science**, Bangalore, v. 82, p. 525-532, 2002.

MOLLA, A. H.; SHAMSUDDIN, Z. H.; SAUD, H. M. Mechanism of root growth and promotion of nodulation in vegetable soybean by *Azospirillum Brasilense*. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 32, n. 13-14, p. 2177-2187, 2001.

MUNEMASA, S. et al. Mechanisms of abscisic acid-mediated control of stomatal aperture. **Current Opinion in Plant Biology**, [S. l.], v. 28, p. 154-162, 2015.

MWENYE, O. J.; VAN RENSBURG, L.; VAN BILJON, A.; MERWE, R. V. D. The role of proline and root traits on selection for drought-stress tolerance in soybeans: a review. **South African Journal of Plant and Soil**, [S. l.], v. 33, n. 4, p. 245-256, 2016.

NEPOMUCENO, A. L. *et al.* Tolerância à seca em plantas: mecanismos fisiológicos e moleculares. **Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, v. 23, n. 1, p. 12-18, 2001.

OLIVEIRA, L. A.; MACIEL, S. A.; QUEIROZ, L. L. Avaliação do índice padronizado de estiagem pluviométrica (IESP) aplicado ao município de Patos de Minas - MG. **ABCLIMA**. p.1848-1859. 2014.

PARK, Y-G. *et al.* *Bacillus aryabhattai* SRB02 tolerates oxidative and nitrosative stress and promotes the growth of soybean by modulating the production of phytohormones. **PLoS ONE**, v. 12, n. 3, e0173203, 2017.

PEIXOTO, H. P. P.; CAMBRAIB, J.; SANT'ANA, R.; MOSQUIM, P. R.; MOREIRA, A. M.; Aluminum effects on lipid peroxidation and the activities of enzymes of oxidative metabolism in sorghum. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Lavras, v. 11, n. 3, p. 137-143, 1999.

PIMENTEL, C.; ROSSIELO R. O. P. Entendimento sobre relações hídricas. Simpósio internacional sobre estresse ambiental: o milho em perspectiva, Belo Horizonte, MG. **Anais...** EMBRAPA/CNPMS, 1(449), 131-146. 1995.

SHEWRY, P. R.; LUCAS, J. A. Plant proteins that confer resistance to pests and pathogens. **Advances in Botanical Research Incorporating Advances in Plant Pathology**, v. 26, p. 135-192, 1997.

SHIGEOKA, S.; ISHIKAWA, T.; TAMOI, M.; MIYAGAWA, Y.; TAKEDA, T.; YABUTA, Y. & YOSHIMURA, K. Regulation and function of ascorbate peroxidase soenzimes. **Journal of Experimental Botany**, 53 (372): 1305-1319, 2002.

SHINOZAKI, K.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K. Molecular responses to drought stress. *In*: SHINOZAKI, K.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K. (Ed.). **Molecular responses to cold, drought, heat and salt stress in higher plants**. Austin: Landes Company. 170 p. 1999.

SOARES, Luís Henrique. **Manejo fisiológico com base em tratamento de sementes e aplicação de organominerais via foliar para sistemas de alto potencial produtivo de soja**. 2013. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

TEISSEIRE, H.; GUY, V. Copper-induced changes in antioxidant enzymes activities in fronds of duckweed (*Lemna minor*). **Plant Science**, Amsterdam, v.153, p.65-72, 2000.

VAN KEULER, H.; WOLF, J. **Modelling of agricultural production: weather, soils and crops**. Wageningen: Pudoc, 1986, 478 p.

Verbruggen N, Hermans C. Proline accumulation in plants: a review. **Amino Acids**. 2008 Nov. 35(4):753-9. DOI 10.1007/s00726-008-0061-6. Epub 2008 Apr 1. PMID: 18379856.

VERSLUES, P. E.; AGARWAL, M.; KATIYAR-AGARWAL, S.; ZHU, J.; ZHU, J. K. Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. **The Plant Journal**, 45:523-539, 2006.

WIT, P. J. de. How plants recognize pathogens and defend themselves. **Cellular and Molecular Life Science**, 2007.

ZHANG, H.; KIM, M. S.; SUN, Y.; DOWD, S. E.; SHI, H.; PARE, P. W. Soil bacteria confer plant salt tolerance by tissue-specific regulation of the sodium transporter HKT1. **Molecular PlantMicrobe Interactions**, Saint Paul, v. 21, n. 6, p. 737-744, 2008.

Influência de bioativos associados a fertilizantes convencionais na produtividade do trigo

Influence of bioactive agents associated with conventional fertilizers on wheat yield

LAYSA CRISTINA DE MELO SILVA

Discente de Agronomia (UNIPAM)

lcmelos322@unipam.edu.br

MAURICIO ANTÔNIO DE OLIVEIRA COELHO

Professor orientador (UNIPAM)

mauricioac@unipam.edu.br

Resumo: O trigo é uma das principais culturas do mundo e apresenta elevada importância econômica e alimentar. Entretanto, a disponibilidade de fósforo nos solos brasileiros tropicais é limitada, tornando necessária a aplicação de fertilizantes fosfatados. Nesse contexto, o uso de bioativadores associados à adubação mineral tem sido estudado como estratégia para aumentar a eficiência de utilização desse nutriente. Diante disso, o objetivo do trabalho foi avaliar a influência de bioativos associados a fertilizantes convencionais na produtividade do trigo. O experimento foi conduzido na casa de vegetação do UNIPAM, em Patos de Minas (MG), utilizando delineamento em blocos casualizados com seis tratamentos e cinco repetições: T₁ controle; T₂ (05-27-27) sem biológico; T₃ (MAP + *biológico 1*) + KCl convencional; T₄ (MAP e KCl + *biológico 1*); T₅ (MAP e KCl + *biológico 2*); T₆ (MAP e KCl + *biológico 3*). Foram avaliadas as variáveis massa seca da parte aérea, massa seca de espigas, fósforo na parte aérea e fósforo nas espigas. Os dados obtidos foram submetidos à Análise de Variância e os significativos foram submetidos ao teste Tukey a 5%. Para as variáveis massa seca de parte aérea e espigas, os resultados indicaram que não houve diferença estatística entre os tratamentos. No entanto, ao se observarem os teores de fósforo na parte aérea e nas espigas, as médias foram maiores nos tratamentos que receberam adubação mineral associada aos bioativos, em ambas avaliações. Portanto, o uso de bioativadores associados a fertilizantes convencionais podem contribuir para o aumento da absorção de fósforo pelas plantas de trigo.

Palavras-chave: bioativadores; fertilização; fósforo; nutrição de plantas; trigo.

Abstract: Wheat is one of the main crops worldwide and has high economic and food importance. However, phosphorus availability in tropical Brazilian soils is limited, making the application of phosphate fertilizers necessary. In this context, the use of bioactivators associated with mineral fertilization has been studied as a strategy to increase the efficiency of phosphorus use. Therefore, this study aimed to evaluate the influence of bioactive agents associated with conventional fertilizers on wheat yield. The experiment was conducted in the greenhouse at UNIPAM, in Patos de Minas, Minas Gerais, Brazil, using a randomized block design with six treatments and five replications: T₁ control; T₂ (05-27-27) without biological agent; T₃ (MAP + *biological 1*) + conventional KCl; T₄ (MAP and KCl + *biological 1*); T₅ (MAP and KCl + *biological 2*); T₆ (MAP and KCl + *biological 3*). The variables evaluated were shoot dry matter, spike dry matter, phosphorus

content in the shoots, and phosphorus content in the spikes. The data obtained were subjected to analysis of variance, and significant results were compared using Tukey's test at 5% significance. For shoot and spike dry matter, the results indicated no statistical difference among treatments. However, when phosphorus contents in the shoots and spikes were observed, the means were higher in the treatments that received mineral fertilization associated with bioactive agents in both evaluations. Therefore, the use of bioactivators associated with conventional fertilizers may contribute to increased phosphorus uptake by wheat plants.

Keywords: bioactivators; fertilization; phosphorus; plant nutrition; wheat.

1 INTRODUÇÃO

O trigo (*Triticum vulgare*) é cultivado pelo homem há, no mínimo, seis mil anos. É considerado uma cultura que segue análoga à história da humanidade e, assim, uma fonte de energia essencial para todos (Café *et al.*, 2003). De acordo com Stempkowski *et al.* (2022), a relevância do trigo ao longo da história é evidente nas estatísticas até os dias de hoje. Em parâmetros mundiais, o trigo se encontra em terceiro lugar de cereais cultivados e produzidos, sendo superado apenas pelo milho (*Zea mays* L.) e pelo arroz (*Oryza* spp.).

Segundo dados da CONAB (2024), a produção de trigo no Brasil na safra 2024/25 foi de aproximadamente 8.807,3 mil toneladas, levando a um aumento de 8,3% em relação à safra (2023/24). Porém, este número ainda não será eficaz para atender as necessidades do país, que estão em média de 15.312,6 mil toneladas por ano, importando 6 mil de toneladas. A necessidade dessa importação acarreta um aumento nos preços dos itens essenciais, especialmente quando o Real apresenta desvalorização. Além disso, o Brasil apresenta circunstâncias propícias ao incremento da produção, reduzindo a necessidade de importação de grãos e de farinha pelo país (Coelho, 2021).

Dentre os fatores que limitam a produtividade das culturas agrícolas no país, o Fósforo (P) é o que mais restringe, principalmente em ambientes de solo com alto intemperismo, que compõem grande parte do território brasileiro, apresentando baixo teor de P disponível e uma alta acidez (Araújo, 2011). Conforme Sousa e Lobato (2004), este baixo teor acarreta uma alta capacidade de retenção do P na fase sólida do solo, formando compostos menos solúveis. Assim, torna-se a principal redução da produtividade, necessitando da aplicação de altas doses de fertilizantes fosfatados.

Nos últimos anos, vem ocorrendo imenso crescimento em tecnologias que objetivam aumentar a eficiência da adubação fosfatada, associando os fertilizantes a novas tecnologias, como o tratamento biológico. Uma das atividades relevantes desses detritos está vinculada à sua funcionalidade como estimuladoras de melhorias no aproveitamento do fósforo aplicado ao solo, principalmente quando aplicado na forma de fosfato de rocha, que possui baixa solubilidade (Kucey *et al.*, 1989; Minhoni *et al.*, 1991). Além disso, Benites *et al.* (2010) completam que é possível produzir fertilizantes com alto teor de fósforo solúvel, para uso em sistemas de produção extensiva de grãos. Com isso, o objetivo do presente estudo foi avaliar a influência de bioativadores associados a fertilizantes convencionais na produtividade do trigo.

2 METODOLOGIA

2.1 IMPLANTAÇÃO E CONDUÇÃO

O experimento foi instalado na casa de vegetação do UNIPAM, localizada em Patos de Minas (MG), em julho de 2025. O local apresenta as seguintes coordenadas geográficas: 18°34' S (latitude Sul), 46°31' W (longitude Oeste) e 815 m de altitude. Segundo a classificação de Köppen e Geiger (1928), apresenta o clima tropical de altitude (Cwa), com precipitação média anual em torno de 1400 mm (Souza *et al.*, 2005), sendo a temperatura média anual igual a 21,1 °C; a máxima anual 27,8 °C; a mínima anual 16,3 °C, conforme dados da Estação Meteorológica de Sertãozinho (EPAMIG) do município de Patos de Minas (MG).

O delineamento utilizado foi em DBC (delineamento de blocos ao acaso) com seis tratamentos e cinco repetições: T₁ controle; T₂ (05-27-27) sem biológico; T₃ (MAP + biológico 1) + KCl convencional; T₄ (MAP e KCl + biológico 1); T₅ (MAP e KCl + biológico 2); T₆ (MAP e KCl + biológico 3), totalizando 30 unidades experimentais. Cada parcela foi composta por cinco linhas, com seis vasos tipo jardineira de sete litros cada. A recomendação de adubação foi realizada de acordo com a análise do solo coletado (Tabela 2), em função da demanda da cultura e a dose foi a mesma em todos os tratamentos, exceto o controle, e a cultivar utilizada foi TBIO DUQUE. Os tratamentos utilizados estão representados na Tabela 1.

Tabela 1: Descrição dos tratamentos utilizados no experimento “Influência de bioativos associados a fertilizantes convencionais na produtividade do trigo”. Safra 2025/26. Centro Universitário de Patos de Minas, UNIPAM. Patos de Minas, 2026

Tratamento	Fertilizante	Dose (mg.dm ⁻³)
T ₁	Controle	-
T ₂	¹ NPK sem biológico	100
T ₃	² NPK (MAP + biológico 1) + KCl convencional	100
T ₄	³ NPK (MAP e KCl + biológico 1)	100
T ₅	⁴ NPK (MAP e KCl + biológico 2)	100
T ₆	⁵ NPK (MAP e KCl + biológico 3)	100

¹Formulado 5-27-27 sem biológico; ²Formulado 5-27-27 com biológico1 somente no MAP; ³Formulado 5-27-27 com biológico1 no MAP e KCl; ⁴Formulado 5-27-27 com biológico2 no MAP e KCl; ⁵Formulado 5-27-27 com biológico3 no MAP e KCl.

Tabela 2: Análise química do solo da área coletada para implantação e condução do experimento “Influência de bioativos associados a fertilizantes convencionais na produtividade do trigo”. Safra 2025/26. Centro Universitário de Patos de Minas, UNIPAM. Patos de Minas, 2026

M.O.	pH	P-Meh	P-Rem	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	CTC _T	V%
dag Kg ⁻¹	H ₂ O		mg dm ⁻³				cmolc dm ⁻³			%
1,88	5,48	18,30	8,20	179,4 4	2,50	1,80	0,13	2,70	7,46	63,80

Fonte: dados da pesquisa, 2026.

O fertilizante foi incorporado em todo o solo e foram semeadas 16 sementes por linha em cada vaso a uma profundidade de 2 cm, com espaçamento de 15 cm entre as linhas. Após 15 dias foi realizado o desbaste, deixando apenas 10 plantas por linha em cada vaso.

2.2 AVALIAÇÕES

As avaliações foram realizadas no Laboratório Central de Análises de Fertilidade do Solo (CEFERT), localizado no Campus I do Centro Universitário de Patos de Minas – UNIPAM. Foram realizadas análises de massa seca parte aérea e espigas, e fósforo de parte aérea e espigas, após 90 dias de plantio.

Para a avaliação de massa seca, foram utilizadas as mesmas plantas para a avaliação das partes vegetativas, parte aérea e espigas, e inseridas em sacos de papéis para a secagem na estufa de ventilação controlada a 65 °C até atingir massa constante. Após a secagem, as plantas foram pesadas em balança de precisão para obter os resultados da matéria seca de parte aérea e espigas.

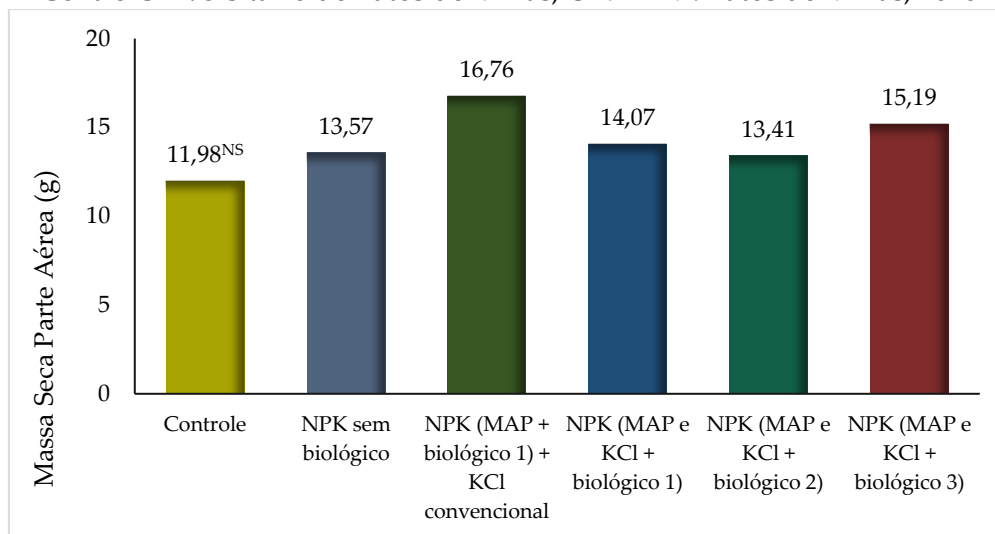
Para a determinação de fósforo na parte aérea e nas espigas, as amostras secas foram previamente trituradas em moinho de facas e submetidas à metodologia de extração por digestão seca. Inicialmente, foram pesados 0,5 g de cada amostra em cadinhos, os quais foram levados à mufla a 500 °C por 3 horas. Após o resfriamento, o material foi transferido para tubos Falcon e adicionados 25 mL de HNO_3 1 mol L^{-1} e permanecendo em repouso por 24 horas.

Posteriormente, uma alíquota de 2,5 mL da solução foi pipetada em copo plástico de 50 mL, à qual foram adicionados 7,5 mL de água destilada para diluição. Em seguida, foram adicionados 4 mL da solução reagente composta por Molibdato de Amônio 0,5% e Vanadato 0,25% em partes iguais (1:1). A determinação do fósforo foi realizada em espectrofotômetro, com leitura da absorbância no comprimento de onda de 420 nm. Os dados obtidos foram submetidos à Análise de Variância e os significativos foram submetidos ao teste Tukey, a 5% de significância.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

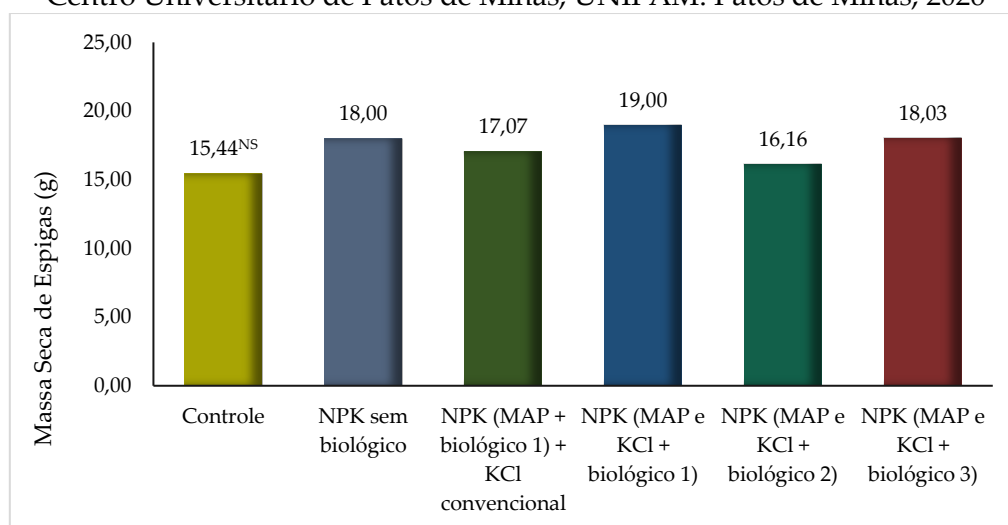
Para as variáveis massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca de espigas (MSE), não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos. De acordo com Ikhajiagbe *et al.* (2020), em condições onde a fertilidade do solo já se encontra em níveis adequados, a resposta das culturas à adubação ou a tecnologias associadas tende a ser menos expressiva, uma vez que a limitação nutricional não é o principal fator restritivo ao crescimento vegetal.

Gráfico 1: Resultados de massa seca de parte aérea do experimento. Safra 2025/26. Centro Universitário de Patos de Minas, UNIPAM. Patos de Minas, 2026



*NS: médias não significativas estatisticamente pelo teste Tukey a 5%.

Gráfico 2: Resultados de massa seca de espigas do experimento. Safra 2025/26. Centro Universitário de Patos de Minas, UNIPAM. Patos de Minas, 2026



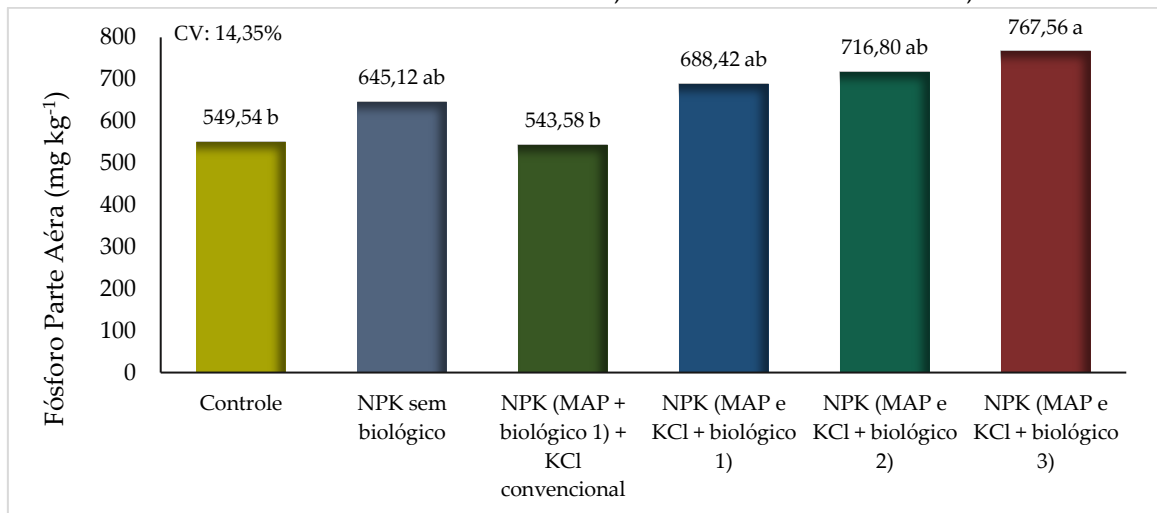
*NS: médias não significativas estatisticamente pelo teste Tukey a 5%.

Resultados semelhantes foram observados por Harvey *et al.* (2009), que destacam que a eficiência de microrganismos promotores de crescimento ou bioativadores pode variar conforme as condições do solo, disponibilidade de nutrientes e interação com a microbiota nativa. Dessa forma, mesmo que esses produtos apresentem potencial para melhorar a absorção de nutrientes, seus efeitos nem sempre se refletem diretamente em incrementos significativos de biomassa vegetal.

Para o teor de fósforo na parte aérea (PPA), observou-se diferença estatística entre os tratamentos. O tratamento controle apresentou menor valor diferindo dos tratamentos adubados. De modo geral, os tratamentos que receberam fertilização mineral associada ou não a bioativadores apresentaram maiores concentrações de

fósforo na parte aérea, indicando maior disponibilidade e absorção desse nutriente pelas plantas.

Gráfico 3: Resultados de fósforo de parte aérea do experimento. Safra 2025/26.
Centro Universitário de Patos de Minas, UNIPAM. Patos de Minas, 2026.



Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

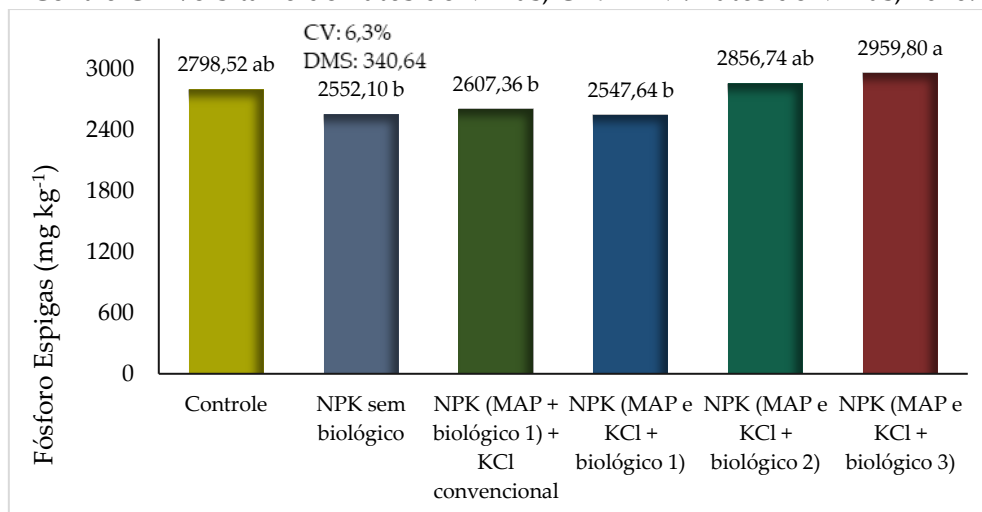
Esse comportamento evidencia a importância da adubação fosfatada para o desenvolvimento da cultura do trigo, especialmente em solos tropicais, que frequentemente apresentam baixos teores de fósforo disponível devido à alta capacidade de fixação do elemento pelos óxidos de ferro e alumínio presentes no solo (Sousa; Lobato, 2004).

Observa-se também que alguns tratamentos contendo bioativadores apresentaram valores intermediários ou superiores de fósforo na parte aérea, como no caso do tratamento com MAP e KCl associados ao biológico 2. Esse resultado pode estar relacionado à ação de microrganismos solubilizadores de fósforo presentes nos bioativadores, os quais podem aumentar a disponibilidade do nutriente no solo por meio da liberação de ácidos orgânicos e enzimas capazes de solubilizar fosfatos pouco disponíveis (Khan *et al.*, 2007).

Rodríguez e Fraga (1999) relatam que microrganismos solubilizadores de fósforo desempenham papel importante na mobilização de formas insolúveis desse nutriente, aumentando sua absorção pelas plantas e contribuindo para o desenvolvimento vegetal.

Para a variável fósforo nas espigas (PE), também foram observadas diferenças entre os tratamentos. O tratamento contendo MAP e KCl associados ao *biológico 3* apresentou a maior média quando comparado aos demais, incluindo o tratamento com NPK sem biológico. Esse resultado sugere que a associação entre fertilizantes convencionais e bioativadores pode favorecer a translocação de fósforo para estruturas reprodutivas da planta, como as espigas.

Gráfico 4: Resultados de fósforo de espigas do experimento. Safra 2025/26. Centro Universitário de Patos de Minas, UNIPAM. Patos de Minas, 2026.



Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

De acordo com Dobermann *et al.* (2002), o fósforo desempenha papel fundamental no metabolismo energético das plantas e na formação de estruturas reprodutivas, sendo essencial para o enchimento de grãos e formação de sementes.

Além disso, microrganismos promotores de crescimento podem estimular o desenvolvimento radicular e melhorar a absorção de nutrientes ao longo do ciclo da cultura, contribuindo para maior acúmulo de fósforo em órgãos reprodutivos (Jakobsen *et al.*, 2005). Dessa forma, o maior teor observado em determinados tratamentos pode indicar uma possível melhoria na eficiência de utilização do fósforo pelas plantas.

Entretanto, a variabilidade observada entre os tratamentos indica que a resposta ao uso de bioativadores pode depender da interação entre o produto utilizado, o fertilizante mineral e as condições do solo. Estudos indicam que a eficiência desses produtos pode variar significativamente em função da microbiota nativa e das características químicas do solo (Zaidi *et al.*, 2009).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adubação fosfatada promoveu aumento nos teores de fósforo acumulados na parte aérea e nas espigas das plantas de trigo em comparação ao tratamento controle, evidenciando a importância desse nutriente para o desenvolvimento da cultura. Entretanto, para as variáveis massa seca da parte aérea e massa seca de espigas, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos, indicando que a associação de bioativadores aos fertilizantes convencionais não resultou em incrementos expressivos na produção de biomassa nas condições em que o experimento foi conduzido.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, F. F. Disponibilização de fósforo, correção do solo, teores foliares e rendimento de milho após a incorporação de fosfatos e lodo de curtume natural e compostado. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 33, n. 2, p. 355-360, 2011
- BENITES, Vinicius de Melo *et al.* Produção de fertilizante organomineral granulado a partir de dejetos de suínos e aves no Brasil. *In*: FERTBIO 2010, Guarapari. **Anais [...]**. Guarapari, 2010.
- CAFÉ, Sônia Lebre; FONSECA, Paulo Sérgio Moreira da; AMARAL, Gisele Ferreira; MOTTA, Maria Fátima dos Santos Rosinha; ROQUE, Carlos Alberto Lourenço; ORMOND, José Geraldo Pacheco. **Cadeia produtiva do trigo**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 18, p. 193-220, set. 2003.
- COELHO, Jackson Dantas. Trigo: produção e mercados: v. 6 n. 151 (2021). **Caderno Setorial ETENE**, Fortaleza, v. 6, 2024. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/revista/cse/article/view/2769>.
- CONAB - **Histórico mensal trigo**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuário-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-trigo>.
- CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**. Brasília, DF, v. 11, safra 2023/24, n. 12, décimo segundo levantamento, setembro. 2024.
- DOBERMANN, A. *et al.* Phosphorus fertilizer effects on soil phosphorus pools in acid upland soils. **Soil Science Society American Journal**, v. 66, n. 02, p. 652-660, 2002.
- HARVEY, P. R. *et al.* Potential to improve root access to phosphorus: the role of non-symbiotic microbial inoculants in the rhizosphere. **Crop and Pasture Science**, Victoria, v. 60, p. 144-151, 2009.
- IKHAJIAGBE, B. *et al.* Major phosphorus in soils is unavailable, yet critical for plant development. **Notulae Scientia Biologicae**, v. 12, n. 3, p. 500-535, 2020.
- JAKOBSEN, I. *et al.* Rhizosphere microorganisms and plant phosphorus uptake. *In*: SIMS, J. T.; SHARPLEY, A. N. (ed.). Phosphorus: agriculture and the environment. **Madison: American Society for Agronomy**, p. 437-494. 2005.
- KHAN, M. S. *et al.* Role of phosphate-solubilizing microorganisms in sustainable agriculture: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, 27(1), 29-43. 2007.
- KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlagcondicionadas. **Justus Perthes**. n. p. 1928.

KUCEY, R.M.N. *et al.* Microbially mediated increases in plant-available phosphorus. **Adv. Agron.**, v. 42, p. 199-228, 1989.

MINHONI, M. T. A. *et al.* Efeito de cinco tipos de matéria orgânica na solubilização microbiana de fosfato de rocha. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v.15, p.29-35, 1991.

RODRÍGUEZ, H.; FRAGA, R. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. **Biotechnology Advances**, New York, v. 17, p. 319-339, 1999.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do cerrado. In: Yamada T & Abdalla SRS (Eds.) **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba, Potafos. p.157-200, 2004.

SOUZA, D.V. *et al.* Análise pluviométrica da carta topográfica de Patos de Minas referente ao período de 1978 a 2003. In: REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 57, 2005, Fortaleza. **Anais eletrônicos...** São Paulo: SBPC/UECE, 2005.

STEMPKOWSKI, L. A. *et al.* Viroses em trigo no Brasil: uma visão histórica. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, v. 28, p. 102-135, 2022. DOI: 10.31976/0104-038321v280005.

ZAIDI, A. *et al.* Plant growth promotion by phosphate solubilizing bacteria. **Acta Microbiologica et Immunologica Hungarica**, Budapest, v. 56, p. 263-284, 2009.

Influência de diferentes doses do *Bacillus aryabhattai* na tolerância à deficiência hídrica na cultura da soja

Influence of different doses of Bacillus aryabhattai on tolerance to water deficit in soybean

KAMILLA GABRIELLE RODRIGUES SILVA

Discente de Agronomia (UNIPAM)
kamillagabrielle@unipam.edu.br

RODRIGO MENDES DE OLIVEIRA

Professor orientador (UNIPAM)
rodrigomo@unipam.edu.br

Resumo: Objetivou-se com este estudo avaliar a eficiência de doses de *Bacillus aryabhattai* na tolerância ao estresse hídrico na cultura da soja. O experimento foi conduzido em casa de vegetação no período de junho a setembro de 2025. O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados, sendo utilizadas seis doses do produto a base de *B. aryabhattai*: 0,0; 2,0; 4,0; 6,0; 8,0 e 10 mL kg⁻¹ de sementes de soja, distribuídos em quatro blocos. Aos 70 dias após a semeadura as plantas foram retiradas para avaliação final. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância a 5% e ajustados por modelos de regressão. As diferentes dosagens utilizadas não promoveram diferenças significativas para massa seca, comprimento de parte aérea, volume de raiz e número de nódulos. Para variável comprimento de raiz, o melhor resultado foi verificado na dose de 6,39 mL kg⁻¹ de sementes de soja.

Palavras-chave: *Glycine max*; rizobactéria; tratamento de sementes.

Abstract: This study aimed to evaluate the efficiency of different doses of *Bacillus aryabhattai* in promoting tolerance to water stress in soybean. The experiment was conducted in a greenhouse from June to September 2025. A randomized block design was adopted, using six doses of a *B. aryabhattai*-based product: 0.0, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0, and 10 mL kg⁻¹ of soybean seeds, distributed into four blocks. At 70 days after sowing, the plants were removed for final evaluation. The data obtained were subjected to analysis of variance at 5% significance and fitted to regression models. The different doses used did not promote significant differences in dry matter, shoot length, root volume, or number of nodules. For the variable root length, the best result was observed at the dose of 6.39 mL kg⁻¹ of soybean seeds.

Keywords: *Glycine max*; rhizobacterium; seed treatment.

1 INTRODUÇÃO

A Soja (*Glycine max* L.) é um grão que teve sua origem na China. Possui um alto valor nutricional, por isso proporcionou uma grande revolução alimentar. Hoje, não existe nenhuma outra proteína de origem vegetal com melhor custo benefício para a produção de carnes, ovos, leites e derivados (APROSOJA BRASIL, 2018).

De acordo com a Conab, a estimativa para a produção de grãos no país aponta um crescimento de 0,3%, com o volume projetado em 353,4 milhões de toneladas. No período da pesquisa, as culturas de primeira safra já se encontravam em fase de colheita, com o feijão, apresentando 38% da área colhida, a soja, com 7%, o milho, com 9,3%, e o arroz, com 1% (CONAB, 2026).

O estresse hídrico causa redução da produção das culturas e é uma das maiores preocupações para um produtor devido às diferenças climáticas. Para que plantas desempenhem papéis importantes, a água é fundamental por manter as células túrgidas. A principal forma de absorção da planta é através de suas raízes. Elas captam a água e nutrientes presentes no solo; após a entrada pelas raízes, a água tem de ser distribuída para a parte aérea. Esse papel é feito por um vaso condutor denominado xilema. O solo é o principal fornecedor de água para as plantas e ele apresenta uma capacidade de armazenamento de água determinada (AEGRO, 2021).

A rizobactéria *Bacillus aryabhattai* é a base de um novo bioinsumo que aumenta a resiliência e a capacidade de adaptação das plantas do cereal ao estresse hídrico. É também capaz de promover o crescimento da cultura mesmo em condições de seca. O uso da bactéria *B. aryabhattai* pode reduzir os efeitos causados pelas estiagens prolongadas, minimizando riscos e expressando o potencial das lavouras (EMBRAPA, 2021).

O aumento de temperatura na planta acima de 30 °C traz efeitos negativos no processo de fotossíntese, o que afeta diretamente a produtividade. Com o bioativo, o aproveitamento da água e sua absorção são maximizados, possibilitando à planta melhor controle da temperatura foliar e, conseqüentemente, uma redução do estresse térmico (EMBRAPA, 2021).

Diante do exposto, o objetivo do presente estudo foi avaliar a eficiência de diferentes doses da bactéria *Bacillus aryabhattai* na cultura da soja sob condições de estresse hídrico.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em uma casa de vegetação localizada no Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), no período de junho a setembro de 2025. O local apresenta as seguintes coordenadas geográficas: 18°34'24,64" de latitude Sul, 46°30'47,55" de longitude Oeste. O solo utilizado no presente experimento foi esterilizado em autoclave (121°C por 1 hora); em seguida, o solo foi distribuído em vasos de 5 L, na quantidade de 4 kg por vaso.

As sementes de soja utilizadas no experimento foram tratadas com diferentes doses de *Bacillus aryabhattai* na concentração de 1×10^8 UFC (unidades formadas de colônia) por mL. Os tratamentos foram diferenciados pelas dosagens do produto, sendo:

0,0; 2,0; 4,0; 6,0; 8,0; e 10 mL.Kg⁻¹ de sementes. O experimento contou com seis tratamentos distribuídos em quatro blocos, de forma casualizada. O tratamento de sementes aconteceu no Laboratório de Núcleo de Pesquisa e Análise de Sementes do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), sendo as dosagens utilizadas conforme cada tratamento. Em cada vaso foram semeadas sete sementes de soja da variedade CZ 48B18 IPRO, devidamente tratadas com *B. aryabhattai*.

A irrigação inicial foi realizada diariamente com auxílio de um becker graduado. Todos os tratamentos receberam a quantidade de 250 ml de água. Aos 10 dias após a semeadura (DAS) foi realizado o desbaste das plantas, mantendo duas plantas em cada vaso; nesse momento, a irrigação foi controlada para a quantidade de 250 ml de água, sendo irrigado a cada três dias.

Aos 70 DAS, as plantas foram retiradas dos vasos e submetidas às seguintes avaliações: massa seca de parte aérea e raiz, comprimento do sistema radicular e da parte aérea, volume de raiz e contagem de nódulos. O comprimento do sistema radicular e da parte aérea foi obtido com auxílio de uma régua graduada, sendo separadas na região do colo com uma tesoura. Os resultados foram expressos em centímetros. O volume de raiz foi obtido com auxílio de uma proveta de 1000 mL preenchido com água. Foram inseridas as raízes das plantas na proveta e mensurado o volume de água deslocado. O resultado foi expresso em cm³. Para obtenção da massa seca, as amostras de plantas foram secas em estufa a 65 °C até peso constante, sendo o resultado expresso em gramas. A contagem de nódulos foi realizada por meio da secção dos nódulos ao meio, observando-se a coloração interna. Nódulos com coloração rosada foram considerados ativos e contabilizados.

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANAVA) a 5% e ajustados ao modelo de regressão, obtendo-se a equação matemática que melhor expressa os dados obtidos no experimento. Foi utilizado o software estatístico SISVAR, versão 5.8 (Ferreira, 2011).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente estudo, não foram observadas diferenças estatísticas significativas entre as doses de *B. aryabhattai* para comprimento de parte aérea, volume de raiz, massa seca de raiz e parte aérea e número de nódulos (Tabela 1). O uso de *Bacillus aryabhattai* na agricultura apresenta elevado potencial, uma vez que vários benefícios são proporcionados às plantas, incluindo maior tolerância a estresses abióticos, como a seca, além de favorecer a disponibilidade de nutrientes (Kavamura *et al.*, 2012).

Tabela 1: Valores de comprimento de parte aérea (CPA), volume de raiz, massa seca de parte aérea (MSPA), massa seca de raiz (MSR), Número de Nódulos de plantas de plantas de soja tratadas com doses de *Bacillus aryabhattai* e submetidas ao estresse hídrico. Patos de Minas – MG, 2025

<i>Bacillus aryabhattai</i> (ml.kg de sementes)	CPA (cm)	Volume de Raiz (cm³)	MSPA (g)	MSR (g)	Número de Nódulos
0,0	27,64	3,00	1,08	1,02	8,75
2,0	31,48	3,44	1,29	1,48	17,75
4,0	30,28	3,13	1,12	1,38	22,25
6,0	30,00	4,38	1,15	1,39	23,63
10,0	31,86	3,13	1,57	1,98	34,63
CV	10,80	39,97	21,17	35,27	58,16
MG	30,51	3,47	1,25	1,49	20,71
F*	0,47	0,72	0,16	0,24	0,13

CV= Coeficiente de variação; MG= Média geral; F=Não significativo ao nível de 5% pelo teste F.

Embora não tenham sido observadas diferenças estatísticas significativas entre as doses de *B. aryabhattai* para as variáveis analisadas, esse resultado pode estar relacionado à forma como o estresse hídrico foi aplicado, isso se referindo à quantidade de água que foi disponibilizada para as plantas. Apesar de o experimento ter sido conduzido sob condições de restrição de água, é possível que o nível de estresse não tenha sido suficientemente severo para limitar o crescimento das plantas ou evidenciar plenamente os efeitos benéficos do microrganismo.

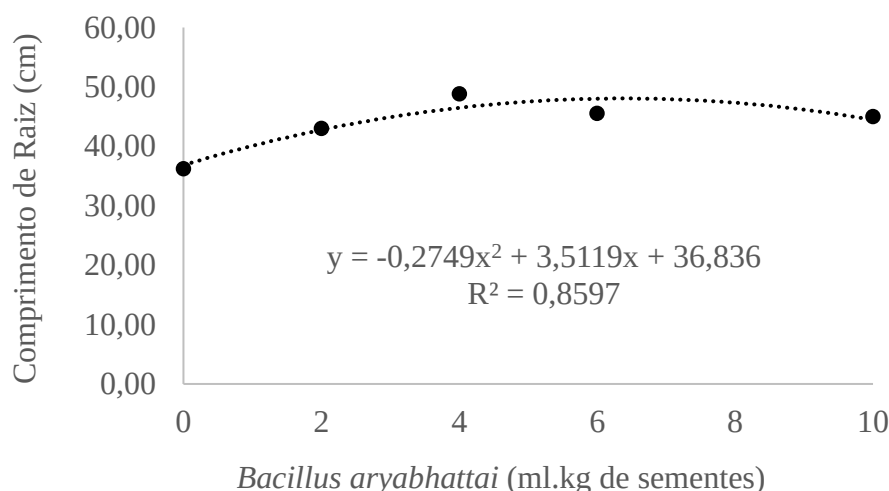
Em experimento realizado por Ruaro (2023), a imposição de estresse hídrico foi iniciada aos 46 dias após a semeadura, após irrigação padronizada para uniformização da umidade do solo. A partir desse momento, a irrigação foi suspensa nos tratamentos IA (inoculado com déficit hídrico) e SA (sem inoculação com déficit hídrico), enquanto os tratamentos SB (testemunha, sem déficit hídrico) e IB (inoculado, sem déficit hídrico) permaneceram sob rega conforme a necessidade. O déficit hídrico foi mantido por 23 dias, sendo os primeiros sintomas de murcha observados aos 16 dias no tratamento SA. Ao final do período, realizou-se uma irrigação geral para simular um evento de chuva e encerrar o estresse hídrico. A análise da variância revelou interação significativa entre os fatores e indicou que os tratamentos inoculados apresentaram maior crescimento da parte aérea e melhor desenvolvimento radicular.

Na análise comprimento de raiz, os dados ajustaram-se a um modelo polinomial de segundo grau, com o valor máximo observado de 48,05 cm. A dose de *B. aryabhattai* que proporcionou esse comprimento de raiz foi de 6,39 ml.kg de sementes, determinada a partir da equação ($y = -0,2749x^2 + 3,5119x + 36,836$), conforme apresenta a Figura 1.

Segundo Fuga (2021), a síntese de auxinas, especialmente o ácido indolacético (AIA), favorece o desenvolvimento do sistema radicular por meio da formação de raízes primárias e secundárias. Esse mecanismo contribui para a mitigação do estresse hídrico, uma vez que o maior volume radicular possibilita maior absorção de água e nutrientes, tanto na rizosfera quanto em camadas mais profundas do solo.

Microrganismos do gênero *Bacillus* são amplamente reconhecidos por promoverem o crescimento do sistema radicular. Esse efeito torna-se ainda mais relevante sob condições de estresse hídrico, nas quais um sistema radicular mais desenvolvido pode conferir maior tolerância das plantas ao déficit de água. Dessa forma, o aumento no comprimento de raiz observado neste estudo pode estar associado à interação benéfica entre a soja e *Bacillus aryabhattai*.

Figura 1: Comprimento de raiz de plantas de soja tratadas com doses de *Bacillus aryabhattai* e submetidas ao estresse hídrico, Patos de Minas - MG, 2025



Garcia Junior, Simonetti e Valle (2024) observaram diferença estatisticamente significativa no comprimento radicular quando os dados foram submetidos ao teste de regressão quadrática. O tratamento correspondente à dose de 3 mL do produto apresentou desempenho superior em relação aos demais tratamentos. A avaliação foi realizada no estágio fenológico V4 da cultura da soja, caracterizado pela presença de quatro nós visíveis e pela completa expansão da terceira folha trifoliada.

4 CONCLUSÃO

Nas condições em que o experimento foi conduzido, a dose de 6,39 ml.kg de sementes de *Bacillus aryabhattai* na cultura da soja foi capaz de promover melhores resultados para comprimento de raiz, no entanto não foram verificadas diferenças significativas nos demais parâmetros avaliados.

REFERÊNCIAS

- AEGRO. **Estresse hídrico nas plantas:** o que é e como evitar perdas na lavoura. [S. l.], 17 jun. 2021. Disponível em: <https://aegro.com.br/blog/estresse-hidrico-nas-plantas/>.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE SOJA (APROSOJA BRASIL). **A Soja**. 2018. Disponível em: <https://aprosojabrasil.com.br/a-soja/>.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da Safra Brasileira – grãos – safra 2025/26**. 2026. Disponível em: https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/5o-levantamento-safra-2025-26/e-book_boletim-de-safras-5o-levantamento_2026.pdf.

EMBRAPA. **Bactéria encontrada no mandacaru vira bioproduto que promove tolerância à seca em plantas** 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/60941801/bacteria-encontrada-no-mandacaru-vira-bioproduto-que-promove-tolerancia-a-seca-em-plantas>.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FUGA, C. Pesquisa e desenvolvimento Nooa Brasil, AURAS. **Quarto Centenário**, Paraná, 20 ago. 2021, p. 27.

GARCIA JUNIOR, C. F.; SIMONETTI, A. P. M. M.; VALLE, K. J. S. do. Tratamento de sementes com a utilização de *Bacillus aryabhattai* em diferentes doses na cultura da soja. **Ciências agrárias: práticas e inovações**, p. 91-102, 2024.

KAVAMURA, V. N. *et al.* Draft genome sequence of plant growth-promoting droughttolerant *Bacillus* sp. strain CMAA 1363 isolated from the Brazilian caatinga biome. **Genome Announcements**, [S. l.], v. 5, n. 5, p. e01534-16, 2017.

PARK, Y. G.; MUN, B. G.; KANG, S. M.; HUSSAIN, A.; SHAHZAD, R.; SEO, C.-W.; KIM, A.-Y.; LEE, S.-U.; OH, K. Y.; LEE, D. Y.; LEE, I.-J.; YUN, B.-W. *Bacillus aryabhattai* SRB02 tolerates oxidative and nitrosative stress and promotes the growth of soybean by modulating the production of phytohormones. **PLoS ONE**, v. 12, n. 3, p. e0173203, 2017. DOI: 10.1371/journal.pone.0173203.

RUARO, Jean Roberto. **Efeito de *Bacillus aryabhattai* sobre o comportamento fisiológico de sementes e plantas de soja em condições de estresse hídrico**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2023.

Inoculação na soja com diferentes formulações de *Bradyrhizobium japonicum*

*Soybean Inoculation with different formulations of *Bradyrhizobium japonicum**

AMANDA MOREIRA DA COSTA

Discente de Agronomia (UNIPAM)
eaamandamcosta@unipam.edu.br

LUIS HENRIQUE SOARES

Professor orientador (UNIPAM)
luishs@unipam.edu.br

AURÉLIO CARNEIRO SOARES MOREIRA

Bacharel em Agronomia
aureliocarneiro@hotmail.com

Resumo: A soja destaca-se como a principal oleaginosa produzida no mundo. Durante seu ciclo de desenvolvimento, o nitrogênio (N) é o nutriente requerido em maior quantidade, o que evidencia a importância da fixação biológica de nitrogênio (FBN) para a cultura. O presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito da inoculação na soja com diferentes formulações comerciais de *Bradyrhizobium japonicum* na fixação biológica de nitrogênio. O experimento foi instalado na casa de vegetação do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), localizado em Patos de Minas (MG), composto por seis tratamentos (T1: Controle; T2: Formulação 1; T3: Formulação 2; T4: Formulação 3; T5: Formulação 4; T6: Formulação 5) e oito repetições, em DBC. A cultivar de soja utilizada foi a TEC 7022 IPRO e as aplicações foram realizadas via tratamento de sementes. As avaliações se dividiram em duas etapas, sendo 24 unidades experimentais no estágio V₄ e o restante no estágio R₂. As análises de nitrato redutase e de ureídeos foram executadas no Núcleo de Pesquisa em Fisiologia e Estresse de Plantas (NUFEP). Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott (5%). Os resultados demonstraram que as diferentes formulações de *Bradyrhizobium japonicum* não promoveram diferenças significativas para o número de nódulos, massa seca de raiz e atividade de nitrato redutase. Entretanto, houve diferença significativa para os teores de ureídeos nas folhas, com incremento de 83% na formulação 4, o que indica melhor eficiência na assimilação e transporte do nitrogênio fixado.

Palavras-chave: FBN; *Glycine max*; nódulos; nitrato redutase; ureídeos.

Abstract: Soybean stands out as the main oilseed crop produced worldwide. During its development cycle, nitrogen (N) is the nutrient required in the greatest amount, which highlights the importance of biological nitrogen fixation (BNF) for this crop. This study aimed to evaluate the effect of soybean inoculation with different commercial formulations of *Bradyrhizobium japonicum* on biological nitrogen fixation. The experiment was conducted in the greenhouse of the University Center of Patos de Minas (UNIPAM), located in Patos de Minas, Minas Gerais, Brazil, and consisted of six treatments (T1: control; T2: Formulation 1; T3: Formulation 2; T4: Formulation

3; T5: Formulation 4; T6: Formulation 5) and eight replications, in a randomized block design. The soybean cultivar used was TEC 7022 IPRO, and the applications were performed through seed treatment. The evaluations were divided into two stages, with 24 experimental units assessed at the V4 stage and the remaining units at the R2 stage. Nitrate reductase and ureide analyses were performed at the Center for Research in Plant Physiology and Stress (NUFEP). The data were subjected to analysis of variance, and the means were compared using the Scott-Knott test at 5% significance. The results showed that the different formulations of *Bradyrhizobium japonicum* did not promote significant differences in the number of nodules, root dry matter, or nitrate reductase activity. However, there was a significant difference in leaf ureide contents, with an 83% increase in Formulation 4, indicating greater efficiency in the assimilation and transport of fixed nitrogen.

Keywords: BNF; *Glycine max*; nodules; nitrate reductase; ureides.

1 INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é a principal leguminosa produzida no mundo, sendo ela responsável por um a cada quatro dólares exportados pelo complexo agroindustrial brasileiro (EMBRAPA, 2021). A relevância do setor de soja para o Brasil é evidente tanto pelo notável aumento na produção quanto pelos ganhos obtidos com as exportações e seus derivados, como óleo e farelo. A soja, além de ser a principal fonte de óleo para a produção nacional de biodiesel, é utilizada como alimento, tanto para atender o mercado interno quanto o externo, em estado natural ou por meio dos seus produtos processados.

A soja é uma cultura anual que apresenta elevada demanda por nitrogênio (N), considerado o nutriente requerido em maior quantidade pela cultura. Estima-se que, para cada 1.000 kg de grãos produzidos, sejam necessários aproximadamente 80 kg de N (Campo; Hungria, 2000). As fontes de fornecimento desse N são o solo, pela decomposição da matéria orgânica, a fixação não biológica, resultante de descargas elétricas, os fertilizantes nitrogenados e o processo de Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) (Hungria *et al.*, 2001). A inoculação de bactérias no tratamento de sementes de soja é indispensável para a FBN, por meio da associação simbiótica das plantas da família Leguminosae com bactérias pertencentes a diversos gêneros como *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Azorizhobium*, *Photorizhobium*, *Sinorizhobium*, comumente denominadas como rizóbios (Hungria *et al.*, 2001).

A partir da falta de N no solo, exsudações são emitidas pelas raízes da soja, atraindo bactérias do gênero *Bradyrhizobium japonicum* que auxiliam no processo de fixação, as quais infectam os pelos radiculares e formam nódulos responsáveis pela FBN. O nitrogênio atmosférico (N₂) é captado e transformado em amônio (NH₄⁺) devido à presença da enzima nitrogenase e faz com que esse N₂ seja assimilável para a planta. Todavia, a FBN é um processo metabólico de elevado gasto energético para a célula, com o consumo de 16 ATP's para produzir duas moléculas de amônia (NH₃) a partir de uma molécula de N₂ atmosférico (Taiz; Zeiger, 2004).

A FBN é importante, pois consegue suprir a demanda de nitrogênio de que a planta necessita, logo proporciona uma economia na utilização de adubos e fertilizantes. Segundo Alves, Boddey e Urquiaga (2003), quando feita a inoculação corretamente, a

simbiose promove uma alta eficiência e dificilmente a fertilização nitrogenada resulta em acréscimos na produtividade. Entretanto, em condições de alta disponibilidade de N no solo, a planta prioriza a absorção desse mineral e a atividade dos rizóbios diminui, uma vez que o nutriente está numa forma prontamente disponível para a soja, com menor gasto energético em relação à FBN (Hungria; Campo; Mendes, 2007).

Apesar da ampla utilização de inoculantes na cultura da soja, as formulações comerciais podem apresentar variações na capacidade de sobrevivência bacteriana, nodulação e fixação de nitrogênio. Dessa forma, torna-se importante avaliar o desempenho fisiológico dessas formulações em condições controladas. Diante desse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da inoculação na soja com diferentes formulações comerciais de *Bradyrhizobium japonicum*.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 IMPLANTAÇÃO E CONDUÇÃO

O experimento foi instalado na casa de vegetação do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), localizado em Patos de Minas (MG). O local tem as seguintes coordenadas geográficas: 18°34' S (latitude Sul), 46°31' W (longitude Oeste) e 815 m de altitude. Segundo a classificação de Köppen, apresenta clima tropical de altitude (Cwa), com precipitação média anual em torno de 1400 mm (Souza *et al.*, 2005), sendo a temperatura média anual igual a 21,1 °C; a máxima anual, 27,8 °C; e a mínima anual, 16,3 °C, conforme dados da Estação Meteorológica de Sertãozinho (EPAMIG) localizada no município de Patos de Minas (MG).

Foi utilizado o delineamento de blocos casualizados (DBC), composto por seis tratamentos e oito blocos, totalizando 48 unidades experimentais (Tabela 1). O experimento foi montado em vasos plásticos com capacidade de cinco litros. Realizou-se a mistura de solo e areia autoclavado, na proporção de 9:1, respectivamente. A adubação foi realizada conforme a análise de solo e exigência da cultura. No momento do plantio, não foi usada nenhuma fonte de N, para que não se tivesse interferência na formação de nódulos.

Tabela 1: Descrição dos tratamentos utilizados no trabalho intitulado “Inoculação na soja com diferentes formulações de *Bradyrhizobium japonicum*”, 2025

Tratamento	Formulações	UFC/ml
T1	Controle	0
T2	Formulação 1*	1,0×10 ⁹
T3	Formulação 2*	7,0×10 ⁹
T4	Formulação 3*	6,0×10 ⁹
T5	Formulação 4*	7,2×10 ⁹
T6	Formulação 5*	1,0×10 ¹⁰

*Produtos comerciais.

A bactéria contida nos produtos inoculantes do presente trabalho foram do gênero *Bradyrhizobium japonicum*, que possui as estirpes SEMIA 5079 e SEMIA 5080. O número de Unidades Formadoras de Colônia (UFC) de cada produto foi uniformizado de acordo com a recomendação técnica da EMBRAPA de 1,2 milhões de células por semente (Ferreira *et al.*, 2011), aplicadas via tratamento de sementes (TS). A variedade implantada no experimento foi a TEC 7022 IPRO.

2.2 AVALIAÇÕES

As avaliações foram divididas em duas etapas, sendo: 24 unidades experimentais submetidas à avaliação no estágio V₄ e o restante no estágio R₂. Foram quantificados os nódulos totais, os nódulos ativos, a massa seca de raízes, além das quantificações da enzima nitrato redutase e dos ureídeos no Laboratório do Núcleo de Pesquisa em Fisiologia e Estresse de Plantas (NUFEP) do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM) em Patos de Minas (MG).

Para quantificar os nódulos totais foram considerados todos os nódulos da raiz no estágio V₄ e R₂. Para quantificar os nódulos ativos, foram considerados apenas os nódulos com a coloração avermelhada em seu interior no estágio R₂.

Para avaliação da massa seca de raízes, realizadas no estágio R₂, elas foram inseridas em sacos de papel para a secagem em estufa de ventilação forçada a 75°C até atingirem peso constante. Após a secagem, as raízes foram pesadas em balança de precisão para obter os resultados da matéria seca de raízes.

Para quantificação da atividade da enzima nitrato redutase, foram retirados 200 mg de folhas frescas ao acaso na forma de disco com 0,8 cm de diâmetro, no estágio V₄ da planta, os quais foram colocados em tubos de ensaio de 15 mL com tampas contendo 4 mL de KNO₃ (0,25 M) em tampão fosfato. Os tubos de ensaio foram envolvidos em papel alumínio e mantidos em banho Maria a 35°C durante 2 h, agitados de 5 em 5 minutos. Logo após, foi pipetado 1 mL da solução de cada tubo de ensaio para balão volumétrico de 50 mL para cada um dos respectivos tratamentos, evitando partículas de folhas. Em seguida, foi colocado H₂O destilada até completar 25 mL do balão e a seguir 1 mL de ácido sulfanílico. Essa solução foi mantida em repouso de 5 a 10 min. Posteriormente foi adicionado 1 mL de alfa-naftalamina e 1 mL do tampão de acetato de sódio e foi completado volume a 50 mL com H₂O destilada. A leitura foi realizada depois de 10 e antes de 30 minutos no Espectrofotômetro, o qual foi ajustado ao valor zero com água destilada, a uma leitura de 540 nm. A estimativa da atividade da enzima nitrato redutase foi obtida por meio da curva padrão de nitrito (NO₂⁻), ajustada de acordo com as concentrações de N na forma de NO₂⁻. A partir das absorbâncias, foi ajustado o gráfico (concentração x leitura), obtendo-se a equação de regressão linear. Logo após, de acordo com esses dados, foi realizado o cálculo da atividade da enzima nitrato redutase, expressos em µg de N-NO₂ por g de fitomassa verde por hora.

Para a determinação de ureídeos, 200 mg de material vegetal no estágio R₂ foram transferidos para tubo falcon e adicionados 10 mL de água MilliQ. Após esse procedimento, o material foi incubado a 45 °C durante uma hora e, posteriormente centrifugado a 10.000 rpm por 15 minutos, ao final, o sobrenadante foi separado e armazenado em freezer para posterior avaliação. O teor de ureídeos (N-Ureídeos) foi

determinado com base no método proposto por Young e Conway (1942); utiliza-se 1 mL da amostra, que foi adicionada a tubo de ensaio, depois foram adicionados 200 uL de NaOH 0,5 N. Posteriormente, a solução foi colocada em banho-maria 100 °C durante 10 minutos. Após esse procedimento, foram adicionados 400 uL de solução contendo HCl 0,65N + Cloridrato de Funil-hidrazina 0,33%, a solução homogeneizada foi levada novamente para banho-maria a 100 °C durante dois minutos. Após, foram colocados em banho de gelo por 15 minutos, ao final foi adicionado 1 mL de solução contendo ferrocianeto de potássio 1,67% + HCl 10N. Após 10 minutos, foram realizadas as leituras em espectrofotômetro a 525 nm. Os teores de ureídeos foram obtidos a partir de curva padrão de alantoína 1 mM, e os dados expressos em mM [ureídeos] g⁻¹ [MS].

2.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, e as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

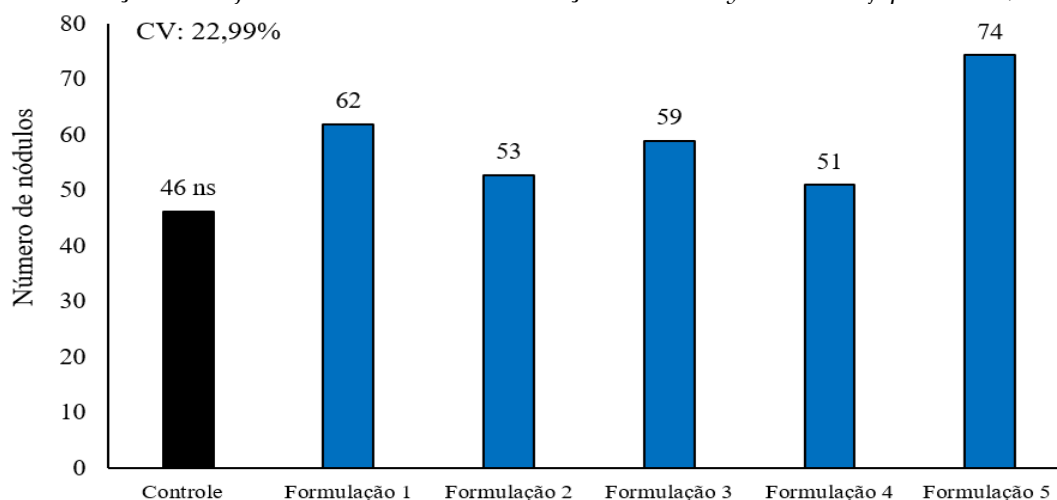
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 NÚMERO DE NÓDULOS

A contagem de nódulos da primeira avaliação (estágio V₄) não revelou diferenças estatisticamente significativas em relação ao controle, evidenciando que as formulações resultaram em uma nodulação coincidente (Gráfico 1).

Estratégias complementares, como a utilização de formulações ou veículos que favoreçam a viabilidade e a sobrevivência das bactérias, bem como a suplementação com fontes específicas de nutrientes, poderiam ser utilizadas para contribuir na maximização da eficiência do inoculante e promover uma fixação biológica de nitrogênio mais consistente ao longo de todo o ciclo fenológico da cultura (Damasio *et al.*, 2025).

Gráfico 1: Número de nódulos totais na 1ª avaliação - V₄ no ensaio intitulado “Inoculação na soja com diferentes formulações de *Bradyrhizobium japonicum*”, 2025

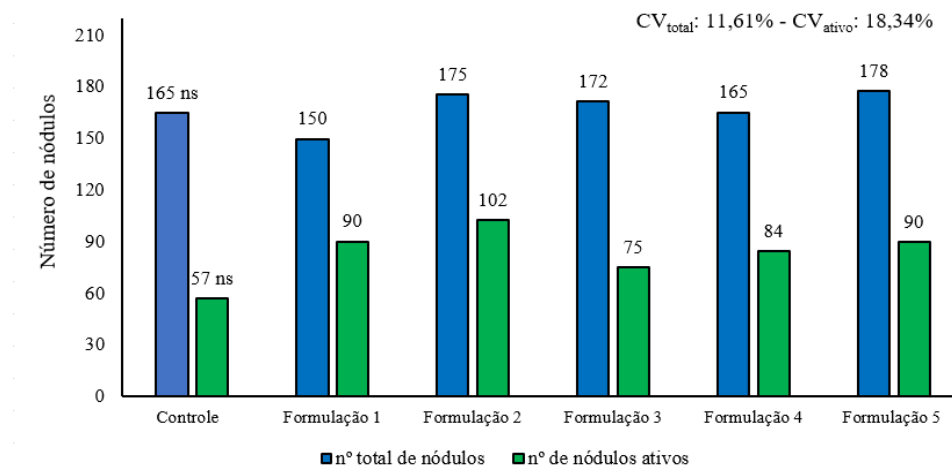


*ns: não significativo

Na segunda avaliação (estágio R₂), também não houve diferença significativa entre os tratamentos na contagem de nódulos totais e de nódulos ativos (Gráfico 2). Esse comportamento pode estar relacionado com algum tipo de estresse submetido durante a condução do trabalho, mesmo que em ambiente de estufa, como a influência da temperatura.

De acordo com Hungria e Nogueira *et al.* (2020), a avaliação do número de nódulos apresenta melhores resultados em aplicação de inoculante turfoso, comparado com inoculante líquido. Essa representatividade da turfa pode ser explicada por sua aptidão de proporcionar proteção física aos rizóbios, além da alta capacidade de reter água e nutrientes (Balatti; Freire, 1996). Por assim ser, pode ser considerado o uso de inoculante turfoso em oposição do inoculante líquido.

Gráfico 2: Número de nódulos totais e ativos na 2ª avaliação - R₂ no ensaio intitulado “Inoculação na soja com diferentes formulações de *Bradyrhizobium japonicum*”, 2025

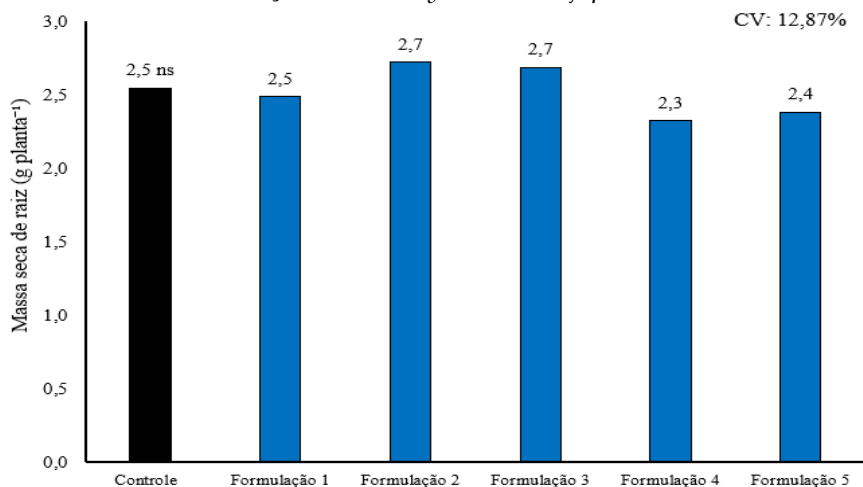


*ns: não significativo

3.2 MATÉRIA SECA DE RAIZ

A massa da matéria seca da raiz não se diferenciou estatisticamente do controle nem dos tratamentos entre si (Gráfico 3). Nesse sentido, é relevante destacar que a resposta da massa seca na soja a diferentes formulações de inoculantes pode variar, uma vez que está condicionada a vários fatores que envolvem as interações estabelecidas com as estirpes de *Bradyrhizobium* spp. Além disso, a área radicular está ligada à formação dos nódulos (Fagan *et al.*, 2015), destacando neste trabalho que os resultados obtidos na massa de matéria seca de raiz possuem relação com a contagem dos nódulos.

Gráfico 3: Massa de matéria seca de raiz no estágio R₂ no ensaio intitulado “Inoculação na soja com diferentes formulações de *Bradyrhizobium japonicum*”, 2025



*ns: não significativo

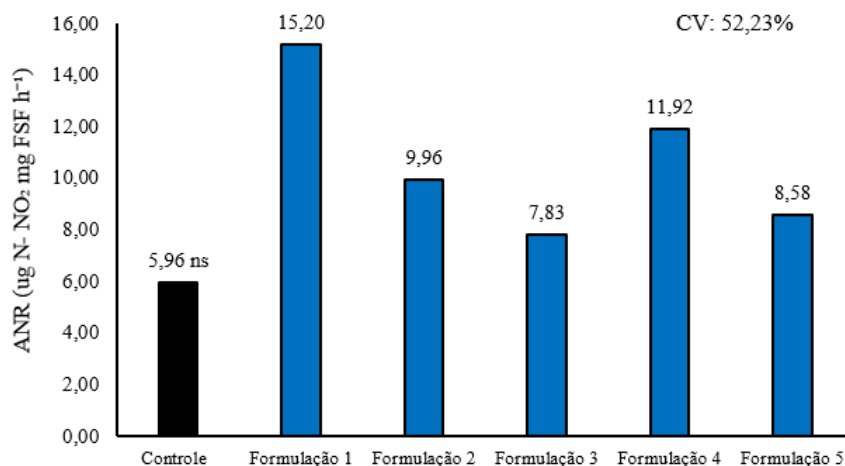
3.3. NITRATO REDUTASE

No Gráfico 4, observa-se que os tratamentos não apresentaram diferença estatística significativa em relação ao controle, apesar da assimilação de nitrato ter tido um incremento de 155% na primeira formulação testada, em comparação ao controle. Isso pode ser explicado, pois, nesse estágio (V₄), a assimilação de nitrogênio via nitrato é fundamental, já que a maior parte do N assimilado é oriunda do solo, sem causar prejuízos à FBN (Soares, 2013).

É relevante considerar que, no presente trabalho, não foi realizada a adubação nitrogenada do solo no momento do plantio. Todavia, houve a atividade da enzima nitrato redutase, e isso pode ser correlacionado com o N residual proveniente do solo coletado, uma vez que solo foi retirado de área agricultável e apresenta nutrientes na análise de fertilidade.

A nitrato redutase, por ser a primeira enzima da via de redução do nitrato, controla a sua taxa de assimilação do nitrato, constituindo um fator importante na regulação do crescimento, desenvolvimento e produção de proteínas. A assimilação dessa enzima é o principal processo pelo qual o nitrogênio atmosférico é convertido em amônia (NH₃) e nitrato (NO₃⁻) (Solomonson; Barber, 1990). O nitrato pode ser reduzido a nitrito (NO₂⁻) e depois a amônia (NH₃) dentro da planta (EMBRAPA, 2022).

Gráfico 4: Nitrato redutase no estágio V₄ no ensaio intitulado “Inoculação na soja com diferentes formulações de *Bradyrhizobium japonicum*”, 2025

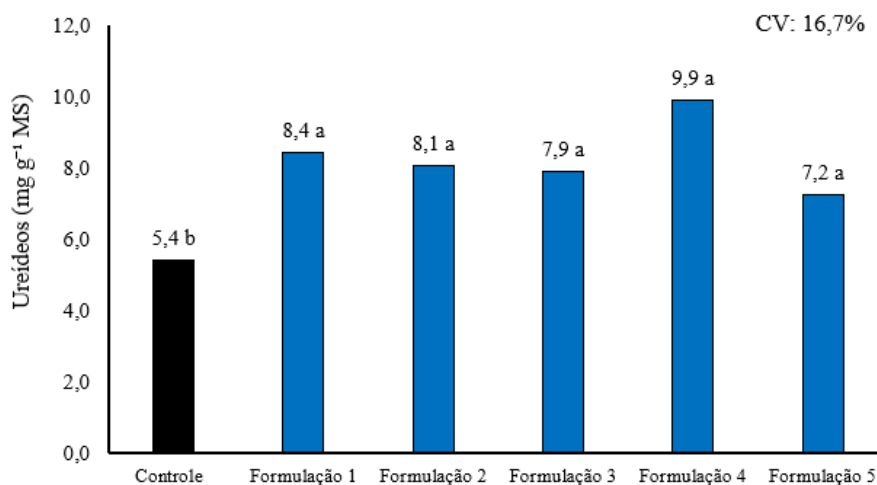


*ns: não significativo

3.4 UREÍDEOS

A análise de ureídeos revelou diferenças estatisticamente significativas dos tratamentos em relação ao controle (Gráfico 5). Em soja, a principal forma de transportar nitrogênio são os ureídeos, o que indica que o tratamento com a quarta formulação apresentou um incremento de 83% em relação ao controle, sendo mais eficiente na assimilação e transporte do nitrogênio fixado, em seguida da primeira formulação, segunda, terceira e quinta, que promoveram um aumento de 55%, 50%, 46% e 33%, respectivamente.

Gráfico 5: Ureídeos no estágio R₂ no ensaio intitulado “Inoculação na soja com diferentes formulações de *Bradyrhizobium japonicum*”, 2025



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

4 CONCLUSÃO

As diferentes formulações de *Bradyrhizobium japonicum* não promoveram diferenças significativas para número de nódulos, massa seca de raiz e atividade de nitrato redutase. Entretanto, houve diferença significativa para os teores de ureídeos nas folhas, com incremento de 83% na formulação 4, o que indica melhor eficiência na assimilação e transporte do nitrogênio fixado.

REFERÊNCIAS

- ALVES, B. J. R.; BODDEY, R.M.; URQUIAGA, S. The success of BNF in soybean in Brazil. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 252, p. 1-9, 2003.
- BALATTI, A. P.; FREIRE, J. R. J. Inoculantes de leguminosas. **Seleção e caracterização de cepas: produção, uso e manejo**. La Plata, Argentina: Editorial Kinggraf, 1996.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Características da soja**. Brasília, DF: Embrapa, [s. d.].
- CAMPO, R. J.; HUNGRIA, M. **Compatibilidade do uso de inoculantes e fungicidas no tratamento de sementes de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2000.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. v. 12 - safra 2023/24, nº 11 - Décimo primeiro levantamento. Janeiro, 2025.
- DAMASIO, A. B. N.; CUNHA, C. E. S.; SANTANA, G. G.; SILVA, L. M.; LOBATO, D. T. C. Efeito de diferentes doses de inoculante à base de *Bradyrhizobium* spp. na cultura da soja. **Revista Novos Desafios**, [S. l.], v. 5, n. 2, p. 65-76, 2025.
- FAGAN, E. B.; ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D.; CHALFUN JUNIOR, A.; DOURADO NETO, D. **Fisiologia vegetal: reguladores vegetais**. São Paulo: Andrei, 2015.
- FERREIRA, D.; F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, [S. l.], v. 37, n. 4, p. 529-535, dec. 2019.
- FERREIRA, E.; NOGUEIRA, M. A.; FUKAMI, J.; CONCEIÇÃO, R. B.; HUNGRIA, M. **Nova legislação, recomendação de doses de inoculantes e pré-inoculação: riscos ao sucesso da contribuição da fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja**. Londrina: Embrapa Soja. p. 325-327, 2011.
- HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. D. C. **Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja**. Londrina: Embrapa, 2001.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. **A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja**: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro. Londrina: Embrapa, 2007.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; CAMPOS, L. J. M.; MENNA, P.; BRANDI, F.; RAMOS, Y. G. Seed pre-inoculation with *Bradyrhizobium* as time-optimizing option for large-scale soybean cropping systems. **Agronomy Journal**, 112(6), 5222-5236, 2020.

SOARES, L. H. **Manejo fisiológico com base em tratamento de sementes e aplicação de organominerais via foliar para sistemas de alto potencial produtivo de soja**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

SOLOMONSON, L. P.; BARBER, M. J. Assimilatory Nitrate Reductase: Functional Properties and Regulation. **Annual Review Plant Biology**. 41:225-253, 1990.

SOUZA, D. D.; CABRAL, J. B. P. de; LOPES, R. M.; REIS, M. A. S.; OLIVEIRA, S. F. Análise pluviométrica da carta topográfica de Patos de Minas referente ao período de 1978 a 2003. **Reunião Anual da SBPC**, 57, 2005.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2006.

Obtenção de população F₂ de alface, segregante para a característica de tolerância à termoinibição

Obtaining an F₂ lettuce population segregating for thermoinhibition tolerance

THATIANY DE FÁTIMA BOTELHO

Discente de Agronomia (UNIPAM)
thatianyfb@unipam.edu.br

LUIZ ANTONIO AUGUSTO GOMES

Professor orientador (UNIPAM)
ufpluizantonioag@unipam.edu.br

WELLINGTON FERRARI DA SILVA

Professor coorientador (UNIPAM)
wellingtonferrari@unipam.edu.br

Resumo: O estudo teve como objetivo obter uma população F₂ de alface segregante para tolerância à termoinibição, característica que limita a germinação de sementes em altas temperaturas. Foram utilizados como genitores as cultivares Everglades, tolerante à termoinibição, e Salinas 88, sensível a essa condição, porém resistente a nematoides das galhas. Após a hibridação e obtenção das gerações F₁ e F₂, foram realizados testes de germinação em duas temperaturas (20 °C e 31,2 °C) para avaliar a resposta dos genótipos. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições de 50 sementes para cada genitor e para F₁ e oito repetições para F₂, submetidas às condições experimentais. Os resultados confirmaram a tolerância da cultivar Everglades à termoinibição e evidenciaram variabilidade genética na população F₂. As estimativas de parâmetros genéticos indicaram herdabilidade moderada para a característica, além de predominância de efeitos aditivos, sugerindo possibilidade de sucesso na seleção de genótipos superiores. Concluiu-se que a população F₂ apresenta potencial para programas de melhoramento visando ao desenvolvimento de cultivares comerciais de alface com maior tolerância à termoinibição.

Palavras-chave: *Lactuca sativa*; termodormência; controle genético.

Abstract: This study aimed to obtain an F₂ lettuce population segregating for thermoinhibition tolerance, a trait that limits seed germination at high temperatures. The parental cultivars used were Everglades, which is tolerant to thermoinhibition, and Salinas 88, which is sensitive to this condition but resistant to root-knot nematodes. After hybridization and the obtainment of the F₁ and F₂ generations, germination tests were performed at two temperatures (20 °C and 31.2 °C) to evaluate the response of the genotypes. The experiment was conducted in a completely randomized design, with four replications of 50 seeds for each parent and for the F₁ generation, and eight replications for the F₂ generation, all subjected to the experimental conditions. The results confirmed the tolerance of the Everglades cultivar to thermoinhibition and revealed genetic variability in the F₂ population. Estimates of genetic parameters indicated moderate heritability for the trait, as well as a predominance of additive effects, suggesting the possibility of successful selection of superior genotypes. It was concluded that the F₂ population has

potential for breeding programs aimed at developing commercial lettuce cultivars with greater tolerance to thermoinhibition. .

Keywords: *Lactuca sativa*; thermodormancy; genetic control.

1 INTRODUÇÃO

Grande parte das hortaliças cultivadas no Brasil originam-se de regiões com condições edafoclimáticas diferentes das aqui presentes, causando dificuldades de adaptação. Fatores ambientais afetam muitos genótipos, sendo que o fotoperíodo, a temperatura e a umidade, entre outros, são fatores que afetam as fases vegetativa e reprodutiva de muitos genótipos, causando perdas de produção e dificuldades na produção de sementes, podendo, a sensibilidade ao estresse ambiental levar à perda de qualidade e redução da produção. Entre os principais problemas, podem-se destacar a ocorrência de temperaturas elevadas, as quais propiciam um aumento na suscetibilidade a patógenos e podem causar distúrbios fisiológicos afetando mecanismos genéticos importantes. Além disso, a preocupação com as possíveis consequências de um aquecimento global reforça a necessidade urgente de se desenvolverem tecnologias para mitigar seus efeitos. No manejo de problemas advindos de altas temperaturas, é comum a utilização de métodos artificiais e muitas vezes produtos químicos, encarecendo a produção e causando impactos ambientais desfavoráveis.

No Brasil, o conhecimento científico em genética e melhoramento tem permitido, ao longo do tempo, o desenvolvimento de cultivares mais adaptadas aos estresses ambientais, porém, apesar dos avanços já alcançados com o melhoramento genético, alguns problemas persistem, exigindo pesquisas para melhor entendimento dos mecanismos genéticos e para aplicação destes conhecimentos em programas de melhoramento. Espécies como a alface, folhosa mais importante no mercado, ainda enfrenta dificuldades de adaptação a altas temperaturas. A grande maioria das cultivares comerciais de alface, senão todas, apresentam problemas, como a suscetibilidade à termoinibição, que corresponde a uma dificuldade das sementes germinarem em temperaturas mais elevadas, acima de 28 a 30° C; o florescimento precoce, quando há início do florescimento antes da planta atingir o tamanho comercial desejável, o que leva a uma necessidade de venda antecipada, reduzindo as margens de ganho, além da ocorrência de nematoides das galhas, quando a sua infecção nas raízes leva a uma menor absorção de nutrientes pelas plantas, reduzindo drasticamente o tamanho das mesmas.

Embora persistam alguns problemas para a alface, existem, no germoplasma mundial dessa espécie, genótipos com variabilidade genética para tolerância da maioria desses estresses, apesar de, normalmente, esses genótipos não apresentarem as características comerciais desejáveis para o mercado brasileiro. Isto reforça a necessidade de se aprofundar no conhecimento dessas características e de seu controle genético, para auxiliar os trabalhos em programas de melhoramento, visando à obtenção de novas cultivares comerciais, com as características desejadas.

Considerando a germinação das sementes de alface, estas, normalmente, apresentam temperatura ótima de germinação em torno de 20° C (Catão *et al.*, 2014;

Nascimento; Croda; Lopes, 2012; Nascimento; Pereira, 2007; Nascimento; Cantliffe, 2002), sendo a temperatura adotada nos testes padrão de germinação para essa espécie (Brasil, 2009),

Algumas cultivares expressam reduções na germinação acima de 25° C, e o aumento para 27° C, por exemplo, pode levar à completa inibição da germinação; para a maioria das cultivares, a germinação não ocorre em temperaturas superiores a 30° C. Diferentes trabalhos evidenciam que sementes de alface apresentaram germinação acima de 90% quando embebidas em temperaturas de 20° e 25° C, sofrendo uma redução de aproximadamente 40% quando a temperatura de germinação aumenta para 30°C e, quando em 35° C, não há germinação

Basicamente, sob altas temperaturas, a germinação de sementes de alface pode ser errática ou completamente inibida. A temperatura ideal e limite de germinação está relacionada a diversos fatores, mas o genótipo é o principal determinante (Kozarewa *et al.*, 2006; Bufalo *et al.*, 2012; Villela *et al.*, 2010).

A dificuldade de germinação em temperatura elevada, denominada termoinibição, é uma inibição temporária da germinação, que ocorre em sementes de alface e que pode ser revertida pela redução da temperatura, ao contrário da termodormência. Esta, por outro lado, é um processo provocado pela exposição prolongada de sementes hidratadas, por exemplo, no armazenamento, a temperaturas elevadas. Esse fato resultará na inibição da germinação, mesmo após a remoção do estresse térmico, ou seja, mesmo se as sementes forem colocadas para germinar em temperatura ideal. As sementes de alface podem apresentar termoinibição quando são embebidas em condições de temperaturas elevadas, no campo ou em estufas para produção de mudas, sendo uma resposta das sementes da cultivar, provocada por essa condição de estresse abiótico (Huo; Bradford, 2015; Huo *et al.*, 2016).

A cultivar Everglades se apresenta como uma cultivar tolerante à termoinibição, conforme relatado em diversos trabalhos (Cavasin *et al.*, 2021; Catão *et al.*, 2023; Queiroz *et al.*, 2023; Cavasin *et al.*, 2023), caracterizando-se como um importante genótipo a ser utilizado em programas de melhoramento que visam a incorporar essa característica em materiais comerciais. Para Queiroz *et al.* (2023), avaliando a curva de germinação da cultivar Everglades, em um gradiente de temperaturas de 20 a 35° C, a temperatura máxima, a partir da qual se inicia o processo de termoinibição, com redução no máximo de germinação atingida, foi de 29,5° C. De acordo com as equações de regressão para germinação em diferentes temperaturas obtidas pelos autores, verifica-se que a temperatura de 31,2° C é eficiente para diferenciar, com segurança, um genótipo tolerante à termoinibição.

A hipótese que norteia esta pesquisa se baseia no fato de que, a partir da geração F₂, originária do cruzamento entre genótipos contrastantes para determinadas características, é possível a obtenção de novos genótipos superiores, mediante a aplicação de métodos adequados de seleção. Assim, para a característica de tolerância à termoinibição, é possível identificar variabilidade genética na população segregante F₂, a partir do cruzamento entre as cultivares Everglades (tolerante à termoinibição) e Salinas 88 (tolerante aos nematóides das galhas).

O objetivo deste trabalho foi a obtenção de população F₂ de alface, segregante para a característica de tolerância à termoinibição e a análise de parâmetros genéticos e

fenotípicos relacionados à característica, com vistas à seleção de novos genótipos comerciais.

2 MATERIAL E MÉTODOS

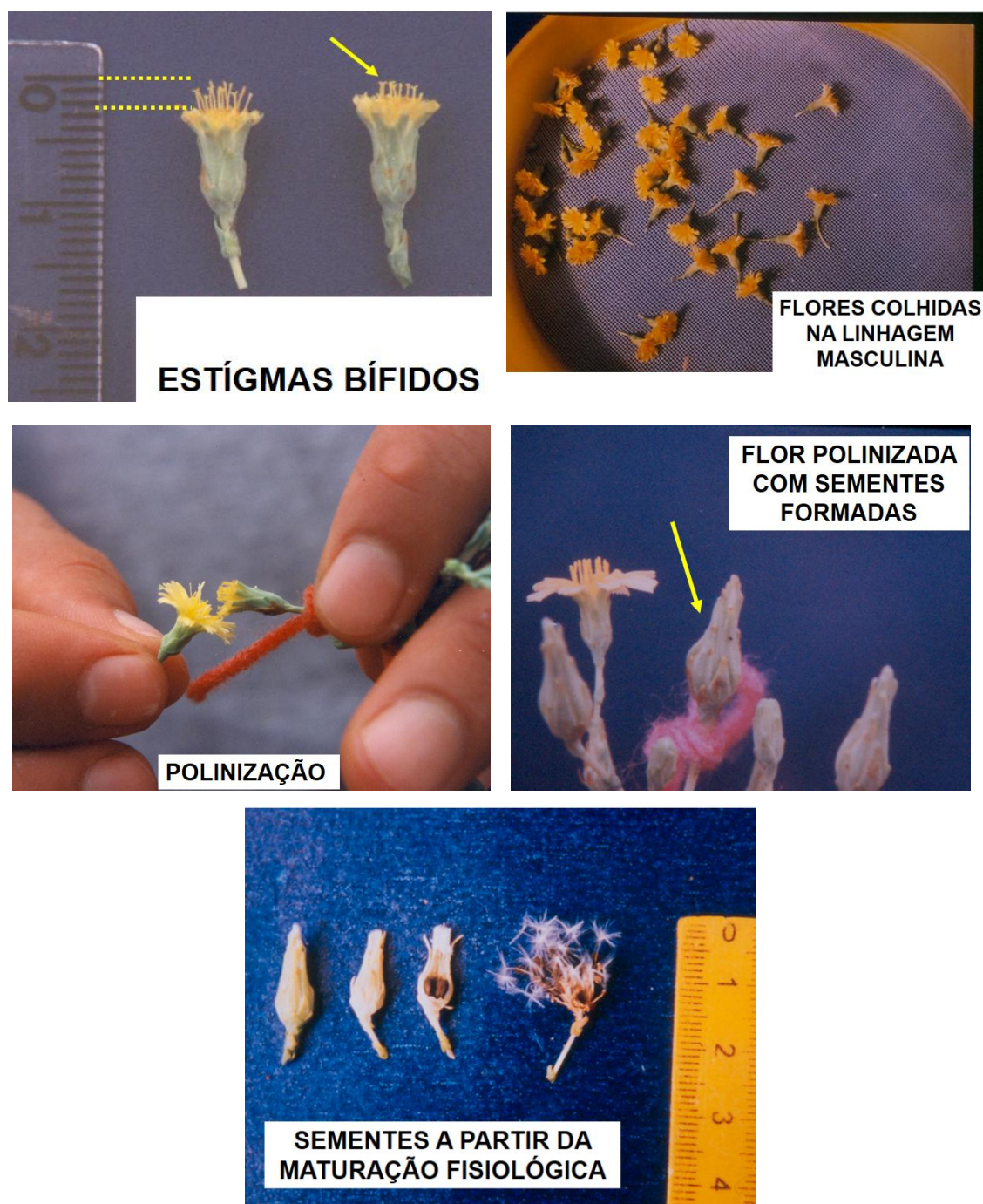
No desenvolvimento deste trabalho, foi utilizada a pesquisa bibliográfica, para aferição e definição das informações metodológicas, e a pesquisa experimental, para avaliação dos tratamentos, mediante semeadura e plantio em delineamento experimental.

As sementes dos genitores, cultivar Everglades, que apresenta folhas lisas e é considerada tolerante à termoinibição, e Salinas 88, que possui folhas crespas, do tipo americana, é resistente aos nematoides das galhas e sensível à termoinibição, foram cedidas pela Biodiversa Sementes Ltda., sendo produzidas em suas instalações no Sítio Lajinha, no município de Ijaci (MG).

Para semeadura dos genitores, utilizaram-se bandejas de isopor de 162 células, onde, após germinação e emergência, as plantas permaneceram por cerca de 3 semanas; em seguida, transplantadas para vasos contendo substrato para hortaliças, os quais foram mantidos em casa de vegetação até o florescimento, realização da hibridação e colheita de sementes F₁ ('Salinas 88' x 'Everglades'). Após o início do florescimento e abertura das primeiras flores em cada genitor, iniciaram-se os cruzamentos para hibridação. Os cruzamentos foram realizados, sempre pela manhã, com emasculação feita antes do nascer do sol para evitar o corte de estigmas, seguindo a metodologia de emasculação e despolinização por jato de água e realizando todos os passos (Figura 1) para se evitarem possíveis contaminantes. A partir daí, foram obtidas as sementes da geração F₁ ('Salinas 88' x 'Everglades'), as quais foram semeadas para dar origem às plantas F₁ e colheita de sementes F₂ ('Salinas 88' x 'Everglades'). Devido ao efeito materno para a característica de tolerância à termoinibição, em sementes de alface (Cavasin *et al.*, 2023), avançou-se mais uma geração para se obter as sementes a serem utilizadas no experimento.

Figura 1: Emasculação e polinização de flores de alface para obtenção de sementes híbridas





Fonte: arquivos dos autores, 2025.

Os testes de germinação foram realizados no Laboratório de Análise de Sementes do UNIPAM, de acordo com os critérios estabelecidos pelas Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009), e os resultados, expressos em percentagem de sementes viáveis.

Foi utilizado o delineamento de distribuição inteiramente casualizada, com quatro repetições de 50 sementes, para cada tratamento. As sementes foram submetidas

à germinação em duas temperaturas: 20° C, que é a temperatura padrão para germinação de sementes de alface e 31,2° C, temperatura considerada eficiente para se identificar genótipos tolerantes à termoinibição (Queiroz *et al.*, 2023). Assim, para cada tratamento foram utilizadas 50 sementes por repetição, sendo quatro repetições para cada um dos genitores; quatro repetições para a população F₁ ('Salinas 88' x 'Everglades') e 8 repetições para a população F₂('Salinas 88 x 'Everglades').

As sementes foram distribuídas em papel mata borrão dentro de caixas tipo gerbox. O papel mata borrão foi previamente umedecido com água destilada na proporção de 2,5 vezes a massa do papel. As caixas gerbox foram colocadas nas câmaras tipo BOD em temperaturas de 20 e 31,2° C com fotoperíodo de 12 horas. Procedeu-se à primeira contagem no quarto dia e à segunda contagem no sétimo dia. Após a segunda contagem, a temperatura da câmara com 31,2° C foi reduzida para 20° C, sendo feita nova contagem no quarto e no sétimo dia, para verificar a viabilidade das sementes remanescentes.

As análises estatísticas foram realizadas no ambiente R (versão 4.3.1; R Core Team, 2024) para obtenção das médias populacionais e estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos, Variância fenotípica - $\sigma^2_{f(F_2)}$; Variância ambiental - $\sigma^2_{m(F_2)}$; Variância genética - $\sigma^2_{g(F_2)}$; Herdabilidade no sentido amplo - h^2_a ; Grau médio de dominância - k_m ; Medida de efeitos aditivos - [a] e Medida de efeitos de dominância - [d].

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de germinação obtidos para sementes dos genitores, cultivares Everglades e Salinas 88 (Tabela 1), corroboram resultados de outros trabalhos que evidenciam a tolerância à termoinibição da cultivar Everglades, cujas sementes apresentaram, neste trabalho, uma germinação de 16,50%, enquanto a cultivar Salinas 88 não germinou nenhuma semente (0,00%). A maior germinação de sementes da cultivar Everglades pode ser atribuída, segundo alguns autores (Cavasin *et al.*, 2021; Catão *et al.*, 2014; Catão *et al.*, 2018), à atividade da enzima endo- β -mananase, que é maior nessa cultivar, quando comparada com cultivares termossensíveis.

Tabela 1: Porcentagem de germinação de sementes de quatro populações de alface submetidas às temperaturas de 20° C e 31,2° C e de sementes remanescentes.
Laboratório de Análise de Sementes do UNIPAM – Patos de Minas, MG.

Populações	% de Germinação		
	20° C	31,2° C	Sementes remanescentes*
Salinas 88	99,50	0,00	97,75
Everglades 71	99,00	16,50	100,00
Média dos genitores	99,25	8,25	98,88
F ₁ ('Salinas 88' x 'Everglades')	99,00	10,00	99,00
F ₂ ('Salinas 88' x 'Everglades')	99,50	6,00	99,25

* Sementes remanescentes dizem respeito às sementes que não germinaram a 31,2° C, mas que germinaram ao reduzir a temperatura da câmara BOD para 20° C.

Alguns trabalhos, citam que a tolerância à germinação pode ser afetada por diversos fatores ambientais, como a temperatura na época do florescimento das plantas, bem como o período de armazenamento das sementes após a colheita.

No que diz respeito à temperatura ambiente, Villela *et al.* (2010) citam que a produção de sementes da cultivar Luisa, no período do verão, favorece sua capacidade de germinação sob condições de temperaturas elevadas.

Já em relação ao período de armazenamento após a colheita, Queiroz *et al.* (2023) avaliaram a germinação de sementes de três cultivares de alface, Everglades (tolerante à termoinibição), Luisa (que apresenta uma tolerância parcial) e Verônica (sensível à termoinibição), as quais haviam sido armazenadas por diferentes períodos de tempo (40, 70, 100, 130, 160, 190 e 260 dias) após a colheita. Os testes de germinação foram realizados em quatro temperaturas distintas: 20° C; 25° C; 30° C e 35° C. Os resultados obtidos mostraram que, nas temperaturas de 20° C e 25° C, para todos os períodos de armazenamento, não houve diferença significativa na germinação das sementes das três cultivares, que apresentaram germinação entre 97% e 100%. Resultados estes que, em relação à temperatura de 25° C, corroboram os de outros pesquisadores como Bufalo *et al.* (2012) e Villela *et al.* (2010).

Na temperatura de 30° C, houve queda drástica de germinação das sementes armazenadas até os 40 dias, para todas as cultivares, porém com recuperação gradual da germinação das sementes, quando armazenadas por 70 e 110 dias, atingindo, a partir dos 130 dias de armazenamento patamares superiores, acima de 90% de germinação para as três cultivares.

Já na temperatura de 35° C, os autores verificaram que a germinação de sementes das três cultivares se manteve em níveis baixos, próximos de 0% para sementes armazenadas até os 100 dias. Por outro lado, para as avaliações a partir de 130 dias de armazenamento, os resultados evidenciaram que o efeito da termoinibição foi drástico para as cultivares Verônica e Luisa, cujos valores mantiveram-se de 0% e 4%, respectivamente, e menor para sementes da cultivar Everglades, que atingiu 21% de germinação. Aos 160 dias de armazenamento o efeito da termoinibição manteve a germinação das cultivares Luisa e Verônica em níveis baixos, 3% e 1%, respectivamente, enquanto para cultivar Everglades houve um acréscimo na porcentagem de germinação das sementes, alcançando 44%. Depois, aos 190 dias e 260 dias de armazenamento, confirmou-se a sensibilidade à termodormência da cultivar Verônica, que apresentou germinação de 1 e de 2% respectivamente. Para esses mesmos períodos, houve um crescimento nos valores de germinação das sementes da cultivar Luisa, os quais foram de 13% e 55% respectivamente. Quanto a cultivar Everglades, suas sementes apresentaram uma ligeira redução na germinação aos 190 dias de armazenamento (33%), com uma elevação para 58% de germinação para as sementes armazenadas por 260 dias. Esses resultados indicaram a existência de um possível atraso no início do funcionamento do mecanismo responsável pela tolerância à termoinibição em sementes de cultivares tolerantes ou parcialmente tolerantes, conforme o período de armazenamento. Baseado nessas informações, pode-se inferir que, provavelmente, a germinação de 16,50% da cultivar Everglades possa estar relacionada ao fato do experimento ter sido realizado logo após a colheita das sementes.

Do ponto de vista da germinação das sementes da cultivar Everglades *per se*, 16,50%, este não foi um resultado como esperado, em vista de a maioria dos trabalhos mostrar valores normalmente acima de 60 a 70% de germinação. Por outro lado, isto não inviabiliza a realização deste trabalho, pois as diferenças de germinação das sementes entre os dois genitores mostram valores distintos de 0,00% para Salinas 88 e 16,50% para Everglades, os quais permitiram se proceder à estimativa dos parâmetros genéticos e fenotípicos, que serão apresentados mais adiante.

Por outro lado, ainda, considerando a expectativa de um melhorista, ou de uma empresa de sementes, que visam à seleção de genótipos superiores a partir da segregação na geração F₂, o trabalho pode ser realizado, normalmente, a partir dos 16,50% de sementes que germinaram, os quais podem, em um lote de 2,00 gramas de sementes, cerca de 2.000 sementes, originarem até 330 plantas oriundas de sementes que apresentaram tolerância à termoinibição, nessa geração. Isto permitirá, para uma empresa, por exemplo, avançar mais rapidamente no processo de seleção, ganhando tempo para obter uma nova cultivar tolerante à termoinibição.

Resta lembrar que não se encontram na literatura trabalhos que discutem e confirmam se esta taxa de germinação em condições de temperatura elevada, de sementes armazenadas por período de tempo curto, é devida à diferença genética, o que poderia garantir uma maior herdabilidade e permitir as seleções mais rapidamente. Nesse caso, ainda, após a obtenção do novo genótipo, a comercialização de sementes poderá ser feita mais rapidamente após a colheita.

Considerando os parâmetros genéticos e fenotípicos estimados (Tabela 2) a partir dos resultados da germinação das sementes em temperatura de 31,2° C (tolerância à termoinibição) dos genitores, cultivares Salinas 88 e Everglades e das populações F₁ ('Salinas 88' x 'Everglades') e F₂ ('Salinas 88' x 'Everglades'), estes, indicam que cerca de 35% da variância fenotípica ($\sigma_{f(F_2)}^2 = 6,86$) para a característica, foi de natureza genotípica ($\sigma_{g(F_2)}^2 = 2,36$).

Tabela 2: Estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos para características relacionadas à reação de tolerância à termoinibição em sementes de alface das cultivares Salinas 88 e Everglades, e das populações F₁ ('Salinas 88' x 'Everglades') e F₂ ('Salinas 88' x 'Everglades')

Parâmetros	Estimativas
Variância fenotípica - $\sigma_{f(F_2)}^2$	6,86
Variância ambiental - $\sigma_{m(F_2)}^2$	4,50
Variância genética - $\sigma_{g(F_2)}^2$	2,36
Herdabilidade no sentido amplo - h_a^2	34,00 %
Grau médio de dominância - k_m	0,21
Medida de efeitos aditivos - [a]	8,50
Medida de efeitos de dominância - [d]	1,75

A herdabilidade no sentido amplo foi superior a 30,00%, ($h_a^2 = 34,00\%$) indicando uma herdabilidade moderada (Terfa; Gurmu, 2020), a qual permite antever possibilidade de sucesso na seleção de genótipos superiores. Além disso, os valores dos efeitos aditivos foram bastante superiores aos efeitos de dominância, indicando

possibilidade de fixação do caráter a partir da seleção nas populações segregantes. Já o grau médio de dominância foi relativamente baixo, 0,21, porém no sentido de contribuir para uma maior tolerância à termoinibição.

4 CONCLUSÃO

Nas condições deste estudo, é possível confirmar a tolerância à termoinibição em sementes de alface da cultivar Everglades, bem como a possibilidade de seleção a partir de população F₂ segregante, para a característica, para obtenção de novos genótipos superiores. Os resultados obtidos, relacionando-os com os de outros trabalhos, indicam que seria interessante avançar em estudos para esclarecer os componentes genéticos e ambientais associados à tolerância à termoinibição em sementes armazenadas, por diferentes períodos de tempo.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras para Análise de Sementes (RAS)**. Brasília: MAPA/SDA, 2025.

BUFALO, T. *et al.* Períodos de estratificação na germinação de sementes de alface (*Lactuca sativa* L.) sob diferentes condições de luz e temperatura. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 3, p. 931-940, 2012.

CATÃO, H. C. R. M. *et al.* Artificial neural networks discriminate lettuce seeds with different levels of thermoinhibition. **Journal of Seed Science**, v. 45, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/2317-1545v45255086>.

CATÃO, H. C. R. M. *et al.* Physiological and biochemical changes in lettuce seeds during storage at different temperatures. **Horticultura Brasileira**, v. 36, n. 1, p. 118-125, 2018.

CATÃO, H. C. R. M. *et al.* Aspectos fisiológicos e bioquímicos da germinação de sementes de alface em diferentes temperaturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 4, p. 316-322, 2014.

CAVASIN, P. Y. *et al.* Maternal effect on thermotolerance in lettuce seeds. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 58, p. 1-8, 2023.

CAVASIN, P. Y. *et al.* Endo- β -mannanase enzyme activity is related to thermal inhibition in *Lactuca sativa* seeds. **Research Journal of Seed Science**, v. 14, p. 11-18, 2021.

HUO, H.; BRADFORD, K. J. Molecular and hormonal regulation of thermoinhibition of seed germination. In: ANDERSON, J. V. **Advances in Plant Dormancy**. Cham: Springer, 2015. p. 3-33.

HUO, H. *et al.* Rapid identification of lettuce seed germination mutants by bulked segregant analysis and whole genome sequencing. **The Plant Journal**, v. 88, n. 3, p. 345-360, 2016.

KOZAREWA, I. *et al.* High maturation temperature of lettuce seeds during development increased ethylene production and germination at elevated temperatures. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 131, n. 4, p. 564-570, 2006.

NASCIMENTO, W. M.; CRODA, M. D.; LOPES, A. C. A. Produção de sementes, qualidade fisiológica e identificação de genótipos de alface termotolerantes. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 34, n. 3, p. 510-517, 2012.

NASCIMENTO, W. M.; PEREIRA, R. S. Testes para avaliação do potencial fisiológico de sementes de alface e sua relação com a germinação sob temperaturas adversas. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, n. 3, p. 175-179, 2007.

NASCIMENTO, W. M.; CANTLIFFE, D. J. Germinação de sementes de alface sob altas temperaturas. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n. 1, p. 103-106, 2002.

QUEIROZ, D. A. *et al.* Environmental temperature and age of seeds in tolerance to thermoinhibition in lettuce genotypes. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 70, p. 13-22, 2023.

R CORE TEAM. R: **A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2024. Disponível em: <https://www.r-project.org>.

TERFA, G. N.; GURMU, G. N. Genetic variability, heritability and genetic advance in linseed (*Linum usitatissimum* L.) genotypes for seed yield and other agronomic traits. **Oil Crop Science**, v. 5, n. 3, p. 156-160, 2020.

VILLELA, R. P. *et al.* Produção e desempenho de sementes de cultivares de alface em duas épocas de plantio. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 1, p. 158-169, 2010.

Tratamento de sementes de soja tratadas com silício e sua influência na qualidade durante o período de armazenamento

*Treatment of soybean seeds with silicon and its influence on quality
during the storage period*

CECÍLIA ISABEL DA SILVA CRUZEIRO

Discente de Agronomia (UNIPAM)
ceciliaisabel@unipam.edu.br

WELLINGTON FERRARI DA SILVA

Professor orientador (UNIPAM)
wellingtonferrari@unipam.edu.br

Resumo: A qualidade fisiológica das sementes é fundamental para o estabelecimento inicial da cultura da soja, sendo o tratamento de sementes uma prática amplamente utilizada para melhorar o desempenho das plântulas. Este trabalho teve como objetivo avaliar a influência de diferentes doses de silício no tratamento de sementes de soja e seus efeitos sobre a qualidade fisiológica durante o armazenamento. O experimento foi conduzido no Laboratório Núcleo de Pesquisas e Análises de Sementes do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), utilizando sementes da cultivar 6822 IPRO. Foram avaliadas cinco doses de silício (0, 2, 4, 6 e 8 g kg⁻¹ de sementes) e três períodos de armazenamento (0, 20 e 40 dias), em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. Avaliaram-se germinação, comprimento da parte aérea e da raiz. Doses de silício (2 e 4 g kg⁻¹) mantiveram a germinação e favoreceram o crescimento das plântulas, enquanto a maior dose (8 g kg⁻¹) reduziu a germinação ao longo do armazenamento.

Palavras-chave: *Glycine max*; vigor de sementes; micronutrientes; germinação; armazenamento.

Abstract: The physiological quality of seeds is essential for the initial establishment of soybean crops, and seed treatment is a widely used practice to improve seedling performance. This study aimed to evaluate the influence of different silicon doses in soybean seed treatment and their effects on physiological quality during storage. The experiment was conducted at the Seed Research and Analysis Center Laboratory of the University Center of Patos de Minas (UNIPAM), using seeds of the 6822 IPRO cultivar. Five silicon doses were evaluated (0, 2, 4, 6, and 8 g kg⁻¹ of seeds), along with three storage periods (0, 20, and 40 days), in a completely randomized design with four replications. Germination, shoot length, and root length were evaluated. Silicon doses of 2 and 4 g kg⁻¹ maintained germination and favored seedling growth, whereas the highest dose, 8 g kg⁻¹, reduced germination throughout the storage period.

Keywords: *Glycine max*; seed vigor; micronutrients; germination; storage.

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) destaca-se como uma das culturas agrícolas mais relevantes no cenário mundial, desempenhando papel essencial na produção de proteína vegetal, óleo comestível e biocombustíveis. Além disso, constitui importante componente na alimentação animal e humana, sendo considerada uma das principais commodities agrícolas globais. Na safra 2025/2026, a área cultivada com soja no país está estimada em aproximadamente 48,7 a 49,1 milhões de hectares, com produção projetada em cerca de 176 a 178 milhões de toneladas, podendo alcançar valores próximos a 180 milhões de toneladas, dependendo das condições climáticas e produtivas. A produtividade média nacional é estimada em aproximadamente 3.600 a 3.675 kg ha⁻¹, consolidando novos recordes de produção e rendimento da cultura no país (CONAB, 2026).

Nesse contexto, a utilização de sementes de alta qualidade é um dos fatores mais determinantes para o sucesso da implantação da cultura. A qualidade de sementes é definida por um conjunto de atributos físicos, genéticos, fisiológicos e sanitários que influenciam diretamente o desempenho das plântulas no campo. Sementes com elevado vigor e capacidade germinativa favorecem o estabelecimento inicial das plantas, proporcionando emergência uniforme e maior potencial produtivo da lavoura (França Neto; Krzyzanowski; Costa, 2020; Marco-Filho, 2020).

Entre as tecnologias empregadas para maximizar o desempenho das sementes, destaca-se o tratamento de sementes, prática amplamente utilizada na agricultura moderna. O tratamento consiste na aplicação de substâncias químicas, biológicas ou nutricionais diretamente nas sementes, com o objetivo de protegê-las contra patógenos, pragas e condições adversas durante as fases iniciais de desenvolvimento da planta. Além da proteção fitossanitária, essa prática pode incluir a aplicação de micronutrientes e bioestimulantes, os quais contribuem para o incremento da germinação, vigor e desenvolvimento inicial das plântulas (Menten; Moraes, 2021).

Nos últimos anos, a utilização de micronutrientes no tratamento de sementes tem despertado crescente interesse devido ao seu potencial em melhorar o desempenho fisiológico das sementes e otimizar o estabelecimento das culturas. Entre esses elementos, o silício (Si) tem se destacado por apresentar efeitos benéficos no crescimento e desenvolvimento vegetal. Embora não seja classificado como elemento essencial para a maioria das plantas superiores, diversos estudos têm demonstrado que o silício desempenha funções importantes na fisiologia vegetal, especialmente na mitigação de estresses bióticos e abióticos (Coskun *et al.*, 2019; Hussain *et al.*, 2021).

O silício é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre, estando presente principalmente na forma de silicatos e dióxido de silício (SiO₂). No sistema solo-planta, esse elemento pode ser absorvido pelas raízes e posteriormente acumulado nos tecidos vegetais, principalmente nas paredes celulares, promovendo maior rigidez estrutural e fortalecendo os tecidos vegetais. Essa deposição de silício pode atuar como barreira física contra a penetração de patógenos e insetos praga, além de contribuir para a regulação do balanço hídrico e para o aumento da eficiência fotossintética das plantas (Islam *et al.*, 2020; Coskun *et al.*, 2019).

Além dos efeitos estruturais, o silício pode atuar na ativação de mecanismos bioquímicos de defesa vegetal. Estudos recentes indicam que a presença desse elemento pode estimular a produção de compostos fenólicos, lignina e fitoalexinas, substâncias associadas aos mecanismos de defesa das plantas contra patógenos. Dessa forma, o silício pode contribuir para o aumento da resistência das plantas a estresses bióticos e abióticos, como déficit hídrico, ataques de insetos e infecções causadas por microrganismos fitopatogênicos (Coskun *et al.*, 2019; Ranjan *et al.*, 2021).

No caso específico da cultura da soja, diversos estudos têm demonstrado que a aplicação de silício pode resultar em melhorias no crescimento vegetativo, incremento da matéria seca, aumento do número de vagens e maior tolerância a condições ambientais adversas. Além disso, evidências científicas sugerem que o fornecimento desse elemento pode contribuir para o aumento da eficiência fotossintética e para o fortalecimento da estrutura celular das plantas, refletindo em melhorias no desenvolvimento e na produtividade da cultura (Oliveira *et al.*, 2024).

Uma estratégia promissora para a utilização do silício na agricultura consiste na sua aplicação por meio do tratamento de sementes. Essa técnica permite disponibilizar o elemento desde os estágios iniciais de desenvolvimento da planta, favorecendo o estabelecimento da cultura e aumentando a eficiência de utilização dos nutrientes. O tratamento de sementes com micronutrientes apresenta diversas vantagens operacionais, como maior uniformidade na distribuição dos nutrientes, redução das perdas por lixiviação e maior eficiência agrônômica quando comparado a aplicações convencionais via solo ou foliar (Menten; Moraes, 2021).

Entretanto, apesar dos benefícios associados ao tratamento de sementes, um fator importante a ser considerado é o efeito do armazenamento sobre a qualidade fisiológica das sementes tratadas. Durante o período de armazenamento, as sementes estão sujeitas a processos de deterioração fisiológica decorrentes de fatores como temperatura, umidade relativa e atividade metabólica residual. Esses fatores podem comprometer a germinação, o vigor e o desempenho das sementes no campo, especialmente em espécies oleaginosas como a soja, que apresentam maior susceptibilidade à deterioração devido ao elevado teor de lipídios (Marcos-Filho, 2020; Carvalho; Nakagawa, 2022).

Nesse contexto, torna-se fundamental compreender a interação entre o tratamento de sementes e o período de armazenamento, visando garantir a manutenção da qualidade fisiológica das sementes até o momento da semeadura. Dessa forma, a investigação do uso do silício no tratamento de sementes de soja e seus efeitos sobre a qualidade fisiológica durante o armazenamento pode contribuir significativamente para o desenvolvimento de estratégias de manejo mais eficientes e sustentáveis na produção agrícola.

Assim, o presente estudo teve como objetivo avaliar a influência de diferentes doses de silício no tratamento de sementes de soja e seus efeitos sobre a qualidade fisiológica durante o armazenamento.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório Núcleo de Pesquisas e Análise de Sementes do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM) durante os meses de maio a julho de 2025. Foram utilizadas sementes da cultivar de soja 6822 IPRO, fornecidas por uma empresa idônea da região da cidade de Patos de Minas (MG), Brasil.

O experimento foi realizado seguindo o delineamento inteiramente casualizado (DIC), com cinco tratamentos e três períodos de armazenamento das sementes (0, 20 e 40 dias após o tratamento), totalizando 60 parcelas experimentais. Os tratamentos consistiram em aplicações nas sementes de soja com o elemento mineral silício (ácido silícico). As doses utilizadas para cada tratamento estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Tratamentos referentes ao experimento com aplicação de silício.
Centro Universitário de Patos de Minas – UNIPAM, Minas Gerais

Tratamentos	Doses g. kg ⁻¹ de sementes
T ₁	0
T ₂	2
T ₃	4
T ₄	6
T ₅	8

Fonte: dados da pesquisa, 2026.

Em seguida foram executados os procedimentos a seguir. Inicialmente, antes da aplicação dos tratamentos, foi realizada a caracterização fisiológica do lote de sementes por meio do teste padrão de germinação e da determinação do teor de água das sementes, conforme as metodologias descritas nas Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009).

Determinação do teor de umidade das sementes: o teor de água nos grãos de sementes de soja foi determinado através de um medidor de umidade, modelo GEHAKA G800. Os resultados serão expressos em porcentagem (base úmida).

Teste de germinação padrão: realizado utilizando-se quatro subamostras de 50 sementes cada. As sementes foram distribuídas aleatoriamente em papel germitest, previamente umedecidos com uma quantidade de água equivalente a 2,5 vezes o peso do substrato seco, em seguida colocadas para germinar em Germinador ELETROLAB (controlador de temperatura microprocessado) mantidas a 25°C. A avaliação foi realizada no oitavo dia após a semeadura, segundo os critérios estabelecidos pelas Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009). Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais.

Após a caracterização inicial do lote, procedeu-se à aplicação dos tratamentos com silício nas sementes de soja, seguindo a metodologia da Tabela 1. As sementes foram distribuídas aleatoriamente em papel germitest, previamente umedecidos com uma quantidade de água equivalente a 2,5 vezes o peso do substrato seco. Os rolos de cada tratamento foram colocados juntos em sacos plásticos transparentes e amarrados; posteriormente, foram acondicionados em germinador ELETROLAB (controlador de temperatura microprocessado), mantidos a 20°C. As avaliações foram realizadas no 8º

dia após a semeadura, segundo os critérios estabelecidos pelas Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009). Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais.

Após o teste de germinação, realizou-se a análise de crescimento de plântulas. Nas plântulas normais de cada tratamento e repetição, foram medidas a raiz e a parte aérea com auxílio de uma régua graduada em centímetros, sendo os resultados expressos em cm plântula¹.

As médias foram submetidas à análise de variância através do programa computacional SISVAR e posteriormente submetidas ao teste de Tukey, a nível de 5% de significância (Ferreira, 2019).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 demonstra os resultados referentes ao teor de umidade e às porcentagens de germinação antes do tratamento com silício. Esses resultados de germinação são favoráveis e estão dentro das normas das Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009).

Tabela 2: Valores do teor de umidade (TU) e germinação padrão para sementes de soja. Centro Universitário de Patos de Minas – UNIPAM, Minas Gerais

Cultivar	TA	Germinação
	(%)	(%)
6822 IPRO	10	94

Fonte: dados da pesquisa, 2026.

A germinação das sementes de soja tratadas com silício apresentou variação significativa entre os tratamentos e períodos de armazenamento (Tabela 3). No período inicial de armazenamento (0 dias), observou-se maior percentual de germinação no tratamento controle (T1), com 90%, diferindo estatisticamente do tratamento T4 (57%), que apresentou o menor valor. Os tratamentos T2 (79%), T3 (75%) e T5 (66%) apresentaram germinação intermediária, não diferindo estatisticamente do tratamento controle.

Após 20 dias de armazenamento, verificou-se tendência de redução das diferenças entre os tratamentos. Os valores de germinação variaram entre 70% (T5) e 86% (T1), sem diferenças estatísticas expressivas entre a maioria dos tratamentos, indicando relativa estabilidade da qualidade fisiológica das sementes nesse período.

No período de 40 dias de armazenamento, observou-se redução da germinação em alguns tratamentos, especialmente na maior dose de silício (T5), que apresentou apenas 59%, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. Os tratamentos T1 (86%), T2 (78%), T3 (73%) e T4 (71%) mantiveram valores superiores, não diferindo estatisticamente entre si.

De modo geral, os resultados indicam que doses mais elevadas de silício podem exercer efeito negativo sobre a germinação das sementes durante o armazenamento, especialmente após períodos prolongados. Esse comportamento pode estar associado ao fato de que concentrações elevadas de determinados nutrientes aplicados diretamente

às sementes podem provocar efeitos fitotóxicos ou interferir no processo de embebição, comprometendo o metabolismo inicial da germinação (Marcos-Filho, 2020; Bewley *et al.*, 2013). Durante o armazenamento, sementes de soja, por apresentarem elevado teor de lipídios, são particularmente suscetíveis a processos de deterioração fisiológica, os quais podem comprometer a integridade das membranas celulares e reduzir o potencial germinativo ao longo do tempo (Carvalho; Nakagawa, 2022; Marcos-Filho, 2020).

O comprimento da parte aérea das plântulas apresentou variações em função das doses de silício e do período de armazenamento (Tabela 3). No período de 0 dias, os tratamentos T1 e T5 apresentaram os maiores valores de comprimento da parte aérea (9 cm), porém não diferiram estatisticamente dos demais tratamentos.

Após 20 dias de armazenamento, observou-se maior variação entre os tratamentos. A maior média foi observada no tratamento T5 (9 cm), enquanto T1 apresentou redução no comprimento da parte aérea (7 cm). Os tratamentos T2, T3 e T4 apresentaram valores intermediários (8 cm).

No período de 40 dias de armazenamento, verificou-se aumento do comprimento da parte aérea nos tratamentos T3 (10 cm) e T4 (11 cm), diferindo estatisticamente entre si e dos demais tratamentos. Essa diferença parte do pressuposto de um possível efeito estimulante do silício no crescimento inicial das plântulas em doses intermediárias. Por outro lado, os tratamentos T1 e T5 apresentaram menores valores (7 cm).

Esses resultados sugerem que doses de 6 g kg⁻¹ de silício podem favorecer o crescimento da parte aérea das plântulas durante períodos mais longos de armazenamento. O silício pode ser acumulado nas paredes celulares das plantas, aumentando a rigidez estrutural dos tecidos e contribuindo para maior sustentação e crescimento vegetal (Epstein, 1999; Coskun *et al.*, 2019). Além disso, esse elemento pode atuar na regulação de processos fisiológicos, incluindo a atividade antioxidante, a eficiência fotossintética e o equilíbrio hídrico, fatores que contribuem para o desenvolvimento inicial das plântulas (Ma; Yamaji, 2015; Hussain *et al.*, 2021; Luyckx *et al.*, 2017).

Tabela 3: Germinação (G), comprimento da parte aérea (CPA) e comprimento raiz tratadas com silício. Centro Universitário de Patos de Minas – UNIPAM, Minas Gerais

	Tratamentos Silício (g kg ⁻¹ sementes)	Períodos de Armazenamento (dias)		
		0	20	40
G (%)	T1	90 a	86 a	86 a
	T2	79 ab	81 a	78 a
	T3	75 ab	78 ab	73 a
	T4	57 b	76 ab	71 ab
	T5	66 ab	70 b	59 b
CV (%)		17,4	6,37	11,6
DMS		14,10	5,42	9,2
CPA (cm)	T1	9 a	7 b	7 c
	T2	7 a	8 ab	9 b
	T3	8 a	8 ab	10 b
	T4	7 a	8 ab	11 a

	T ₅	9 a	9 a	7 c
CV (%)		11,81	7,51	9,78
DMS		2,1	1,3	1,9
CR (cm)	T ₁	7 ab	8 a	7 b
	T ₂	5 b	7 a	11 a
	T ₃	6 ab	7 a	9 ab
	T ₄	5 b	8 a	11 a
	T ₅	7 a	7 a	7 b
CV (%)		15,98	25,08	15,14
DMS		2,1	3,97	3,1

*Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna, em cada período de armazenamento, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. T₁ – (0 g kg⁻¹ sementes); T₂ – (2 g kg⁻¹ sementes); T₃ – (4 g kg⁻¹ sementes); T₄ – (6 g kg⁻¹ sementes); T₅ – (8 g kg⁻¹ sementes); CV = Coeficiente de variação; DMS = Diferença mínima significativa.

O comprimento da raiz das plântulas também apresentou variação significativa entre os tratamentos e períodos de armazenamento, como consta na Tabela 3. No período inicial (0 dias), os tratamentos T₁, T₃ e T₅ apresentaram os maiores comprimentos radiculares (7 cm), diferindo estatisticamente de T₂ e T₄, que apresentaram menor crescimento radicular (5 cm).

Após 20 dias de armazenamento, observou-se uniformidade entre os tratamentos, com valores variando entre 7 e 8 cm, sem diferenças estatísticas significativas entre as doses de silício.

Entretanto, após 40 dias de armazenamento, houve aumento expressivo do comprimento da raiz nos tratamentos T₂, T₃ e T₄, que atingiram valores entre 9 e 11 cm, com destaque para T₂ e T₄ (11 cm). O tratamento T₅ apresentou valor inferior (7 cm), semelhante ao controle.

Esses resultados indicam que doses intermediárias de silício podem estimular o desenvolvimento radicular das plântulas após períodos mais prolongados de armazenamento, enquanto doses mais elevadas podem limitar esse efeito. O desenvolvimento do sistema radicular é fundamental para o estabelecimento inicial das plantas, uma vez que raízes mais desenvolvidas proporcionam maior capacidade de absorção de água e nutrientes (Taiz *et al.*, 2017). Estudos indicam que o silício pode contribuir para o crescimento radicular ao melhorar a integridade estrutural dos tecidos vegetais, reduzir danos oxidativos e aumentar a tolerância das plantas a diferentes estresses ambientais (Zargar *et al.*, 2019; Coskun *et al.*, 2019; Islam *et al.*, 2020).

Considerando os períodos de armazenamento, verificou-se que a germinação apresentou tendência de redução ao longo do tempo em alguns tratamentos, especialmente nas doses mais elevadas de silício. Por outro lado, as variáveis de crescimento de plântulas (comprimento da parte aérea e da raiz) apresentaram, em alguns casos, aumento ao longo do armazenamento, principalmente nos tratamentos com doses intermediárias de silício.

De forma geral, os resultados indicam que o armazenamento por até 40 dias não compromete significativamente o vigor das sementes tratadas com doses moderadas de silício, podendo inclusive favorecer o crescimento inicial das plântulas. Resultados semelhantes foram observados em estudos que demonstram que o silício pode

contribuir para o aumento do vigor inicial das plantas e para a mitigação de estresses fisiológicos durante as fases iniciais de desenvolvimento (Coskun *et al.*, 2019; Hussain *et al.*, 2021; Zargar *et al.*, 2019). Entretanto, doses elevadas podem resultar em efeitos negativos sobre a germinação e o desenvolvimento inicial, evidenciando a importância da definição de doses adequadas no tratamento de sementes.

4 CONCLUSÃO

O tratamento de sementes de soja com silício nas doses de 2 e 4 g kg⁻¹ preservou a germinação e favoreceu o crescimento inicial das plântulas durante 40 dias de armazenamento. A dose de 8 g kg⁻¹ reduziu a germinação e não promoveu benefícios ao desenvolvimento inicial.

REFERÊNCIAS

- BEWLEY, J. D.; BRADFORD, K. J.; HILHORST, H. W. M.; NONOGAKI, H. Seeds: Physiology of development, germination and dormancy. 3. ed. New York: **Springer**, 2013. DOI: 10.1007/978-1-4614-4693-4.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análises de sementes**. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009. 395p.
- CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 6 ed. Jaboticabal: FUNEP, 2022.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos 2025/26**. Brasília, 2026.
- COSKUN, D.; DESHMUKH, R.; SONAH, H.; MENZIES, J. G.; REYNOLDS, O.; MA, J. F.; KRONZUCKER, H. J.; BÉLANGER, R. R. The controversies of silicon's role in plant biology. **New Phytologist**, v. 221, n. 1, p. 67-85, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.15343>.
- EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, 50, 641-664. 1999. DOI: <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.arplant.50.1.641>.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: um sistema de análise computacional. Para efeitos fixos do tipo Split Plot. **Revista brasileira de Biometria**, [S. l.], v. 37, n. 4, p. 529-535, dez. 2019.
- FRANÇA NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C.; COSTA, N. P. **Seed vigor and soybean crop establishment**. Londrina: Embrapa, 2020.

HUSSAIN, S.; MUMTAZ, M.; MANZOOR, S.; LI, S.; AHMED, I.; SKALICKÝ, M.; BRESTIC, M.; RASTOGI, A.; ULHASSAN, Z.; SHAFIG, I.; ALLAKHVERDIEV, S. I.; KHURSHID, H.; YANG, W.; LIU, W. Foliar application of silicon improves growth of soybean by enhancing carbon metabolism under shading conditions. **Plant Hysiology and Biochemistry**, 159, 43–52. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.11.053>.

ISLAM, W.; TAYYAB, M.; KHALIL, F.; HUA, Z.; HUANG, Z.; CHEN, H. Y. H. Silicon-mediated plant defense against pathogens and insect pests. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 168, p. 104641, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2020.104641>

LUYCKX, M.; HAUSMAN, J-F.; LUTTS, S.; GUERRIERO, G. Silicon and Plants: Current Knowledge and Technological Perspectives. **Front. Plant Sci.** 8:411. 2017. DOI: 10.3389/fpls.2017.00411

MA, J. F.; YAMAJI, N. A cooperative system of silicon transport in plants. **Trends in Plant Science**, 20(7), 435–442. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2015.04.007>.

MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 2. ed. Londrina: ABRATES, 2020.

MENTEN, J. O. M.; MORAES, M. H. D. Tratamento de sementes na agricultura moderna. **Seed News**, 2021.

OLIVEIRA, C. F.; COSTA, K. S. Q.; MELO, M. P.; LIMA, H. C.; CORDOVIL, H. P. L.; MOREIRA, A. V. P.; MELO, N. C.; MORAES, F. K. C.; FERREIRA, R. L. C.; CRUZ, F. J. R.; FEITOSA, E. O.; SOUZA, L. C.; NASCIMENTO, V. R. Growth of soybean plants cultivated in soil and fertilized with silicon. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.284663>.

RANJAN, A.; SINHA, R.; BALA, M.; PAREEK, A.; SINGLA-PAREEK, S.L.; SINGH, A. K. Silicon-mediated abiotic and biotic stress mitigation in plants: Underlying mechanisms and potential for stress resilient agriculture. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 163, p. 15-25, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.03.044>

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Plant Physiology and Development** (6th ed.). Sinauer Associates / Oxford University Press. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1093/hesc/9780197614204.001.0001>

ZARGAR, S. M.; MAHAJAN, R.; BHAT, J. A.; NAZIR, M.; DESHMUKH, R. Role of silicon in plant stress tolerance: opportunities to achieve a sustainable cropping system. **3 Biotech**, v. 9, n. 3, p. 73, 2019. DOI: 10.1007/s13205-019-1613-z

Análise do desempenho de fachadas com revestimento cerâmico no ambiente urbano sob a ação de agentes climáticos

Performance analysis of ceramic-tiled facades in the urban environment under the action of climatic agents

DANIEL DE OLIVEIRA MOTA
Discente de Engenharia Civil (UNIPAM)
danielomota@unipam.edu.br

EDUARDO MATEUS DA SILVA OLIVEIRA
Discente de Engenharia Civil (UNIPAM)
eduardomateusso@unipam.edu.br

DAIANE TEODORO DE ANDRADE REIS
Professora orientadora (UNIPAM)
daianeteodoro@unipam.edu.br

Resumo: Este estudo analisa a influência dos agentes higrotérmicos na degradação de fachadas com revestimento cerâmico em edificações localizadas na cidade de Patos de Minas (MG). A pesquisa foi realizada por meio de revisão bibliográfica e investigação de campo, analisando três edificações com características construtivas semelhantes e diferentes orientações solares. Foram identificadas manifestações patológicas como eflorescência, falhas de rejunte, fissuras e descolamentos. Também foram avaliadas variáveis climáticas, como temperatura, radiação solar e precipitação, além do comportamento higrotérmico das fachadas por meio de simulação computacional. Os resultados indicaram que fatores como orientação solar, absorptância do revestimento, idade da edificação e condições climáticas influenciam diretamente o processo de degradação das fachadas cerâmicas, contribuindo para o aprimoramento das práticas construtivas e das estratégias de manutenção.

Palavras-chave: revestimento cerâmico; agentes higrotérmicos; patologia das construções.

Abstract: This study analyzes the influence of hygrothermal agents on the degradation of ceramic-tiled facades in buildings located in the city of Patos de Minas, Minas Gerais, Brazil. The research was conducted through a literature review and field investigation, analyzing three buildings with similar construction characteristics and different solar orientations. Pathological manifestations such as efflorescence, grout failures, cracks, and detachment were identified. Climatic variables, including temperature, solar radiation, and precipitation, were also evaluated, as well as the hygrothermal behavior of the facades through computational simulation. The results indicated that factors such as solar orientation, coating absorptance, building age, and climatic conditions directly influence the degradation process of ceramic facades, contributing to the improvement of construction practices and maintenance strategies.

Keywords: ceramic tile cladding; hygrothermal agents; building pathology.

1 INTRODUÇÃO

Apresentando um valor social fundamental, as edificações são um suporte físico para realização direta ou indireta de todas as atividades produtivas. Diferentemente de muitos outros produtos, as edificações devem atender aos usuários por um longo período, apresentando condições adequadas de uso, resistindo a agentes ambientais e de uso que alteram suas propriedades técnicas iniciais (ABNT NBR 5674:2012).

O processo de degradação das edificações resulta da ação combinada de fatores, como condições de uso, ausência de manutenção e atuação de agentes físicos, químicos e biológicos, que contribuem para o surgimento de manifestações patológicas e influenciam a durabilidade dos sistemas construtivos (Bauer, 2005). Entre esses fatores destacam-se os agentes higrotérmicos, associados às variações de temperatura e à presença de umidade, responsáveis por processos como dilatação dos materiais, movimentação de umidade e cristalização de sais nos revestimentos (Neville; Brooks, 2013). A análise desses fenômenos em edificações reais é complexa, pois depende das características construtivas e das condições ambientais locais; entretanto, o uso de simulações computacionais tem permitido avaliar o comportamento higrotérmico das fachadas e a influência de variáveis como radiação solar, temperatura e umidade na degradação dos sistemas de revestimento (Andrade, 2022).

Esta pesquisa teve como objetivo analisar o impacto dos agentes higrotérmicos, especialmente chuva dirigida e temperatura, na degradação de fachadas com revestimento cerâmico em edificações da cidade de Patos de Minas, por meio da análise de três edificações com tipologias construtivas semelhantes localizadas em diferentes zonas da cidade, considerando a influência das condições climáticas e o desempenho dos materiais ao longo de um ano climatológico típico. Buscando alcançar o objetivo geral, foram cumpridos os seguintes objetivos específicos: selecionar três edificações em zonas diferentes na cidade de Patos de Minas; realizar a inspeção das edificações aplicando o Método de Mensuração da Degradação (MMD) e calcular o Fator Geral de Danos (FGD); identificar as principais patologias observadas nas fachadas, como fissuras, descolamento de revestimentos, manchas; avaliar a influência dos agentes climáticos no processo de degradação das fachadas ao longo de um ano climatológico.

2 REVISÃO TEÓRICA

2.1 FACHADAS CERÂMICAS

A utilização de peças cerâmicas em fachadas ocorre principalmente pela sua resistência frente aos agentes de degradação, como a chuva e a temperatura. Porém, mesmo que mais resistente que outros revestimentos, como a pintura, as fachadas cerâmicas se degradam e devem receber as devidas manutenções para garantir seu desempenho e prolongar sua vida útil. Para compreender seu processo de degradação, é importante conhecer sua constituição para compreender quais tensões são importantes em seu processo de degradação. Os revestimentos cerâmicos são constituídos de várias camadas com diferentes materiais interligados, portanto qualquer deformação em uma

camada ocasionará tensões no conjunto, variando de acordo com as características de cada camada (Fiorito, 2009).

2.2 NORMAS TÉCNICAS APLICÁVEIS À AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE FACHADAS CERÂMICAS

No contexto da degradação de fachadas cerâmicas, diversas normas técnicas estabelecem critérios fundamentais para garantir o desempenho, a durabilidade e a segurança dos sistemas de revestimento utilizados nas edificações. A ABNT NBR 15575 (2013), que trata do desempenho de edificações habitacionais, define requisitos mínimos relacionados ao desempenho térmico, estrutural e à durabilidade dos elementos construtivos. No caso das fachadas, a norma exige que os sistemas de vedação apresentem estanqueidade à água, resistência às variações térmicas e desempenho adequado ao longo da vida útil de projeto.

De forma complementar, a ABNT NBR 13755 (2017) estabelece diretrizes para a execução de revestimentos cerâmicos com argamassa colante, abordando aspectos como assentamento das placas, espaçamento das juntas e aplicação de rejuntas, procedimentos essenciais para evitar patologias como infiltrações, fissuras e descolamentos.

Além disso, a ABNT NBR ISSO 10545 (2020) define os requisitos técnicos das placas cerâmicas, incluindo propriedades como absorção de água, resistência ao impacto, abrasão e flexão, características fundamentais para o bom desempenho do material frente aos agentes climáticos. A série NBR ISSO 10545-7 (2017) complementa esses requisitos ao apresentar os métodos de ensaio utilizados para avaliar as propriedades das placas cerâmicas, contribuindo para o controle tecnológico e para a verificação da qualidade dos materiais utilizados nas fachadas.

2.3 INFLUÊNCIA DA ORIENTAÇÃO SOLAR E EXPOSIÇÃO

A orientação solar e o grau de exposição das fachadas influenciam diretamente o desempenho e a durabilidade dos revestimentos, pois a intensidade da radiação solar, associada à ação dos ventos e das chuvas, afeta os processos de degradação dos materiais (Bauer, 2005). Em regiões de clima tropical, fachadas orientadas para norte e oeste recebem maior incidência de radiação ao longo do dia, provocando ciclos repetitivos de aquecimento e resfriamento que geram dilatações e retrações térmicas capazes de causar fissuração, perda de aderência e destacamento das placas cerâmicas ao longo do tempo (Souza; Ripper, 1998). Além disso, a radiação ultravioleta contribui para a degradação dos rejuntas, tornando-os mais frágeis e permeáveis, o que facilita a penetração da água da chuva e intensifica os processos de deterioração (Lima; Sabbatini, 2001). Já fachadas orientadas para sul, apesar de receberem menor radiação solar direta, tendem a reter mais umidade devido à menor taxa de evaporação, favorecendo o aparecimento de manchas, eflorescências e biodeterioração (Lichtenstein, 1985).

2.4 AÇÃO DA CHUVA DIRIGIDA E DA UMIDADE

A chuva dirigida é um dos principais agentes de degradação em revestimentos cerâmicos de fachada, pois resulta da ação combinada entre precipitação e vento, aumentando a pressão da água sobre a superfície e favorecendo a penetração de umidade nas camadas do sistema (Lima; Sabbatini, 2001). Em condições de elevada pluviosidade, esse processo pode reduzir a aderência entre a placa cerâmica e a argamassa colante, contribuindo para manifestações patológicas como eflorescências, manchas e destacamentos (Souza; Ripper, 1998). Além disso, a repetição dos ciclos de molhagem e secagem, associada às variações térmicas, intensifica as movimentações higroscópicas dos materiais, favorecendo o surgimento de microfissuras e falhas de aderência ao longo do tempo (Lichtenstein, 1985; Bauer, 2005). Para minimizar esses efeitos, recomenda-se a adoção de soluções construtivas adequadas, como juntas de movimentação bem dimensionadas, rejuntas com baixa permeabilidade e argamassas colantes de alto desempenho (Lima; Sabbatini, 2001).

2.5 DURABILIDADE, DEGRADAÇÃO E VIDA ÚTIL

Segundo ISSO 15686-1 (2011), parte do projeto de uma edificação é o planejamento de sua vida útil. Busca-se garantir que a vida útil de uma edificação supere sua vida útil de projeto mínima. É necessário avaliar o ciclo de vida da construção e seu impacto ambiental, comparando diferentes opções construtivas. Deve-se garantir que a edificação mantenha seu desempenho em uso, sendo funcional para o que foi projetada.

Dessa forma as fachadas devem ser estudadas detalhadamente para identificação das anomalias e principalmente das pré-patologias, as quais nos permitem identificar importantes problemas subjacentes. Mesmo que uma anomalia não se mostre crítica para o desempenho, deve-se investigar sua origem. É notório que os processos de iniciação e propagação das anomalias ocorrem de maneira singular, tornando-se necessário conhecer e compreender os fatores e agentes de degradação.

2.6 DESPLACAMENTOS

O deslocamento corresponde ao destacamento parcial ou total das placas cerâmicas da fachada, sendo uma das manifestações patológicas mais críticas em termos de segurança e durabilidade. Esse fenômeno pode estar associado a falhas na execução do assentamento, uso inadequado de argamassa, ausência da técnica de dupla colagem e espessura incorreta da camada de colagem (Sabbatini, 2010). Além disso, a exposição a agentes climáticos, como variações de temperatura, ciclos de umedecimento e de secagem e ação da chuva dirigida, intensifica as tensões entre a placa cerâmica e o substrato, favorecendo a perda de aderência (Silva; Medeiros, 2015). A ausência de juntas de movimentação e o uso de suportes ainda em processo de cura também podem aumentar a ocorrência dessa patologia, podendo comprometer o desempenho do revestimento e representar riscos à segurança (Bucher; Nakakura, 1997).

2.7 EFLORESCÊNCIA

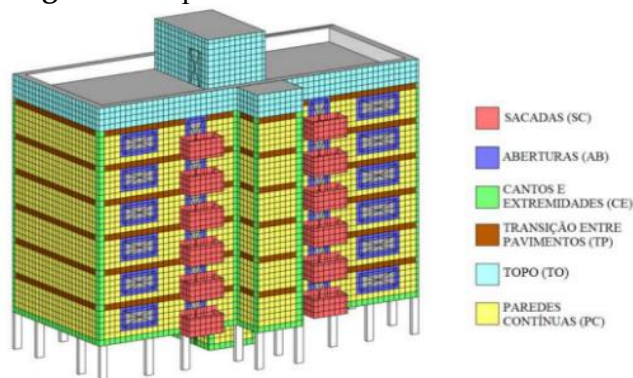
A eflorescência é caracterizada pelo surgimento de manchas brancas ou cristalizações na superfície do revestimento cerâmico, resultante da migração de sais solúveis presentes na argamassa, na cerâmica ou no substrato. Helene (2003) explica que a presença de água é essencial para que os sais migrem por capilaridade até a superfície, onde se cristalizam após evaporação. Esse processo não apenas compromete a estética, mas também indica problemas de umidade e falhas de estanqueidade no sistema de revestimento.

A eflorescência é frequentemente observada em áreas próximas a juntas falhas ou em fachadas expostas à chuva dirigida. A frequência do fenômeno está relacionada à porosidade da argamassa, à concentração de sais e à disponibilidade de água. Além disso, a migração contínua de sais pode fragilizar a argamassa de assentamento, provocar microfissuras e, em longo prazo, favorecer deslocamentos ou outras manifestações patológicas. Técnicas preventivas, como a aplicação de hidrofugantes e a seleção de argamassas com baixo teor de sais, podem reduzir significativamente a ocorrência da eflorescência.

2.8 MENSURAÇÃO DA DEGRADAÇÃO (MMD)

Em conformidade com Bauer *et al.* (2020), o método de mensuração da degradação (MMD) estuda as anomalias e as regiões degradadas. Para padronização, é realizada a captura fotográfica e ortogonalização de imagens digitais das fachadas, feito uma malha quadriculada em escala de 0,50 cm por 0,50 cm para que as anomalias sejam definidas e quantificadas em escala para cada amostra. Realiza-se também a divisão da fachada em zonas como pode ser observado na Figura 1.

Figura 1: Mapeamento de zonas de fachadas



Fonte: Pinheiro, 2016.

2.9 FATOR GERAL DE DANOS (FGD)

O Fator Geral de Danos (FGD) é calculado com base na equação 1, que leva em consideração a extensão dos danos visíveis, a gravidade de cada patologia e a área total da fachada. Essa fórmula pondera a área afetada e a gravidade de cada tipo de dano. Por

exemplo, se um dano afeta uma grande área, mas sua severidade é baixa, ele terá menos impacto no FGD total do que um dano severo que afeta uma pequena área (Bauer *et al.* 2020).

$$FGD = \sum \left[\frac{An * Kn * Kc,n}{A * k} \right] \quad (1)$$

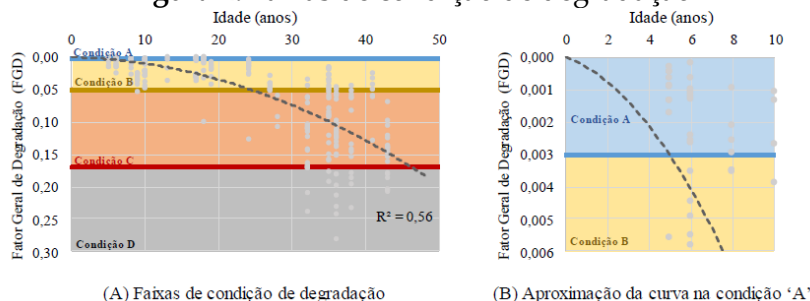
- FGD – Fator Geral de Danos (%);
- An – Área de uma fachada afetada por n tipos de anomalias (m²),
- kn– Nível de condição de n anomalias (de 0,00 a 4,00),
- k – Constante, equivalente ao nível da pior condição (14,00),
- kc,n – Importância relativa das anomalias,
- A – Área da amostra de fachada (m²),
- n – (n=1 - descolamento cerâmico, n=2 - falha nas juntas, n=3 - fissuras, n=4 - manchas).

As curvas de degradação geradas a partir do FGD se tornam mais expressivas e acentuadas em amostras com mais de 30 anos. Ao longo do tempo, as manifestações patológicas se associam, como é o caso das fissuras, que permitem o ingresso de água e outros agentes no sistema, favorecendo processos como o descolamento cerâmico e eflorescências (Bauer; Silva, 2016). No estudo da degradação de revestimentos cerâmicos em fachadas, as principais patologias são classificadas, segundo Andrade (2022, p. 18), como:

Descolamento: Todo desprendimento de peça cerâmica independente da causa ou modo de ocorrência; **Fissuração:** Fissuras no revestimento cerâmico independente da sua manifestação e origem; **Falha nas juntas:** Anomalias observadas nas juntas como fissuras ou falhas no selante; **Manchas:** Manchas na superfície de qualquer natureza, como, por exemplo, eflorescências.”

Souza (2019) analisou 307 amostras de fachadas em Brasília, com objetivo de propor modelos de estimativa de vida útil capazes de ponderar sobre a influência dos fatores condicionantes de degradação de revestimentos cerâmicos de fachadas. A Figura 2 mostra as faixas de condição de degradação em função do valor do FGD determinadas pela autora.

Figura 2: Faixas de condição de degradação



Fonte: Souza, 2019.

Nota-se que a condição A, considerada como uma degradação leve, apresenta valores de FGD inferiores a 0,003. A condição B, possivelmente uma degradação pontual,

apresenta valores de FGD entre 0,003 e 0,05. Já a condição C, ultrapassa o limite aceitável de degradação estando o FGD entre 0,05 e 0,17. As degradações generalizadas são classificadas como Condição D, apresentando um FGD superior a 0,17. Considera-se como limite da vida útil o FGD de 0,05. A partir da condição C, o revestimento não cumpre mais a função para qual foi projetado; neste momento as ações de manutenção devem ser iniciadas (Souza 2019).

3 METODOLOGIA

A pesquisa caracterizou-se como bibliográfica e de campo, com aplicação de estudo de caso em edificações localizadas na cidade de Patos de Minas (MG). A etapa bibliográfica baseou-se na análise de normas técnicas, artigos científicos, livros e publicações acadêmicas relacionados ao desempenho e à degradação de fachadas em edificações. Quanto ao tratamento dos dados, o estudo apresenta caráter descritivo e exploratório, buscando identificar e analisar as manifestações patológicas presentes nas fachadas, bem como compreender os fatores que influenciam o processo de degradação. A coleta de dados foi realizada por meio de observação sistemática, baseada na inspeção das fachadas das edificações analisadas. Em relação à abordagem metodológica, adotou-se uma perspectiva quali-quantitativa, combinando a descrição das manifestações patológicas com a quantificação das áreas degradadas. A análise dos dados envolveu a organização, tabulação, interpretação e representação das informações coletadas, possibilitando a avaliação do comportamento das fachadas frente às condições ambientais.

3.1 SELEÇÃO DAS EDIFICAÇÕES

A primeira etapa do estudo envolveu a seleção das edificações a serem analisadas, com anuência dos proprietários e/ou administradores das edificações para a realização da pesquisa, a qual se limitou a fins unicamente acadêmicos. As edificações analisadas estão localizadas em diferentes zonas urbanas da cidade de Patos de Minas (MG). O Edifício A situa-se na região central, na Rua Vinte e Quatro de Maio, no bairro Centro. O Edifício B localiza-se na Rua Araguari, no bairro Rosário. O Edifício C encontra-se na Rua Petúncias, no bairro Jardim Centro.

As edificações selecionadas atenderam a dois critérios principais: tipologia construtiva semelhante e altura mínima. Quanto à tipologia, todas apresentavam estrutura de concreto armado e fachadas com revestimento cerâmico. Em relação à altura, foram selecionados edifícios com, no mínimo, três pavimentos, a fim de possibilitar a análise de diferentes níveis de exposição climática, especialmente entre as partes inferiores e superiores das fachadas.

3.2 INSPEÇÃO

O processo de aquisição de dados foi executado *in loco*, por meio de inspeção visual direta e registro fotográfico sistemático. A fase de análise procedeu-se posteriormente, com base no material coletado.

A campanha de campo realizou-se mediante a visita a cada uma das três edificações selecionadas. Foi fotografada a fachada frontal de cada edificação, garantindo-se uma cobertura completa e sem omissões. Foi usado também o site shadowmap para conferir suas orientações e a incidência solar nas fachadas. Para se controlar a variável de incidência solar e sombreamento, estabeleceu-se a realização das inspeções em dias diferentes, porém sempre às 10 horas da manhã, adotando uma dupla abordagem para o registro: Registro Global: captaram-se imagens de campo aberto de toda a extensão de cada fachada, com o objetivo de documentar seu estado geral e contextualizar as patologias; Registro Específico: realizaram-se close-ups e fotos de detalhe de todas as patologias identificadas durante a inspeção, como fissuras, descolamentos, eflorescências e umidades, garantindo foco e iluminação adequados para evidenciar suas características.

3.3 CARACTERIZAÇÃO

As edificações foram caracterizadas em função da idade, número de pavimentos e localização. As fachadas foram caracterizadas em função dos seguintes parâmetros: data da última manutenção; cor do revestimento; divisão e quantidade de zonas existentes; mapeamento e quantificação das patologias pelo método MMD (Bauer *et al.* 2020).

3.4 MAPEAMENTO E QUANTIFICAÇÃO DAS PATOLOGIAS

Os resultados obtidos durante a inspeção, juntamente com os croquis elaborados em campo, foram posteriormente digitalizados e organizados no software AutoCAD, possibilitando a mensuração das áreas degradadas nas fachadas analisadas. Para isso, foi inserida uma malha de subdivisões regulares com dimensões de 0,50 m × 0,50 m, correspondentes a 0,25 m², o que permitiu padronizar o levantamento e comparar diferentes setores da fachada inspecionada. A partir da quantificação das áreas afetadas por cada manifestação patológica, foi realizado o cálculo do Fator Geral de Danos (FGD), indicador utilizado para sintetizar o nível global de degradação das fachadas. Esse índice considera a área afetada, a severidade e a importância relativa das anomalias, permitindo avaliar e comparar o estado de conservação das edificações analisadas.

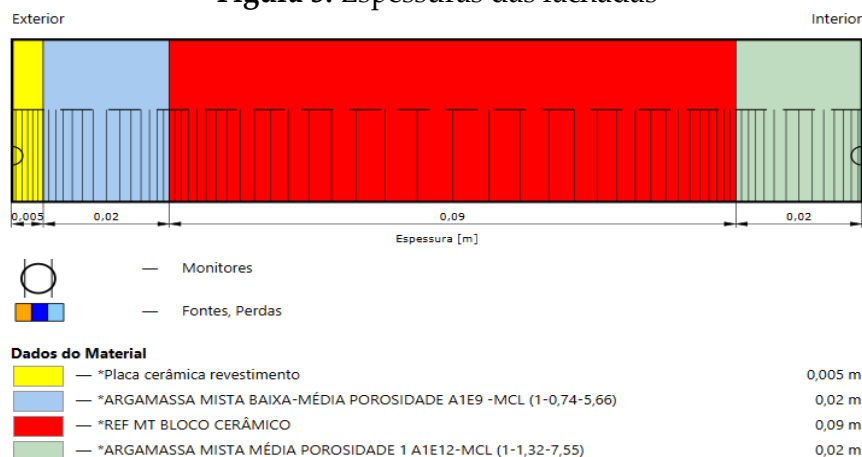
3.5 SIMULAÇÃO HIGROTÉRMICA

A análise do desempenho higrotérmico das fachadas foi realizada por meio de simulação computacional utilizando o software WUFI PRO 7.1. A simulação teve como objetivo analisar a influência dos agentes higrotérmicos (chuva dirigida, radiação solar) no desempenho das fachadas com revestimento cerâmico estudadas.

Os dados climáticos foram obtidos no formato TMY (Ano Meteorológico Típico), disponibilizado pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabUFSC Lawrie e Crawley, 2022), considerando a série histórica disponível para a cidade de Patos de Minas (MG). O período total de simulação foi definido entre 01 de

janeiro de 2024 e 01 de janeiro de 2026, com o primeiro ano utilizado para estabilização numérica do modelo (condições iniciais). Dessa forma, os resultados analisados correspondem ao período de 01 de janeiro de 2025 a 31 de dezembro de 2025, totalizando 8.760 horas para posterior análise. Observa-se, na Figura 3, o modelo de fachada com espessura dos revestimentos considerado na simulação.

Figura 3: Espessuras das fachadas



Fonte: dados da pesquisa, 2026.

3.5.1 Propriedades higratérmicas

Foram adotados valores de propriedades térmicas e higrométricas com base na literatura de referência, Tabela 1:

Tabela 1: Identificação dos edifícios estudados

Propriedades	Argamassa	Bloco cerâmico	Argamassa	Revestimento cerâmico
Densidade da massa aparente (kg/m)	1830	578	1860	1730
Porosidade (cm ³ /cm ³)	0,284	0,486	0,2604	0,29
Calor específico (J/Kg.k)	850	850	850	868
Condutividade térmica (W/m.K)	0,8	0,158	0,8	0,4924
Fator de resistência à difusão do vapor da água (μ)	24	23	24	116
Teor de umidade de referência (kg/m ³)	26	13	17,02	14
Umidade de saturação livre (kg/m ³)	210	193	259	192
Coefficiente de absorção da água (kg/m ²)	0,089	0,09	0,089	0,097

Fonte: Souza, 2019.

3.5.2 Coeficiente de Absorção Solar (Absortância)

O coeficiente de absortância solar (α) da superfície externa foi definido com base na coloração do revestimento cerâmico observado *in loco*. A absortância representa a fração da radiação solar incidente que é absorvida pela superfície, influenciando

diretamente a temperatura superficial da fachada. Os valores adotados seguiram a classificação proposta por Dorneles e Roriz (2008), que relacionam tonalidade superficial com intervalos típicos de absorção solar.

4 RESULTADOS

Nesta etapa do trabalho, foram analisados os resultados obtidos, bem como a distribuição das manifestações patológicas em diferentes regiões das fachadas.

4.1 CARACTERIZAÇÃO

A Tabela 2 apresenta a caracterização inicial das edificações.

Tabela 2: Identificação dos edifícios estudados

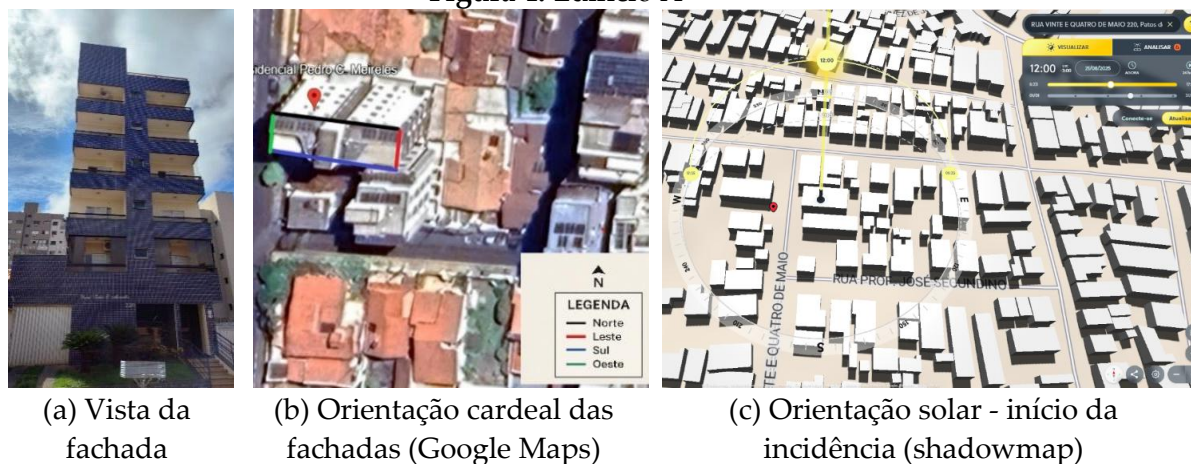
	Edifício A	Edifício B	Edifício C
Idade	14 anos	10 anos	32 anos
Cor da pastilha	Azul escura	Branco e vermelho	Bege
Número de pavimentos	Térreo + 5 pavimentos	Térreo + 4 pavimentos	Térreo + 3 pavimentos
Orientação rolar	Oeste	Norte	Sul
Absortância	72.9	62,0	65.1

Fonte: dados da pesquisa, 2026.

4.1 1 Edifício A

Com base em inspeções *in loco* e documentação fotográfica, o Edifício A (Figura 4 a), ocupado desde 2011, mantém sua fachada original revestida com pastilhas azuis sem intervenções de manutenção significativas. A orientação da fachada principal está a oeste (Figura 4 b), conforme verificado por meio de ferramentas de georreferenciamento do Google Maps. A fachada principal estando a oeste resulta em uma incidência solar direta que se inicia por volta do meio-dia (Figura 4 c) e atinge sua intensidade máxima no final da tarde, entre 15h e 17h, como pode ser verificado com a utilização do site shadowmap.

Figura 4: Edifício A

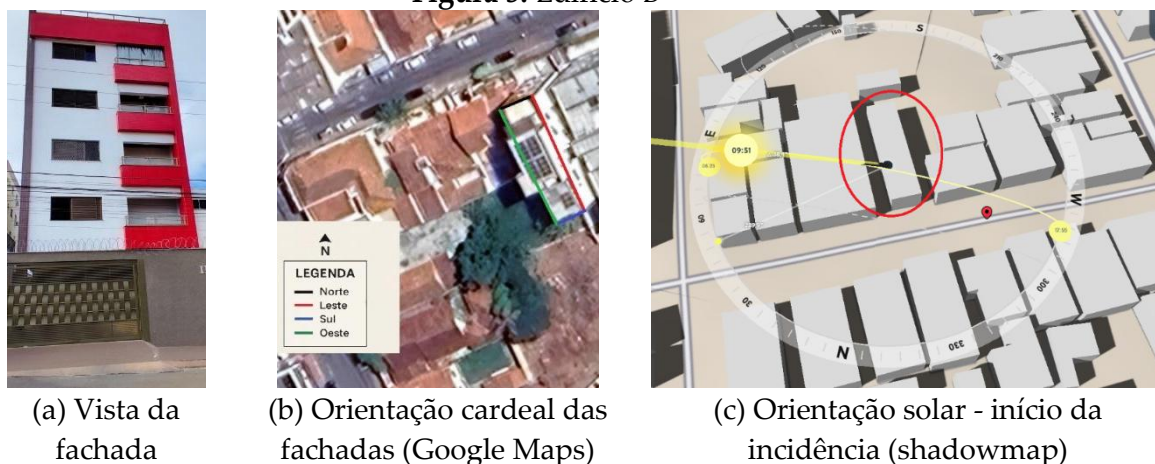


Fonte: dados da pesquisa, 2026.

4.1.2 Edifício B

A edificação mais nova é o Edifício B, sua fachada apresenta revestimento em pastilhas cerâmicas nas cores vermelha e branca (Figura 5 a), sem registros de intervenções de manutenção relevantes até o momento.

Figura 5: Edifício B



Fonte: dados da pesquisa, 2026.

A orientação da fachada principal foi identificada como norte (Figura 5 b) por meio de georreferenciamento no Google Maps. Nessa condição, a superfície recebe radiação solar direta a partir das 9h (Figura 5 c), prolongando-se até o pôr do sol, com maior intensidade no período da tarde, entre 13h e 17h.

4.1.3 Edifício C

O Edifício C está ocupado desde a década de 2000 e preserva sua fachada original revestida por pastilhas cerâmicas na cor bege (Figura 6 a), sem intervenções de manutenção significativas registradas até o momento.

Figura 6: Edifício C



(a) Vista da fachada



(b) Orientação cardeal das fachadas (Google Maps)



(c) Orientação solar - início da incidência (shadowmap)

Fonte: dados da pesquisa, 2026.

A fachada principal foi identificada com orientação sul (Figura 6 b), conforme verificado por meio de ferramentas de georreferenciamento do Google Maps, com menor incidência direta em comparação às orientações leste e oeste, o que contribui para uma exposição mais homogênea e menos intensa ao longo das horas de insolação.

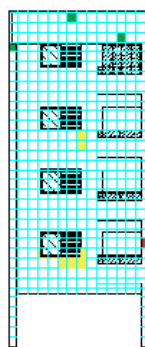
4.2 MAPEAMENTO E QUANTIFICAÇÃO DAS PATOLOGIAS

Na Figura 7, pode-se observar um croqui das edificações com medidas reais elaborado no AutoCAD, já com a malha sobreposta e as áreas degradadas demarcadas.

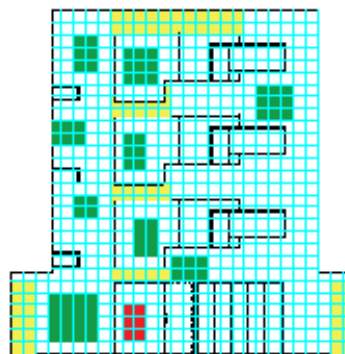
Figura 7: Sobreposição da malha nas fachadas para quantificação dos danos



(a) Fachada A



(b) Fachada B



(c) Fachada C

Fonte: dados da pesquisa, 2026.

A quantificação das manifestações patológicas nas fachadas foi realizada por meio do Método de Mensuração da Degradação (MMD), permitindo identificar a extensão e a distribuição espacial dos danos nas três edificações analisadas. A Tabela 3 mostra a área em metros quadrados de qual e onde cada patologia está acontecendo.

Tabela 3: Área degradada dos edifícios (m²)

Edifício	FGD	Anomalia	PC	AB	SC	CE	TP	TO
A	0,0081	TT	3,25	0,00	4,00	0,75	0,00	2,50
		DC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,25
		FI	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		FR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		EF	3,25	0,00	4,00	0,75	0,00	1,25
B	0,0087	TT	2,25	4,00	0,00	1,50	0,00	2,50
		DC	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
		FI	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		FR	0,00	3,50	0,00	0,00	0,00	1,00
		EF	2,25	0,50	0,00	0,50	0,00	1,50
C	0,0465	TT	13,00	4,25	7,50	7,75	2,50	1,25
		DC	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		FI	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		FR	5,75	0,50	3,25	7,75	1,25	0,00
		EF	5,75	3,75	4,25	0,00	1,25	1,25

Fonte: dados da pesquisa, 2026.

As áreas avaliadas corresponderam a 98,50 m² no Edifício A, 83,50 m² no Edifício B e 97,25 m² no Edifício C, considerando zonas da fachada como parede contínua, aberturas, sacadas, cantos/extremidades e topo. De modo geral, observou-se predominância de eflorescência, indicando forte influência da umidade no processo de degradação das fachadas cerâmicas. No Edifício A, com orientação oeste, a eflorescência atingiu 9,25 m² (9,4%), além de 1,25 m² (1,3%) de descolamento cerâmico, sem ocorrência de falhas de rejunte ou fissuração, indicando desempenho ainda satisfatório do revestimento. A orientação oeste e a tonalidade escura do revestimento podem favorecer ciclos térmicos mais intensos no período da tarde, contribuindo para evaporação da umidade e cristalização de sais.

No Edifício B, a eflorescência totalizou 4,75 m² (5,7%), enquanto as falhas de rejunte atingiram 4,50 m² (5,4%), além de 1,0 m² (1,2%) de descolamento cerâmico, concentrado principalmente em paredes contínuas, aberturas e topo da fachada. Apesar de ser a edificação mais recente, sua orientação norte favorece maior exposição à radiação solar ao longo do dia, intensificando as variações térmicas e o desgaste das juntas. Já no Edifício C, com área analisada de 97,25 m², verificou-se maior extensão de degradação, com 18,50 m² (19,0%) de falhas de rejunte, 16,25 m² (16,7%) de eflorescência e 1,50 m² (1,5%) de descolamento cerâmico, distribuídos em praticamente todas as zonas da fachada, principalmente em paredes contínuas e cantos/extremidades, indicando estágio mais avançado de degradação possivelmente associado à maior idade da edificação e à exposição prolongada às condições climáticas. Complementarmente, os valores do Fator Geral de Danos (FGD) foram 0,0081 para o Edifício A, 0,0087 para o Edifício B e 0,0465 para o Edifício C, indicando maior nível de degradação no Edifício C. Conforme a classificação proposta por Souza (2019), os três edifícios enquadram-se na condição B (degradação pontual), embora o Edifício C esteja próximo do limite da condição C, indicando maior necessidade de manutenção.

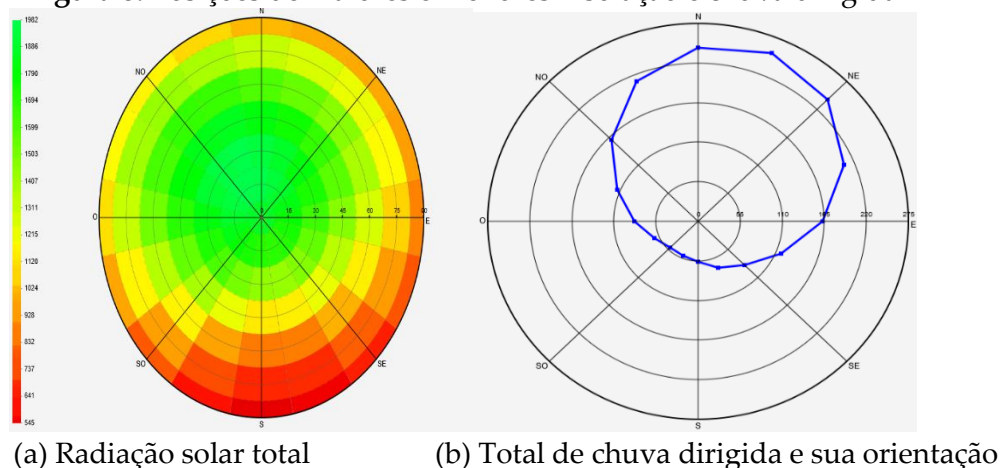
4.3 ANÁLISE CLIMÁTICA E COMPORTAMENTO HIGROTÉRMICO DAS FACHADAS

As simulações realizadas no software WUFI PRO permitiram avaliar o comportamento transiente de calor e umidade nas fachadas ao longo do ano climatológico.

4.3.1 Orientação solar e os agentes climáticos

A análise da distribuição da radiação solar por orientação demonstrou maior incidência nas fachadas voltadas para norte e oeste, especialmente no período da tarde, quando a intensidade solar atinge valores mais elevados. Esse comportamento é particularmente relevante para o Edifício A, cuja fachada principal está orientada para oeste, recebendo radiação direta mais intensa no período vespertino, o que pode ser observado na figura 8.

Figura 8: Posições de maiores e menores insolação e chuva dirigida



Fonte: dados da pesquisa, 2026.

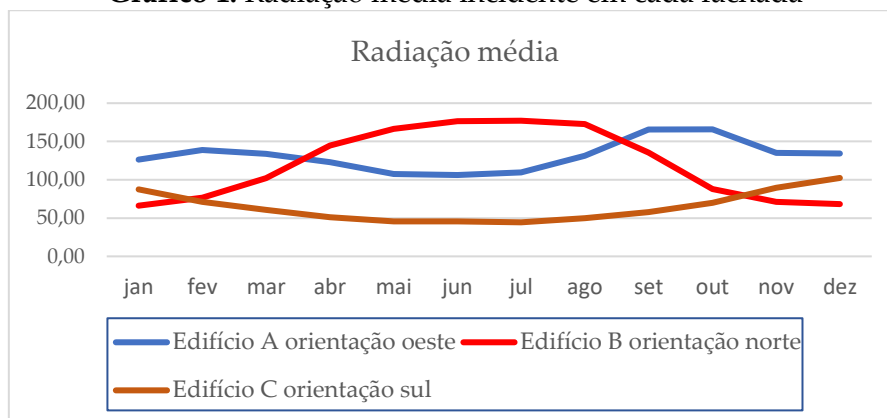
Segundo Souza e Ripper (1998), fachadas submetidas à insolação prolongada apresentam maior suscetibilidade a tensões térmicas acumuladas, sobretudo quando associadas a revestimentos com elevada capacidade de absorção de energia solar. A orientação norte, observada no Edifício B, também apresenta elevada carga térmica ao longo do dia, porém de forma mais distribuída, o que influencia a dinâmica de aquecimento e resfriamento da superfície.

4.3.2 Radiação Solar

A análise dos valores de radiação solar média mensal evidencia comportamento sazonal bem definido, com valores mais elevados concentrados no período seco, especialmente entre os meses de agosto e setembro. Esse comportamento é característico de regiões de clima tropical com estação seca pronunciada, nas quais a redução da

nebulosidade favorece maior incidência de radiação direta sobre as superfícies externas sendo notado no Gráfico 1.

Gráfico 1: Radiação média incidente em cada fachada



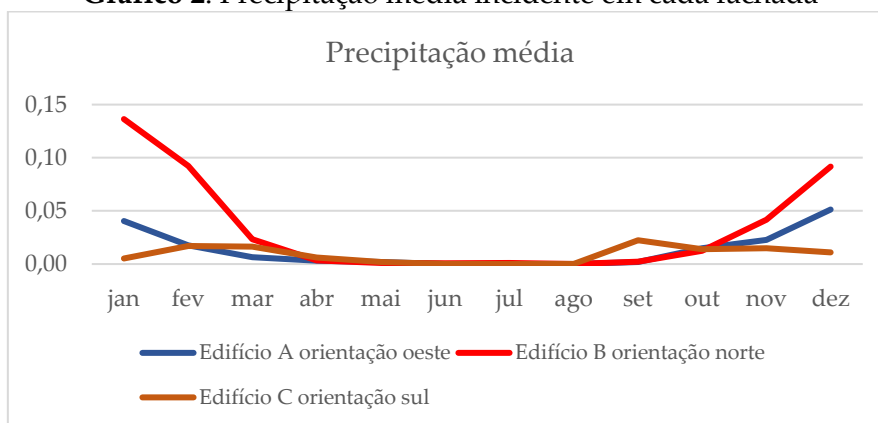
Fonte: dados da pesquisa, 2026.

Observa-se que o aumento da radiação solar está diretamente associado ao crescimento da diferença entre a temperatura do ar e a temperatura superficial das fachadas, evidenciando a influência da energia solar no aquecimento das superfícies externas. Conforme Oke (1987), a radiação solar constitui o principal mecanismo de ganho térmico em superfícies expostas. Além disso, fachadas orientadas para norte e oeste tendem a receber maior carga térmica ao longo do dia, especialmente no período da tarde. Esse comportamento, observado principalmente nos edifícios analisados, favorece ciclos repetitivos de aquecimento e resfriamento que, segundo Souza e Ripper (1998), podem gerar tensões no revestimento cerâmico e contribuir para processos de degradação ao longo do tempo.

4.3.3 Chuva dirigida

Os valores de precipitação média mensal demonstram regime climático com estação chuvosa concentrada nos meses de janeiro a março, seguida por período de redução significativa das chuvas entre maio e setembro. Esse padrão sazonal caracteriza a alternância entre períodos de molhagem intensa e períodos de secagem predominantes. Esse padrão pode ser observado no Gráfico 2.

Gráfico 2: Precipitação média incidente em cada fachada



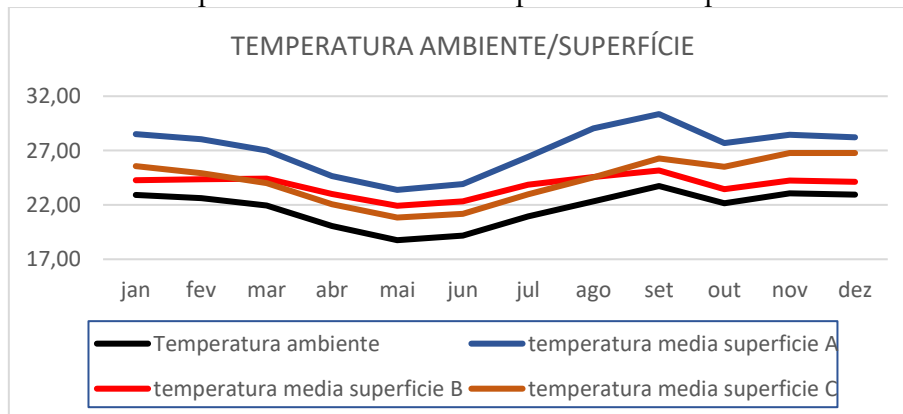
Fonte: dados da pesquisa, 2026.

O gráfico de precipitação média indica que os maiores valores ocorrem nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, com destaque para o Edifício B (orientação norte), que apresenta os maiores índices nesse período. O Edifício A (orientação oeste) também apresenta valores elevados no início e no final do ano, enquanto o Edifício C (orientação sul) mantém níveis de precipitação relativamente menores ao longo dos meses. Entre maio e agosto, observa-se uma redução significativa da precipitação para os três edifícios, caracterizando um período mais seco. Essa variação ao longo do ano evidencia a alternância entre períodos de maior umidade e períodos de secagem das fachadas, o que pode influenciar diretamente o comportamento higrotérmico dos revestimentos e contribuir para o desenvolvimento de manifestações patológicas associadas à presença de umidade.

4.3.4 Temperaturas do ar e da superfície

A análise dos resultados de temperatura média mensal do ar e da superfície evidenciou comportamento sazonal bem definido ao longo do ano climatológico analisado. O Gráfico 3 mostra essa comparação.

Gráfico 3: Temperatura ambiente e temperatura da superfície cerâmica



Fonte: dados da pesquisa, 2026.

Observa-se que, nos três edifícios analisados, a temperatura superficial manteve-se superior à temperatura do ar ao longo de todo o ano, com maior diferença térmica nos meses de agosto e setembro. Esse comportamento evidencia a influência direta da radiação solar incidente sobre o revestimento cerâmico, promovendo o aquecimento da superfície das fachadas.

A magnitude dessa diferença térmica está relacionada não apenas à intensidade da radiação solar, mas também às características do revestimento, especialmente à absorvância solar. Segundo Dorneles e Roriz (2008), superfícies de coloração mais escura apresentam maior capacidade de absorver radiação e, conseqüentemente, tendem a atingir temperaturas superficiais mais elevadas sob as mesmas condições climáticas.

Esse comportamento foi observado principalmente no Edifício A, revestido com pastilhas de tonalidade azul escura e orientado para oeste, que apresenta maior potencial de absorção de energia solar no período da tarde. De acordo com Oke (1987) e Bauer (2005), temperaturas superficiais mais elevadas aumentam os gradientes térmicos no sistema construtivo, favorecendo movimentações diferenciais entre os materiais e contribuindo para processos de fissuração e perda de aderência ao longo do tempo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo analisou o impacto dos agentes higrotérmicos na degradação de fachadas com revestimento cerâmico no município de Patos de Minas (MG), utilizando como instrumentos principais o Método de Mensuração da Degradação (MMD), o cálculo do Fator Geral de Danos (FGD) e simulações computacionais realizadas no software WUFI PRO 7.1. A integração entre dados de campo e modelagem higrotérmica permitiu compreender os mecanismos responsáveis pela evolução das manifestações patológicas observadas nas três edificações analisadas.

Os resultados obtidos por meio do MMD e do FGD demonstraram que a extensão das áreas degradadas tende a aumentar com o tempo de exposição, sendo o Edifício C aquele com maior comprometimento geral. A análise térmica evidenciou que o Edifício A apresentou maiores temperaturas superficiais, associadas à orientação oeste e à elevada absorvância do revestimento escuro.

O Edifício B apresentou comportamento intermediário, indicando que o nível de degradação não depende exclusivamente da idade da edificação, mas também das condições de exposição. Mesmo sendo a construção mais recente entre as analisadas, já apresenta manifestações como falhas de rejunte e eflorescência, associadas à exposição solar na orientação norte e à alternância entre períodos de molhagem e secagem ao longo do ano.

A análise climática mostrou que o regime sazonal de Patos de Minas, caracterizado por período chuvoso no início do ano e fase mais seca com elevada radiação entre agosto e setembro, favorece a intensificação dos ciclos higrotérmicos. As simulações indicaram maiores amplitudes térmicas nas fachadas norte e oeste e maior permanência de umidade nas fachadas orientadas para sul, evidenciando que idade, orientação solar, absorvância do revestimento e condições climáticas atuam de forma conjunta no processo de degradação. Dessa forma, concluiu-se que o desempenho das fachadas cerâmicas depende da interação entre fatores construtivos e ambientais, sendo

fundamental considerar essas variáveis no projeto e na manutenção preventiva para ampliar a vida útil das edificações.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, D. T. **Modelação da degradação de fachadas a partir de parâmetros obtidos da simulação higratérmica para os edifícios de Brasília**. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Universidade de Brasília, Brasília, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5674**: Manutenção de edificações – Requisitos para o sistema de gestão de manutenção. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13755**: Revestimento de paredes externas e fachadas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante – Projeto, execução, inspeção e aceitação. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

BAUER, E. **Patologia das construções**: causas, manifestações e terapias. São Paulo: PINI, 2005.

BAUER, E. *et al.* **Degradação de fachadas com revestimento cerâmico**: métodos de avaliação e modelagem. Brasília: Universidade de Brasília, 2020.

BAUER, E.; CASTRO, E. K.; SILVA, M. N. B. Estimativa da degradação de fachadas com revestimento cerâmico: estudo de caso de edifícios de Brasília. **Cerâmica**, São Paulo, 2015.

BAUER, E.; SILVA, M. D. N. **Degradação de fachadas com revestimento cerâmico de edifícios de Brasília – DF**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES (CBPAT), 2016.

BUCHER, H. R.; NAKAKURA, E. H. **Falhas em revestimentos cerâmicos de fachadas**. São Paulo: PINI, 1997.

CLEMENTINO, J. M. de S. **Avaliação da degradação de fachadas**: estudo de caso em edifícios de Belém/PA. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pará, 2018.

DORNELES, K. A.; RORIZ, M. **Influência da absorvância solar de superfícies no desempenho térmico das edificações**. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2008.

FIORITO, A. J. S. I. **Manual de argamassas e revestimentos**: estudos e procedimentos de execução. 2. ed. São Paulo: PINI, 2009.

HELENE, P. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. São Paulo: PINI, 2003.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 15686-1**: Buildings and constructed assets – Service life planning – Part 1: General principles and framework. Geneva, 2011.

LAWRIE, L. K.; CRAWLEY, D. B. **Development of Global Typical Meteorological Years (TMYx)**. 2022. Disponível em: <https://climate.onebuilding.org>.

LICHTENSTEIN, N. **Patologia das construções**. São Paulo: PINI, 1985.

LIMA, J. A.; SABBATINI, F. H. **Ação da chuva dirigida e sua influência no desempenho de fachadas**. São Paulo: EPUSP, 2001.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

OKE, T. R. **Boundary layer climates**. 2. ed. London: Routledge, 1987.

PINHEIRO, F. R. **Análise das patologias de fachadas**: proposta de um método de avaliação. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, 2016.

SABBATINI, F. H. **Tecnologia de execução de revestimentos cerâmicos**. São Paulo: EPUSP, 2010.

SOUZA, J. S. **Impacto dos fatores de degradação sobre a vida útil de fachadas de edifícios**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade de Brasília, 2019.

SOUZA, V. C.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: PINI, 1998.

SABBATINI, F. H. **Tecnologia de execução de revestimentos cerâmicos**. São Paulo: EPUSP, 2010.

SILVA, J. M.; MEDEIROS, M. H. F. **Patologia e reabilitação de revestimentos cerâmicos de fachada**. São Paulo: PINI, 2015.

Concreto de alto desempenho (CAD) com o uso de polímero superabsorvente

High-performance concrete (HPC) using superabsorbent polymer

THALLES SOARES DE SOUSA
Discente de Engenharia Civil (UNIPAM)
thallesss@unipam.edu.br

SHEILLA PEREIRA VIEIRA
Professora orientadora
sheilapv@unipam.edu.br

Resumo: O presente trabalho investigou os efeitos da adição de polímero superabsorvente (PSA) como agente de cura interna em concretos de alto desempenho (CAD). Foram produzidos três concretos com teores de 0%, 0,2% e 0,3% de PSA, utilizando agregados de quartzo e traço base de Silva e Kardec (2017). Os concretos foram avaliados nos estados fresco e endurecido por meio de ensaios de trabalhabilidade, resistência à compressão e resistência à tração na flexão, realizados aos 7 e 28 dias. Os resultados mostraram que a incorporação do PSA reduziu a fluidez da mistura, mas proporcionou melhor hidratação interna e um desempenho mecânico de aproximadamente 2,5% ao longo do tempo. O teor de 0,2% apresentou o melhor equilíbrio entre trabalhabilidade e resistência, indicando maior eficiência na cura interna. Concluiu-se que o uso controlado de PSA contribui para minimizar a retração autógena e melhorar a durabilidade do CAD, apresentando-se como alternativa promissora para concretos de elevada performance.

Palavras-chave: CAD; polímero superabsorvente; retração; resistência.

Abstract: This study investigated the effects of adding superabsorbent polymer (SAP) as an internal curing agent in high-performance concrete (HPC). Three concrete mixtures were produced with SAP contents of 0%, 0.2%, and 0.3%, using quartz aggregates and the reference mix design proposed by Silva and Kardec (2017). The concretes were evaluated in the fresh and hardened states through workability, compressive strength, and flexural tensile strength tests, performed at 7 and 28 days. The results showed that the incorporation of SAP reduced the fluidity of the mixture, but provided better internal hydration and an improvement of approximately 2.5% in mechanical performance over time. The 0.2% content showed the best balance between workability and strength, indicating greater efficiency in internal curing. It was concluded that the controlled use of SAP contributes to minimizing autogenous shrinkage and improving the durability of HPC, presenting itself as a promising alternative for high-performance concrete.

Keywords: HPC; superabsorbent polymer; shrinkage; strength.

1 INTRODUÇÃO

O Concreto de Alto Desempenho (CAD) tem ganhado destaque na engenharia civil por apresentar elevada resistência, durabilidade e baixa permeabilidade, possibilitando estruturas mais esbeltas e duráveis. Segundo Neville e Brooks (2013), o CAD é altamente denso e possui poros reduzidos, o que dificulta a penetração de água durante a cura úmida, resultando em problemas como a retração autógena. Para minimizar esses efeitos, pesquisas vêm explorando a incorporação de novos materiais ao CAD.

Entre as alternativas estudadas, os polímeros superabsorventes (PSAs) se destacam pela capacidade de absorver e liberar água gradualmente, promovendo cura interna eficiente e reduzindo a retração autógena. Além disso, a utilização de agregados como areia e pó de quartzo contribui para o desempenho do CAD.

A pesquisa justifica-se pela busca de soluções que aprimorem as propriedades do CAD e ampliem sua aplicação na engenharia civil. O estudo investiga o uso de PSAs como estratégia complementar para melhorar o comportamento mecânico e a durabilidade do material.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO (CAD)

Entre os diversos tipos de concretos, têm-se o concreto de alto desempenho (CAD), inicialmente denominado concreto de alta resistência. Ele pode ser entendido como um concreto de alta durabilidade, baixa permeabilidade e alta resistência, acima de 80 MPa, possibilitando a redução da seção de pilares ou a redução da quantidade de aço para uma mesma seção transversal. Em edifícios altos, existe uma vantagem econômica devido ao aumento de área do pavimento para comercialização; em pontes, o uso da alta resistência pode reduzir o número de vigas (Neville; Brooks, 2013).

O termo desempenho caracteriza o fato de que um produto deve apresentar certas propriedades a fim de cumprir sua função quando sujeito a determinadas influências ou ações durante sua vida útil. Essas influências ou ações são denominadas condições de exposição a que o empreendimento, o edifício, seus elementos construtivos e todos os materiais de construção serão submetidos, durante sua vida útil (Isaia *et al.*, 2010).

2.1.1 Materiais utilizados em sua composição

2.1.1.1 Cimento Portland

Conforme a ABNT NBR 16697:2018, o cimento Portland é um ligante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland, ao qual se adiciona, durante o processo de fabricação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio e adições minerais nos teores definidos para cada tipo de cimento.

2.1.1.2 Aditivos

A ABNT NBR 11768-1:2019 define aditivos para concreto como um produto adicionado e misturado em pequenas quantidades, geralmente não superior a 5% da massa total de ligante (cimento Portland e adições minerais) contido no concreto, com o objetivo de modificar algumas de suas propriedades no estado fresco e/ou endurecido.

Para um concreto de alto desempenho (CAD), é usual empregar-se o aditivo superplastificante, porque, segundo Petrucci (1975), ele tem por finalidade melhorar a plasticidade dos concretos, ou então, a redução da quantidade de água, diminuindo a retração, aumentando a resistência e economizando aglomerante.

2.1.1.3 Adição

De acordo com Isaia *et al.* (2011), as adições minerais, de acordo com sua ação físico-química, podem ser classificadas em três grandes grupos: material pozolânico, material cimentante e fíler.

A ABNT NBR 12653:2014 define materiais pozolânicos como materiais silicosos ou silicoaluminosos, que, sozinhos, possuem pouca ou nenhuma propriedade ligante, mas que, quando finamente divididos e na presença da água, reagem com o hidróxido de cálcio à temperatura ambiente, formando compostos com propriedades ligantes.

2.1.1.4 Agregados

Entende-se por agregado o material granular, sem forma e volume definidos, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para uso em obras de engenharia. São agregadas as rochas britadas, os fragmentos rolados no leito dos cursos d'água e os materiais encontrados em jazidas, provenientes de alterações de rocha (Mehta; Monteiro, 2008).

Os agregados desempenham um importante papel nos concretos, do ponto de vista econômico, do ponto de vista técnico. Exercem influência benéfica sobre alguns característicos importantes, como retração, aumento da resistência ao desgaste etc., sem prejudicar a resistência aos esforços mecânicos, pois os agregados de boa qualidade têm resistência mecânica superior à da pasta de aglomerante (Petrucci, 1975).

2.1.1.5 Água de amassamento e de cura

A água utilizada na produção de concretos deve estar de acordo a ABNT NBR 15900-1:2009, sendo que a água potável é considerada adequada, e demais tipos de águas devem ser ensaiadas para verificar se atendem aos requisitos previstos nesta norma.

A qualidade da água é um fator importante, pois suas impurezas podem interferir na pega do cimento, afetar negativamente a resistência do concreto ou causar manchamento de sua superfície, podendo levar à corrosão das armaduras. Em geral, a água satisfatória para amassamento também é adequada para a cura (Neville; Brooks, 2013).

2.2 POLÍMERO SUPERABSORVENTE UTILIZADOS EM MATERIAIS CIMENTÍCIOS

Os polímeros superabsorventes (PSAs) são um grupo de materiais poliméricos sintéticos que têm a capacidade de absorver uma quantidade significativa de líquido a partir do ambiente e de reter este líquido dentro da sua estrutura sem se dissolver. Os PSAs podem apresentar uma absorção de água de até 5000 vezes o seu próprio peso (Jensen; Hansen, 2001).

A eficiência dos PSAs na mitigação da retração autógena nos materiais cimentícios de alta resistência envolve o mecanismo de liberação da água armazenada no polímero que leva a um aumento da umidade relativa interna e promove a hidratação. Para um melhor entendimento do conceito da utilização dos PSAs como agentes de cura interna como estratégia mitigadora da retração autógena em materiais cimentícios, é fundamental o conhecimento da cinética da migração de água dentro e fora das partículas de polímero (Manzano, 2016).

2.2.1 Cura

A cura de um concreto objetiva fundamentalmente garantir a continuidade das reações de hidratação do cimento e minimizar os efeitos da retração, assegurando o crescimento da resistência ao longo do tempo e minimizando os efeitos da retração que se traduzem sempre pelo aparecimento de fissuras (Isaia *et al.*, 2011).

2.2.2 Mecanismos de atuação do PSA em materiais cimentícios

A eficiência dos PSAs na mitigação da retração autógena nos materiais cimentícios de alta resistência envolve o mecanismo de liberação da água armazenada no polímero que leva a um aumento da umidade relativa interna e promove a hidratação. Para um melhor entendimento do conceito da utilização dos PSAs como agentes de cura interna como estratégia mitigadora da retração autógena em materiais cimentícios, é fundamental o conhecimento da cinética da migração de água dentro e fora das partículas de polímero (Manzano, 2016).

2.2.2.1 Absorção e dessorção

O volume de poros no concreto é medido pela absorção e é diferente da facilidade com a qual os fluidos podem penetrar no concreto. Essas duas grandezas não estão necessariamente relacionadas. A absorção normalmente é medida pela secagem de um corpo de prova até atingir uma massa constante, seguida por sua imersão em água e pela verificação do aumento de massa como uma porcentagem da massa seca (Neville, 2016)

Na dessorção, ocorre o fluxo inverso, ou seja, da parte interna do PSA para o meio cimentício, que está menos saturado em comparação ao interior do polímero devido ao consumo de água pelas reações de hidratação. Dessa forma, o polímero superabsorvente libera a água armazenada internamente para a massa, o que provoca a redução do seu aumento e a diminuição do seu volume.

2.3 DOSAGEM

No concreto de alto desempenho, o propósito do método de dosagem é indicar qual a melhor combinação entre os constituintes do CAD e a melhor proporção entre eles, visando obter um bom equilíbrio entre os materiais e as propriedades de cada um (Aitcin, 2000).

2.4 PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO

São propriedades do concreto fresco: a consistência, a textura, a trabalhabilidade, a integridade de massa, o poder de retenção da água e a massa específica (Petrucchi, 1975).

Devido ao fato de que traços com relação água/aglomerante muito baixas tendem a ser muito coesivos; em alguns casos, muito viscosos, o CAD tende a se espalhar além da base padronizada na qual o ensaio de abatimento é realizado, exigindo adaptações nos ensaios convencionais (Aitcin, 2000).

2.5 RESISTÊNCIA DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

Os ensaios de resistência à compressão do CAD são realizados conforme a ABNT NBR 5739:2018. Segundo Aitcin (2000), é possível obter alta resistência à compressão inicial no CAD atingindo valores entre 20 e 30 MPa, em 24 horas, em CAD com relação água/aglomerante entre 0,30 e 0,35 e temperatura ambiente em torno de 20 °C. Porém a temperatura do CAD aumenta significativamente durante as primeiras 24 a 48 horas após o lançamento, atingindo em torno de 65 a 70 °C. Assim, aumenta a possibilidade de ocorrer a chamada regressão da resistência dos corpos de prova de CAD devido à autosssecagem.

Para o ensaio de resistência à tração por compressão diametral, deve-se utilizar a ABNT NBR 7222:2011 com os mesmos procedimentos empregados no concreto convencional. Porém no CAD é mais frequente a superfície de ruptura se desenvolver por esmagamento do agregado graúdo do que na interface agregado graúdo/argamassa, já que normalmente é o elo mais fraco no concreto convencional (Aitcin, 2000).

3 METODOLOGIA

A pesquisa consistiu em analisar os efeitos da adição de polímeros superabsorventes no processo de cura interna do concreto de alto desempenho. Dividiu-se em: escolha e caracterização dos materiais utilizados, definição do traço padrão e utilização do PSA, preparo e moldagem dos corpos-de-prova e ensaios do CAD nos estados fresco e endurecido.

A coleta de dados inicialmente foi realizada por pesquisa bibliográfica e na sequência através da análise experimental realizada em laboratório. Foi utilizada uma abordagem quantitativa para análise dos dados de ensaios e uma abordagem qualitativa para observações e discussões dos resultados encontrados.

3.1 ESCOLHA E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS

Na pesquisa foram utilizados materiais de diferentes origens, e alguns restritos à pesquisa foram escolhidos por critérios de desempenho, conforme as propriedades esperadas do Concreto de Alto Desempenho (CAD).

3.1.1 Cimento Portland

O cimento Portland escolhido foi o CPB-40, da marca Axton, adquirido por compra online devido ao difícil acesso e indisponibilidade no mercado da construção civil de Patos de Minas (MG). Esse cimento é constituído de clínquer Portland branco e cujas adições (sulfato de cálcio ou outras) não geram alterações em sua coloração. As especificações técnicas desse cimento estão contidas na ABNT NBR 16697:2018 assim como os limites para composição dele e as demais especificações químicas, físicas e mecânicas.

A massa específica do cimento foi analisada de acordo com a ABNT NBR 16605:2017 por meio do frasco volumétrico de Le Chatelier. O método consiste em determinar a massa específica através de uma massa já preestabelecida do cimento e analisar o volume deslocado no frasco de um líquido quando é introduzida a amostra.

3.1.2 Agregados

Os agregados utilizados na produção do CAD são areias de quartzo e pó de quartzo e suas caracterizações foram realizadas com base em Silva e Kardec (2017).

3.1.3 Aditivo Superplastificante

Nesta pesquisa, foi utilizado o aditivo superplastificante ADVA® 458 UHPC, fornecido pela empresa Chryso Saint-Gobain. Trata-se de um redutor de água tipo 2, com propriedades de acelerador de pega (RA2-A) e acelerador de resistência (AR), em conformidade com as especificações estabelecidas pela ABNT NBR 11768-1:2019.

3.1.4 Polímero superabsorvente

O polímero superabsorvente que foi utilizado na pesquisa foi desenvolvido na Universidade Técnica da Dinamarca (DTU) pelo professor e pesquisador Ole Meschede Jensen. Trata-se de um polímero do tipo ácido acrílico/acrilamida, com ligações cruzadas covalentes, produzido pela técnica de polimerização por suspensão inversa (Jensen e Hansen, 2001). O material foi obtido por doação da professora Doutora Eugênia Fonseca da Silva, da Universidade de Brasília (UnB), a qual desenvolve diversas pesquisas sobre o tema, como os estudos de Santos (2016) e Manzano (2016), utilizados como referência nesta pesquisa.

3.1.5 Adição

A sílica ativa da marca DOW foi utilizada como adição mineral ao concreto com o objetivo de aprimorar suas propriedades mecânicas e de durabilidade. Trata-se de um subproduto da indústria metalúrgica, rico em dióxido de silício (SiO₂) na forma amorfa e com partículas extremamente finas, o que proporciona alta área superficial específica e intensa atividade pozolânica.

3.1.6 Água

A água adicionada à mistura foi proveniente da companhia de abastecimento de água da cidade de Patos de Minas (MG) e segue as especificações da ABNT NBR 15900-1:2009.

3.2 MÉTODO DE DOSAGEM

Para a dosagem do concreto de alto desempenho, adotou-se o traço desenvolvido por Silva e Kardec (2017), mantendo as proporções de cimento, agregados e aditivos indicadas no estudo, garantindo as propriedades esperadas do CAD. A composição detalhada dos traços utilizados é apresentada na Tabela 1.

Após a definição do traço padrão para a produção do Concreto de Alto Desempenho (CAD), foi realizada a adição do polímero superabsorvente (PSA) nos teores de 0,2% e 0,3% em relação à massa de cimento Portland, conforme proposto por Manzano (2016), e a análise do processo de evolução da resistência mecânica após os tempos estabelecidos para cura.

Tabela 1: Composição do Concreto

MATERIAIS	TRAÇO 1 - REF		TRAÇO 2 - 0,2% PSA		TRAÇO 3 - 0,3% PSA	
	QUANTIDADE (kg/m ³)	TRAÇO	QUANTIDADE (kg/m ³)	TRAÇO	QUANTIDADE (kg/m ³)	TRAÇO
Cimento Branco Estrutural Axton	617,30	1,00	617,30	1,00	617,30	1,00
Areia de Quartzo 1	408,00	0,66	408,00	0,66	408,00	0,66
Areia de Quartzo 2	679,00	1,10	679,00	1,10	679,00	1,10
Sílica ativa	154,30	0,25	154,30	0,25	154,30	0,25
Pó de Quartzo	271,60	0,44	271,60	0,44	271,60	0,44
Aditivo ADVA 458 UHPC	30,90	0,05	30,90	0,05	30,90	0,05
Água	138,90	0,23	138,90	0,23	138,9	0,225
PSA	-	-	1,2346	0,002	1,8519	0,003
Água Hidra.PSA	-	-	18,519	0,03	27,7785	0,045

1. Adotou-se o valor de 15g de água para 1g de PSA para sua absorção (Santos, 2016).

Fonte: dados da pesquisa, 2025.

3.2.1 Mistura

Devido à baixa trabalhabilidade do traço proposto por Silva e Kardec (2017), adotou-se o processo de mistura desenvolvido pelos autores, o qual foi adaptado a partir do modelo de Santos (2016), conforme Quadro 2.

Quadro 1: Roteiro de mistura do CAD

Tempo	Ação	Duração
-25:00 - 00:00	Pesar os materiais separadamente, incluindo PSA e água do PSA	25 min
00:00 - 00:30	Misturar o cimento e o pó de quartzo dentro de um vasilhame até a completa homogeneidade do material	30 seg
00:30 - 00:45	Misturar o aditivo na água ($\approx 60\%$) e em seguida despejar na bacia do misturador	15 seg
00:45 - 01:00	Adicionar o cimento e o pó de quartzo na bacia	15 seg
01:00 - 02:00	Misturar tudo em velocidade 1	1 min
02:00 - 03:30	Misturar tudo em velocidade 2, desligando-se em seguida	1,5 min
03:30 - 04:00	Raspar com auxílio de uma espátula todo o material aderido na borda da bacia e na pá do misturador	30 seg
04:00 - 04:30	Misturar na velocidade 2	30 seg
04:30 - 05:30	Misturar na velocidade 3	1 min
05:30 - 06:00	Misturar na velocidade 1	30 seg
06:00 - 07:00	Adicionar as areias, sílica ativa e PSA, vagarosamente, com o misturador ligado em velocidade 1	1 min
07:00 - 16:00	Ajustar a velocidade 3 e adicionar o restante da água + água do PSA vagarosamente	9 min

Fonte: dados da pesquisa, 2025.

Assim, além das rotinas específicas definidas no processo de mistura, foi utilizada uma argamassadeira planetária para a homogeneização e preparo das amostras. O equipamento possui três diferentes velocidades de mistura e é composto por cuba com capacidade de 20 litros e batedor do tipo raquete, ambos confeccionados em aço inoxidável, conforme os requisitos da norma ABNT NBR 13320:2012.

3.2.2 Moldagem e cura dos corpos de prova

Após o preparo do concreto no Laboratório de Análises Tecnológicas de Materiais de Construção do Centro Universitário de Patos de Minas, foi realizada a moldagem dos corpos de prova prismáticos com dimensões 4 cm x 4 cm x 16 cm, os quais foram adensados em duas camadas com 30 golpes em cada, com auxílio do soquete padrão.

Após a moldagem, foram colocados sobre os corpos de prova uma placa de vidro para manter nivelada a superfície e impedir a perda de água. Após, foi desmoldado com 24 horas e iniciado o procedimento de cura submersa seguindo as determinações da ABNT NBR 5738:2015.

3.3 ENSAIOS DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO

No estado fresco, foi realizado o ensaio de determinação do índice de consistência por meio da mesa de adensamento, conforme a ABNT NBR 13276:2016, que é o método para determinar a fluidez da mistura através da medida de seu assentamento. O valor obtido serviu como parâmetro para os diferentes traços analisados.

3.4 ENSAIOS DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

Para comparar as propriedades mecânicas do concreto, foram realizados ensaios no Laboratório de Resistência dos Materiais, do Centro Universitário de Patos de Minas, utilizando a Prensa Universal da marca EMIC. O corpo de prova prismático foi submetido a uma aplicação de carga até o mesmo ir à ruptura.

Os ensaios de compressão e tração na flexão seguiram a ABNT NBR 13279:2005 e foram realizados após 7 e 28 dias de cura, sendo utilizados para cada idade 6 corpos de prova para resistência à compressão e 3 corpos de prova para resistência à tração na flexão.

Para a realização dos ensaios propostos, foi elaborado um planejamento com a quantidade de corpos de prova necessários, distribuídos conforme o tipo de ensaio e os respectivos prazos de rompimento, Quadro 3. Esse planejamento teve como objetivo permitir uma avaliação precisa do desempenho do concreto ao longo do tempo.

Quadro 2: Quantidade de corpos de prova

CP	Resistência			
	Compressão		Tração na Flexão	
	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias
Concreto Padrão (sem PSA)	6 CP	6 CP	3 CP	3 CP
Concreto 0,2% PSA	6 CP	6 CP	3 CP	3 CP
Concreto 0,3% PSA	6 CP	6 CP	3 CP	3 CP

Fonte: dados da pesquisa, 2025.

Posteriormente, os resultados obtidos foram analisados e discutidos com foco na influência da adição do polímero superabsorvente no processo de cura interna do concreto de alto desempenho.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CIMENTO PORTLAND

O cimento Portland utilizado nesta pesquisa foi adquirido com recursos próprios dos pesquisadores, sendo empregado como principal aglomerante na produção dos corpos de prova. Suas características químicas, físicas e mecânicas, bem como os limites estabelecidos em norma, estão apresentadas no Quadro 5. Para complementar a

caracterização, realizou-se o ensaio de massa específica pelo método do frasco volumétrico de Le Chatelier, cujos resultados estão apresentados no Quadro 4.

Quadro 4: Resultado Massa Específica do Cimento

	ENSAIO 1	ENSAIO 2
Volume inicial frasco (cm ³)	1,0	1,0
Volume inicial frasco (cm ³)	20,3	20,4
Quantidade de cimento (g)	60,0	60,2
Massa específica (g/cm ³)	2,97	2,97
MÉDIA	2,97	

Fonte: dados da pesquisa, 2025.

Quadro 5: Caracterização CPB-40

LIMITES DE COMPOSIÇÃO	PORCENTAGEM EM MASSA
Clínquer + sulfatos de cálcio	75 - 100
Material carbonático	0 - 25
REQUISITOS QUÍMICOS	PORCENTAGEM EM MASSA
Resíduo insolúvel (IR)	≤ 3,5
Perda ao fogo (PF)	≤ 12,0
Óxido de magnésio (MgO)	≤ 6,5
Trióxido de enxofre (SO ₃)	≤ 4,5
REQUISITOS FÍSICOS	
Finura peneira #75 (%)	≤ 6,0
Tempo início de pega (min)	≥ 60
Expansibilidade a quente (mm)	≤ 5
REQUISITOS MECÂNICOS	
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	(MPa)
3 dias	≥ 15,0
7 dias	≥ 25,0
28 dias	≥ 40,0

Fonte: ABNT NBR 16697:2018.

4.2 AGREGADO

O agregado miúdo (areia de quartzo) foi fornecido pelo Laboratório de Análises Tecnológicas de Materiais de Construção do Centro Universitário de Patos de Minas, o qual também disponibilizou sua infraestrutura para a execução da pesquisa.

Para a determinação das propriedades do agregado miúdo, como composição granulométrica, massa específica e massa unitária, os valores adotados foram retirados

do estudo de Silva e Kardec (2017), uma vez que o mesmo material foi utilizado neste trabalho. Esses resultados estão apresentados no Quadro 6.

Quadro 6: Caracterização da areia

MATERIAL	DMÁX (mm)	M.F	MASSA ESPECÍFICA (g/cm³)	MASSA UNITÁRIA (g/cm³)
Areia de quartzo 1 (rosa)	0,6	1,19	2,65	1,57
Areia de quartzo 2 (branca)	1,18	2,04	2,65	1,51
Pó de quartzo	-	-	2,60	1,01

Fonte: Silva; Kardec, 2017.

4.3 ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE

Nos Quadros 7 e 8, estão dispostas, respectivamente, os principais benefícios associados à sua utilização na formulação do concreto de alto desempenho (CAD) e as especificações técnicas do aditivo superplastificante ADVA® 458 UHPC, fornecido por doação pela empresa fabricante. Essas informações são fundamentais para embasar a escolha do material, demonstrando sua compatibilidade com os requisitos técnicos e evidenciando as vantagens que sua aplicação pode proporcionar.

Quadro 7: Principais Benefícios do ADVA® 458 UHPC

CONCRETO FRESCO	CONCRETO ENDURECIDO
Redução acentuada da água de amassamento para uma mesma consistência; Aumenta a fluidez com manutenção desta por tempo prolongado; Facilita o adensamento e o lançamento; Diminui a fricção interna das partículas; Permite relações água/cimento baixas sem apresentar excesso de coesão.	Proporciona elevadas resistências mecânicas iniciais e finais; Melhora a aderência; Melhora acabamento textura da superfície do concreto; Reduz a permeabilidade; Reduz retrações e fissuras de origem plástica; Aumenta a durabilidade; Prolonga a vida útil das estruturas.

Fonte: Chryso Saint-Gobain, 2024.

Quadro 8: Especificações e Validade

Cor	Alaranjado
Aspecto	Líquido
Massa Específica	1,075 - 1,115
Validade	12 (doze) meses a partir da data de fabricação

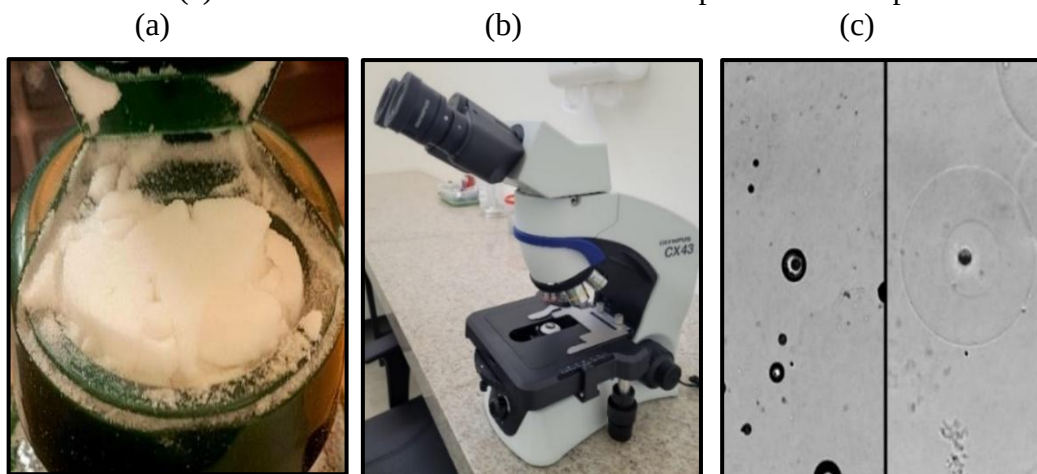
Fonte: Chryso Saint-Gobain, 2024.

4.4 POLÍMERO SUPERABSORVENTE

O polímero foi fornecido como um pó seco e branco, com partículas esféricas. Na Figura 1(a) é apresentado o polímero superabsorvente utilizado, no estado seco, visto pelo microscópio de contraste de fases Olympus CX43, conforme a Figura 1(b). A visualização foi realizada no Laboratório Mineiro de Análises Agrícolas e Microbiológicas (LAMAM), em Patos de Minas.

A Figura 1(c) apresenta as partículas de PSA seco observadas por meio de microscópio digital com ampliação de 100 vezes. Na imagem, é possível visualizar o aumento de volume de uma única partícula após ser exposta à água por 40 segundos, resultando em uma expansão aproximada de 30 vezes.

Figura 1: (a) Polímero no estado seco; (b) Microscópio Olympus CX43; (c) Partículas de PSA vistas do microscópio. Antes x depois.



Fonte: Arquivo dos autores, 2025.

4.5 ANÁLISE DO TRAÇO FINAL

O traço final do concreto de alto desempenho (CAD) foi definido a partir da análise comparativa entre três misturas que diferiram exclusivamente pela quantidade de polímero superabsorvente (PSA) incorporado à matriz cimentícia: 0%, 0,2% e 0,3% em relação à massa de cimento. O objetivo desta etapa foi avaliar a influência do PSA nas propriedades do concreto no estado fresco e endurecido, de modo a identificar o traço com melhor equilíbrio entre trabalhabilidade e resistência.

4.5.1 Ensaios do concreto no estado fresco

No estado fresco, foi realizado o ensaio de trabalhabilidade por meio da mesa de adensamento, conforme a ABNT NBR 13276:2016, Quadro 9.

Quadro 9: Resultado do ensaio de trabalhabilidade

Espalhamento (cm)	Traço Ref.	Traço 0,2% PSA	Traço 0,3% PSA
	18,3	15,2	14,8

Fonte: dados da pesquisa, 2025.

Observa-se que a adição do PSA provocou redução progressiva no índice de espalhamento, indicando diminuição da fluidez e da mobilidade da mistura. Tal comportamento está associado à capacidade de absorção de água das partículas de PSA, que retêm parte da água de amassamento, reduzindo a quantidade disponível para o cimento e agregados durante o processo de mistura, mesmo tendo adicionado a água de absorção do PSA.

Na Figura 2, é possível observar o ensaio de espalhamento realizado para o traço com 0,3% de PSA, evidenciando a diferença de consistência em relação ao traço de referência.

Apesar da redução na trabalhabilidade, todos os traços apresentaram consistência adequada para moldagem, não havendo segregação ou exsudação perceptível. Dessa forma, a influência do PSA no estado fresco foi considerada controlada e compatível com a aplicação proposta.

Figura 2: Ensaio de trabalhabilidade na mesa de adensamento – (a) REF; (b) 0,2% de PSA; (c) 0,3% de PSA



Além disso, a Figura 3 apresenta os corpos de prova após a desforma, demonstrando boa coesão superficial e ausência de defeitos visuais significativos.

Figura 3: Corpos de prova de concreto após a desforma



Fonte: arquivo dos autores, 2025.

4.5.2 Ensaios do concreto no estado endurecido

Os ensaios realizados permitiram avaliar a influência da adição de polímeros superabsorventes (PSA) nas propriedades mecânicas e microestruturais do concreto de alto desempenho (CAD). Foram analisados três traços distintos: traço de referência (sem adição de PSA), traço com 0,2% de PSA e traço com 0,3% de PSA, em relação à massa de

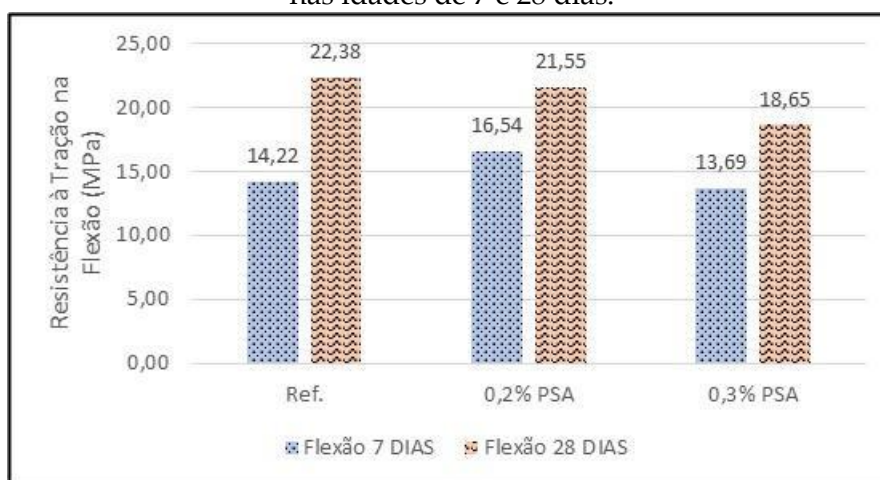
cimento. As avaliações compreenderam ensaios de resistência à compressão simples e tração na flexão, realizados aos 7 e 28 dias de cura.

4.5.2.1 Resistência à tração na flexão

O comportamento da resistência à tração dos microconcretos foi avaliado pela análise de no mínimo 3 resultados de corpos de prova prismáticos de 4x4x16 cm, distribuídos nas idades de 7 e 28 dias, conforme metodologia descrita no item 3.4.

Em seguida, na Figura 4 são mostrados os resultados obtidos para as misturas estudadas nesta pesquisa.

Figura 4: Resultados da resistência à tração na flexão em prismas nas idades de 7 e 28 dias.



Fonte: dados da pesquisa, 2025.

Observa-se que o traço de referência (sem adição de PSA) apresentou o maior valor de resistência aos 28 dias, enquanto o traço 0,2% PSA obteve desempenho intermediário e o traço com 0,3% apresentou o menor resultado.

4.5.2.2 Resistência à compressão

A avaliação foi feita nas 6 metades dos corpos de prova prismáticos, provenientes da ruptura à flexão dos 3 prismas de 16 x 4 x 4 cm, conforme a metodologia. Na Figura 5 apresenta-se o ensaio de compressão simples em execução, ilustrando a instalação do corpo de prova na máquina e o procedimento de carregamento.

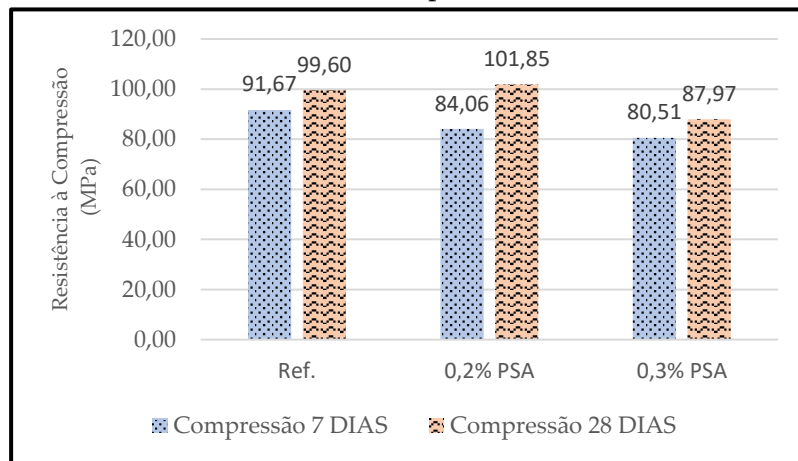
Figura 5: Ensaio à compressão



Fonte: arquivo dos autores, 2025.

Na Figura 6 são mostrados os resultados obtidos para as misturas avaliadas, representados em um gráfico de barras, para as duas idades estudadas.

Figura 6: Resultados da resistência à compressão nas idades de 7 e 28 dias



Fonte: dados da pesquisa, 2025.

Aos 28 dias, observou-se uma inversão no comportamento em relação aos 7 dias. O traço com 0,2% de PSA apresentou os maiores valores de resistência à compressão simples, superando o concreto de referência e o traço com 0,3% de PSA. Esse resultado indica que o PSA atuou de forma efetiva como agente de cura interna, liberando gradualmente a água retida e promovendo hidratação mais completa do cimento ao longo do tempo.

4.5.2.3 Observações microestruturais e visuais

Durante a análise visual dos corpos de prova após os rompimentos, observou-se que o concreto de referência e o concreto com 0,2% de PSA apresentaram quantidade

semelhante de vazios, porém o traço com 0,2% demonstrou melhor hidratação interna, evidenciada pela coloração mais homogênea e ausência de regiões secas.

O traço com 0,3% de PSA, apesar de apresentar menor número de vazios visíveis, mostrou-se mal hidratado internamente, o que explica sua menor resistência mecânica. Esse comportamento confirma que a dosagem ótima de PSA é um fator crítico: teores muito baixos podem não promover cura interna suficiente, enquanto teores elevados prejudicam a densidade da matriz e a continuidade da pasta cimentícia.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa permitiu avaliar os efeitos da adição de polímero superabsorvente no comportamento do concreto de alto desempenho, evidenciando que o PSA atua de maneira eficaz como agente de cura interna quando aplicado em teores adequados. A análise experimental demonstrou que o teor de 0,2% apresentou os melhores resultados, promovendo ganhos de resistência à compressão de aproximadamente 2,5% aos 28 dias e indicando hidratação mais uniforme da matriz cimentícia.

Observou-se que o aumento do teor para 0,3% comprometeu o desempenho mecânico, possivelmente em razão do excesso de água retida no polímero e da consequente perda de densidade da mistura. Assim, o equilíbrio entre a quantidade de PSA e a disponibilidade de água é fator determinante para o sucesso da aplicação.

Os resultados obtidos reforçam o potencial uso de polímeros superabsorventes em concretos de alta resistência, especialmente em ambientes onde o controle de cura é limitado. Recomenda-se que estudos futuros explorem diferentes tipos de polímeros, variações de granulometria e análises microestruturais mais detalhadas, de modo a ampliar o entendimento sobre os mecanismos de atuação do PSA e otimizar sua aplicação em escala prática.

REFERÊNCIAS

AITCIN, P. C. **Concreto de Alto Desempenho**. São Paulo: Pini, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739:2018**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11768-1**: Aditivos Químicos para Concreto de Cimento Portland. Parte 1 – Requisitos. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13320**: Materiais refratários – Determinação da fluidez de concretos refratários convencionais e concretos de fluência livre. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15900-1**: Água para amassamento do concreto. Parte 1: Requisitos – Parte 1: Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697**: Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto – Ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de Estruturas de Concreto. Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222**: Concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12653**: Materiais pozolânicos - Requisitos. 3 ed. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16605**: Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.

CHRYSO CONCRETE SOLUTIONS. **ADVA® 458 UHPC**: ficha técnica, 2024.

ISAIA, Geraldo Cechella *et al.* **Concreto**: ciência e tecnologia. São Paulo: IBRACON, 2011.

ISAIA, Geraldo Cechella *et al.* **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2010.

JENSEN, Ole Mejlhede; HANSEN, Per Freiesleben. Water-entrained cement-based materials. **Cement And Concrete Research**, [S. l.], v. 31, n. 4, p. 647-654, abr. 2001. Elsevier BV. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/s0008-8846\(01\)00463-x](http://dx.doi.org/10.1016/s0008-8846(01)00463-x).

MANZANO, Manuel Alejandro Rojas. **Estudo experimental de materiais cimentícios de alta resistência modificados com polímeros superabsorventes (PSAS) como agentes de cura interna**. 2016. 351 f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

MEHTA, Povindar Kumar; MONTEIRO, Paulo José Melaragno. **Concreto. Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 3. ed. São Paulo: Ibracon, 2008.

NEVILLE, A. M; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do Concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de Cimento Portland**. 2. ed. Porto Alegre: Globo, 1975.

SANTOS, Thyala Anarelli Cunha e. **Estudo da adição de polímero superabsorvente e nano partículas de sílica para melhorar propriedades de concretos de alta resistência**. 2016. 166 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

SILVA, Mateus Felipe da; KARDEC, Thais Isabela Simão. **Dosagem experimental de concreto de pós-reativos utilizando diferentes métodos de empacotamento de partículas**. 2017. 84 f. Monografia (Especialização) – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário de Patos de Minas – Unipam, Patos de Minas, 2017.

VIEIRA, Sheilla Pereira; SOUSA, Thalles Soares de; REIS, Daiane Teodoro de Andrade. Empacotamento de agregados para otimização da granulometria e do índice de vazios dos materiais constituintes do concreto. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO – CBC, 65., 2024, Maceió. Anais [...]*. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), 2024.

Análise descritiva e comparativa de sinais de EEG e relatos emocionais associados à exposição aos ruídos branco e rosa

Descriptive and comparative analysis of EEG signals and emotional self-reports associated with exposure to white and pink noise

EMILLY EMANUELI DE ARAÚJO
Discente de Engenharia Elétrica (UNIPAM)
emillyaraujo@unipam.edu.br

VICTOR HENRIQUE DA CUNHA FARIA
Professor coorientador (UNIPAM)
victorhcf@unipam.edu.br

GASPAR EUGÊNIO OLIVEIRA RAMOS
Professor orientador (UNIPAM)
gasparramos@unipam.edu.br

Resumo: Este estudo analisa descritivamente registros de eletroencefalografia (EEG) e relatos emocionais de dez voluntários expostos aos ruídos branco e rosa, provenientes do banco de dados de Ramos (2018). Os sinais foram processados no MATLAB e organizados em bandas de frequências encefálicas baseadas na literatura e prática clínica, com comparação de mapas topográficos. A classificação dos relatos identificou quatro positivos em cada condição, quatro negativos para o ruído branco e seis para o ruído rosa. As imagens apresentaram contrastes regionais sem direção uniforme entre as bandas. Entretanto, divergências na descrição da normalização e a necessidade de confirmar a orientação das matrizes limitam a atribuição dos mapas aos grupos. Os resultados têm caráter exploratório e não permitem inferir estados emocionais específicos, relações causais ou superioridade de um estímulo. A interpretação requer validação do processamento e análise dos valores individuais.

Palavras-chave: eletroencefalografia; densidade espectral de potência; mapeamento topográfico.

Abstract: This study descriptively analyzes electroencephalography (EEG) recordings and emotional reports from ten volunteers exposed to white and pink noise, obtained from the database of Ramos (2018). The signals were processed in MATLAB and organized into brain frequency bands based on the literature and clinical practice, with comparison of topographic maps. The classification of the reports identified four positive responses in each condition, four negative responses to white noise, and six negative responses to pink noise. The images showed regional contrasts without a uniform direction across the bands. However, divergences in the description of normalization and the need to confirm the orientation of the matrices limit the attribution of the maps to the groups. The results are exploratory in nature and do not allow the inference of specific emotional states, causal relationships, or the superiority of one stimulus over another. Interpretation requires validation of the processing procedures and analysis of individual values.

Keywords: electroencephalography; power spectral density; topographic mapping.

1 INTRODUÇÃO

As emoções participam das relações interpessoais e da maneira como os indivíduos interpretam as experiências cotidianas. Entre os estímulos capazes de mobilizar respostas emocionais, a música tem sido investigada em estudos sobre atividade cerebral e percepção subjetiva. Em pacientes com distúrbios da consciência, estímulos auditivos emocionalmente relevantes, como músicas preferidas e vozes familiares, podem suscitar respostas neurofisiológicas, embora sua interpretação dependa da condição clínica e dos procedimentos de avaliação (O'Kelly *et al.*, 2013; Rollnik; Altenmüller, 2014).

Estudos sobre estimulação musical contribuem para a compreensão das relações entre experiências auditivas e atividade cerebral. Blood e Zatorre (2001) observaram que respostas intensamente prazerosas à música se associavam a alterações do fluxo sanguíneo em regiões envolvidas na recompensa e na emoção. Hu *et al.* (2021) investigaram alterações da negatividade de incompatibilidade (mismatch negativity – MMN) após estimulação musical em pacientes com distúrbios da consciência. Castro *et al.* (2015), por sua vez, observaram maior ocorrência de respostas cerebrais ao próprio nome quando sua apresentação era precedida por música preferida. Esses achados se referem a protocolos específicos e não demonstram, isoladamente, recuperação da consciência.

Embora a literatura sobre música ofereça fundamentos para investigar respostas auditivas, o presente estudo examinou exclusivamente os ruídos branco e rosa. Esses estímulos não apresentam a organização melódica e harmônica característica da música, de modo que resultados obtidos com estímulos musicais não podem ser transferidos diretamente para as condições aqui analisadas.

Nesse contexto, a questão que orientou a investigação foi: quais diferenças descritivas podem ser observadas na distribuição espectral e espacial dos sinais de EEG associados aos relatos positivos e negativos durante a exposição aos ruídos branco e rosa?

O objetivo deste estudo foi realizar uma análise descritiva e comparativa de registros de EEG e relatos emocionais de participantes expostos aos ruídos branco e rosa, examinando os padrões apresentados nos mapas topográficos e os limites de sua interpretação.

A pesquisa justificou-se pela possibilidade de explorar dados secundários sobre estimulação auditiva e percepção subjetiva, contribuindo para o planejamento de análises posteriores com validação do processamento, maior número de participantes e controle das limitações metodológicas.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 ELETROENCEFALOGRAMA (EEG)

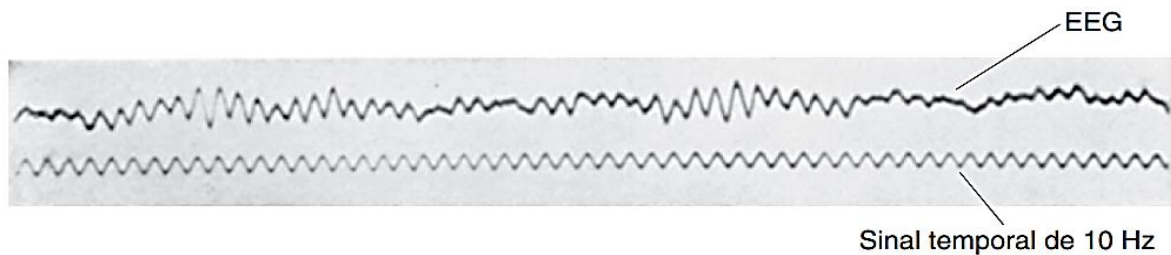
A investigação da atividade cerebral se desenvolveu com os avanços na descrição da organização celular do sistema nervoso e nas técnicas de registro de sinais elétricos. Nesse percurso, a eletroencefalografia tornou-se um recurso para estudar a

atividade elétrica cerebral e suas variações em diferentes condições fisiológicas (Bear; Connors; Paradiso, 2017).

Hans Berger realizou registros pioneiros do EEG humano na década de 1920 e publicou seus resultados em 1929. A técnica permite registrar diferenças de potencial elétrico por meio de eletrodos e contribui para a investigação de ritmos cerebrais e de alterações neurológicas, sempre em associação com o contexto clínico e experimental (Bear; Connors; Paradiso, 2017; Schomer; Lopes da Silva, 2011).

A Figura 1 apresenta um registro histórico de EEG humano, reproduzido na obra de Bear, Connors e Paradiso (2017).

Figura 1: Registro histórico de EEG humano



Fonte: Bear; Connors; Paradiso, 2017, p. 646.

Os ritmos do EEG variam conforme condições como sono, vigília e atenção, e sua interpretação considera a frequência, a amplitude e a distribuição espacial dos sinais. A frequência, isoladamente, não identifica uma emoção ou função cognitiva específica (Bear; Connors; Paradiso, 2017).

Os ritmos do EEG são classificados em bandas de frequência, cujos limites podem variar entre referências e protocolos de análise. Entre as denominações usuais estão delta, teta, alfa, beta e gama, com subdivisões das frequências mais altas. A banda alfa é frequentemente observada em regiões posteriores durante a vigília relaxada, enquanto as demais bandas também apresentam relações dependentes do estado fisiológico e da tarefa (Bear; Connors; Paradiso, 2017; Freeman; Quiroga, 2013). Os intervalos operacionais utilizados neste trabalho são apresentados na metodologia.

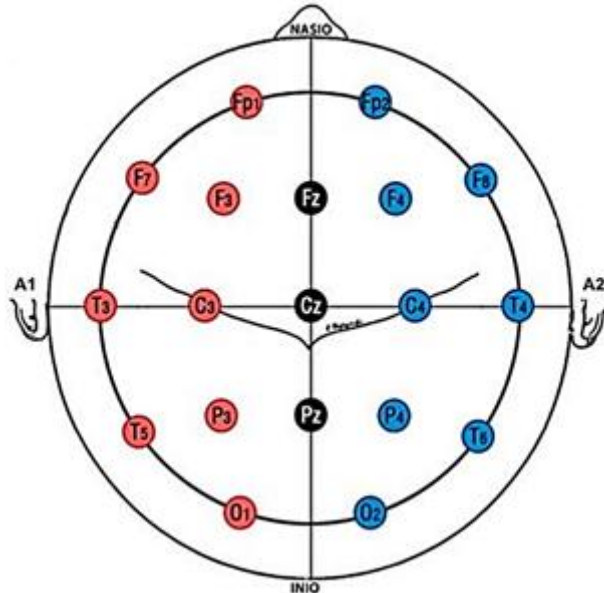
2.2 MAPEAMENTO EEG E SISTEMA 10-20

A padronização da localização dos eletrodos favorece a comparação e a interpretação dos registros de EEG. O sistema internacional 10-20 utiliza proporções das distâncias entre pontos anatômicos de referência para orientar essa distribuição. A recomendação apresentada por Marinho (2017), vinculada à Sociedade Brasileira de Neurofisiologia Clínica (SBNC), estabelece os seguintes princípios:

1. O posicionamento dos eletrodos deve ser definido por medições entre pontos anatômicos de referência, respeitando as proporções da cabeça;
2. A distribuição dos eletrodos deve proporcionar cobertura adequada do escalpo;
3. A nomenclatura deve permitir a identificação das regiões de registro e favorecer a comunicação entre profissionais e laboratórios.

A identificação dos eletrodos combina letras que indicam regiões do escalpo e números que indicam lateralização, com números ímpares à esquerda e pares à direita; a letra z identifica a linha média. As designações incluem Fp para frontopolar, F para frontal, C para central, P para parietal, T para temporal e O para occipital (Marinho, 2017), conforme a Figura 2.

Figura 2: Posição dos eletrodos no Sistema 10-20



Fonte: Marinho, 2017, p. 2.

2.3 ESTIMULAÇÃO MUSICAL ASSOCIADA AO EEG

Os ritmos do EEG variam conforme o estado fisiológico e as condições da tarefa, e sua análise requer a consideração conjunta das características temporais, espectrais e espaciais dos registros (Sörnmo; Laguna, 2005). O EEG não permite determinar diretamente o conteúdo dos pensamentos ou sentimentos de um indivíduo. O processamento computacional auxilia a quantificação de características que não são facilmente identificadas pela inspeção visual do sinal (Budzynski *et al.*, 2009).

A avaliação das respostas à música deve considerar a experiência individual de quem a escuta. Na musicoterapia, a música e seus elementos são empregados em um processo terapêutico orientado por objetivos e pelas necessidades das pessoas atendidas (Bruscia, 2014). Essa prática difere da exposição experimental a ruídos adotada no presente estudo.

De acordo com Ramos (2018), pesquisas sobre estimulação musical frequentemente examinam sinais de EEG em diferentes bandas de frequência e investigam sua relação com relatos emocionais. Uma abordagem dimensional organiza as emoções segundo valência, de negativa a positiva, e ativação, de baixa a alta (Russell, 1980).

A assimetria alfa frontal é investigada por meio de diferenças de potência alfa entre regiões frontais homólogas, com resultados dependentes da medida e das condições de registro. Em sua interpretação usual, menor potência alfa é associada a

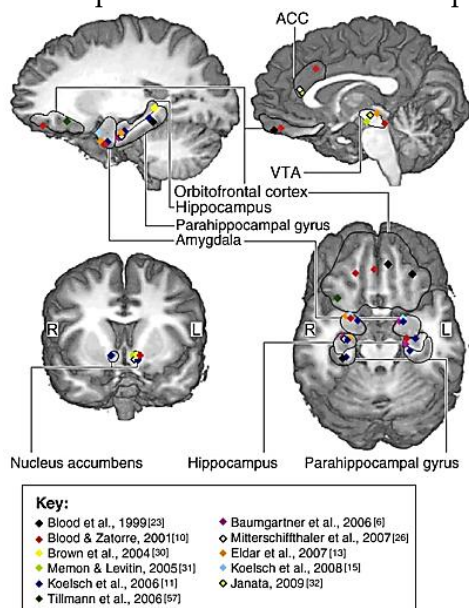
maior atividade cortical relativa; portanto, potência alfa e ativação cortical não devem ser tratadas como equivalentes. As relações com processos emocionais e motivacionais também não se reduzem à oposição entre emoções positivas e negativas (Davidson, 2004; Coan; Allen; McKnight, 2006; Harmon-Jones; Gable; Peterson, 2010).

2.4 MUSICOTERAPIA E BASES NEUROFISIOLÓGICAS DA MÚSICA

A musicoterapia utiliza experiências musicais para atender a objetivos terapêuticos definidos conforme as necessidades individuais. Essas experiências podem envolver improvisação, composição, audição e execução musical, em contextos de cuidado distintos (Bruscia, 2014).

O estudo das bases neurofisiológicas da música contribui para compreender suas relações com emoção e memória. Koelsch (2010) discute a participação de estruturas límbicas e paralímbicas nas emoções evocadas pela música, incluindo a amígdala e o hipocampo, ilustrados na Figura 3. A participação dessas estruturas não implica que qualquer estímulo sonoro produza a mesma resposta, nem estabelece, por si só, eficácia terapêutica.

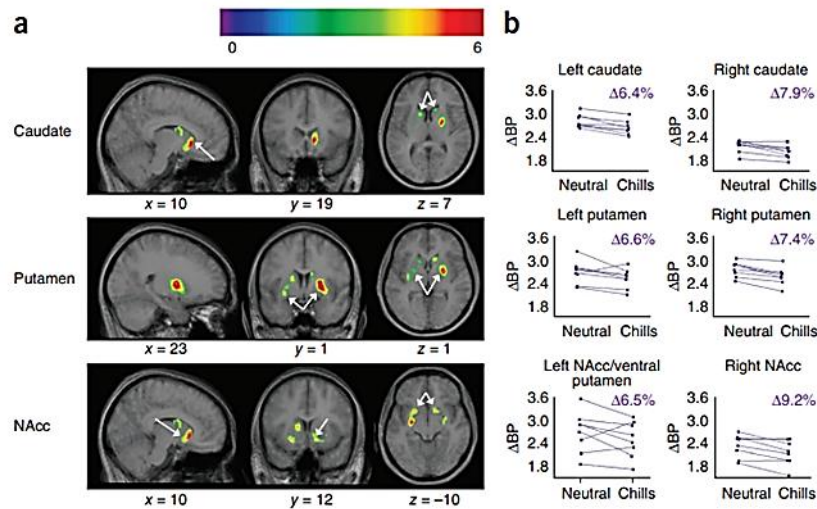
Figura 3: Estruturas límbicas e paralímbicas associadas ao processamento emocional



Fonte: Koelsch, 2010.

A percepção e o prazer musical envolvem interações entre sistemas auditivos e circuitos de recompensa (Zatorre; Salimpoor, 2013). Salimpoor *et al.* (2011) identificaram liberação de dopamina em momentos de antecipação e de experiência de emoções intensas durante a audição de música, conforme a Figura 4. Esse resultado contribui para a compreensão do prazer musical, mas não demonstra, isoladamente, eficácia da musicoterapia no tratamento de depressão ou ansiedade.

Figura 4: Evidências de liberação de dopamina durante audição de música prazerosa



Fonte: Salimpoor *et al.*, 2011.

As respostas à música variam entre indivíduos e dependem de fatores como preferências, experiências e contexto. A literatura musical oferece, assim, um referencial para investigar a relação entre estímulos auditivos e atividade cerebral, desde que sejam respeitadas as diferenças entre os protocolos e a exposição aos ruídos branco e rosa analisada neste trabalho (Su *et al.*, 2024).

3 METODOLOGIA

3.1 DELINEAMENTO DO ESTUDO E ORIGEM DOS DADOS

Esta pesquisa caracteriza-se como exploratória, descritiva e comparativa, com abordagem quantitativa, baseada na análise secundária de registros de eletroencefalografia (EEG) e relatos emocionais coletados por Ramos (2018). O banco original compreende 60 voluntários submetidos a seis condições de estimulação auditiva, dos quais foram selecionados aleatoriamente dez participantes para análise dos registros referentes exclusivamente ao ruído branco e ao ruído rosa. Durante todas as etapas de desenvolvimento deste artigo, os autores não tiveram acesso a informações pessoais que permitissem identificar os voluntários, restringindo a análise aos registros de EEG e aos relatos associados aos estímulos estudados.

Não foram realizados novos recrutamentos, intervenções ou aquisições de sinais, restringindo-se o presente estudo à seleção, à organização, ao processamento e à comparação dos dados disponibilizados. Conforme descrito por Ramos (2018), a coleta original ocorreu no âmbito da Universidade Federal de Uberlândia, com participação voluntária mediante assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido e observância dos procedimentos éticos informados na pesquisa de origem.

3.2 SELEÇÃO DOS PARTICIPANTES E CLASSIFICAÇÃO DOS RELATOS

A investigação buscou comparar a distribuição espectral e espacial dos sinais de EEG associados aos relatos positivos e negativos dos participantes, sem desenvolver modelos preditivos ou realizar classificação automática de emoções. O conjunto analisado foi constituído por dez participantes selecionados aleatoriamente entre os 60 voluntários do banco original, considerando seus registros de EEG e relatos referentes aos dois estímulos auditivos estudados. Os mesmos participantes foram analisados nas condições de ruído branco e ruído rosa, com classificação independente dos relatos para cada estímulo.

A classificação foi realizada por um único avaliador, integrante da equipe de autores deste artigo, a partir do conteúdo das respostas fornecidas na pesquisa original. Foram considerados positivos os relatos que expressavam sensações agradáveis, tranquilidade, conforto ou outras percepções favoráveis; negativos, aqueles associados a incômodo, desconforto, irritação ou repulsa; e não identificados, aqueles cujo conteúdo não permitia determinar claramente uma percepção positiva ou negativa.

Como exemplo da aplicação desses critérios, um dos participantes descreveu sua percepção do ruído rosa como “cachoeira, tranquilidade, beleza”, relato compatível com a categoria positiva pela menção explícita à tranquilidade e pela associação a percepções favoráveis. Para o ruído branco, o mesmo participante relatou “Chuva, todo mundo correndo”, descrição que, isoladamente, não expressa de forma inequívoca uma percepção positiva ou negativa, enquadrando-se no critério de reação não identificada. Esse exemplo ilustra que a classificação considerou o conteúdo emocional expresso nas respostas, sem atribuir caráter positivo ou negativo apenas às situações evocadas pelos estímulos.

Os relatos subjetivos constituíram a referência para o agrupamento dos registros, sem utilização dos sinais de EEG como critério de classificação. As comparações entre categorias foram restritas aos registros classificados como positivos ou negativos, respeitando a quantidade e a composição dos participantes de cada grupo, apresentadas na classificação das reações. Como o procedimento foi realizado por um único avaliador, não houve avaliação de concordância entre examinadores.

3.3 ORGANIZAÇÃO E SEGMENTAÇÃO DOS REGISTROS ELETROENCEFALOGRÁFICOS

O processamento foi realizado no MATLAB, utilizando arquivos individuais identificados como V1.mat a V10.mat. Os sinais estavam armazenados na matriz x_n , com 20 canais dispostos nas linhas e as amostras temporais nas colunas, adquiridas com frequência de amostragem de 400 Hz.

Para cada participante, foram extraídos dois segmentos de aproximadamente 60 segundos, correspondentes à exposição ao ruído branco e ao ruído rosa, totalizando 20 segmentos de EEG. A extração foi realizada pela conversão dos tempos iniciais em índices de amostras, considerando a frequência de amostragem e os intervalos apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Tempos iniciais e duração dos segmentos analisados

Voluntário	Ruído branco – início	Ruído rosa – início	Duração analisada
V1	09:23	06:13	60 s
V2	09:26	06:11	60 s
V3	09:18	06:12	60 s
V4	09:37	06:09	60 s
V5	09:27	06:16	60 s
V6	09:29	06:19	60 s
V7	09:25	06:12	60 s
V8	09:24	06:13	60 s
V9	09:50	06:19	60 s
V10	09:29	06:16	60 s

Fonte: Ramos, 2018.

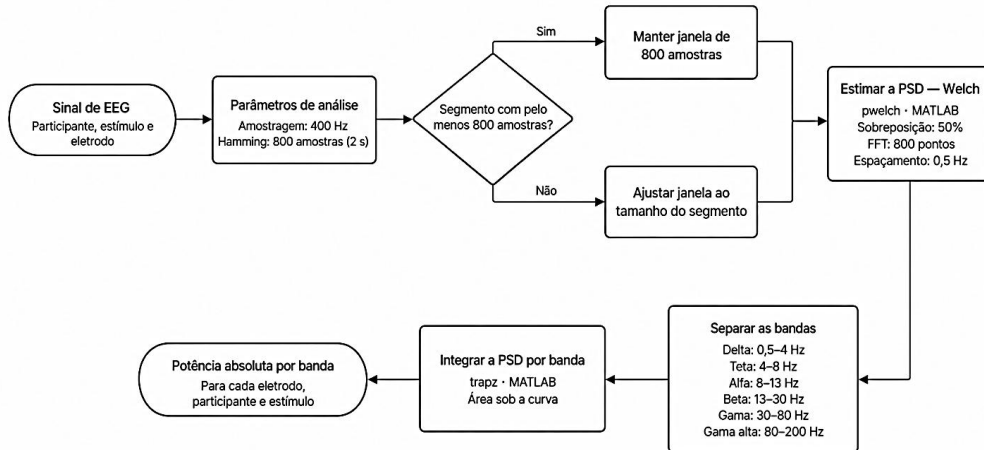
Os segmentos foram organizados por participante e estímulo para processamento individual de cada canal. Nessa análise, não foram aplicadas etapas adicionais de filtragem, remoção automática de artefatos ou Análise de Componentes Independentes (ICA), sendo utilizados os sinais conforme disponibilizados. Eventuais procedimentos anteriores de pré-processamento permanecem vinculados à documentação da pesquisa original.

3.4 ESTIMATIVA DA DENSIDADE ESPECTRAL E CÁLCULO DA POTÊNCIA POR BANDA

A densidade espectral de potência (PSD) foi estimada individualmente para cada canal e segmento de EEG pelo método de Welch, utilizando a função `pwelch` do MATLAB. Foram adotadas frequência de amostragem de 400 Hz, janela de Hamming de 800 amostras (2s), sobreposição de 50% e transformada rápida de Fourier de 800 pontos, com espaçamento de 0,5 Hz entre os pontos de frequência. Para segmentos menores que 800 amostras, o código previa o ajuste do comprimento da janela.

A potência absoluta foi calculada pela integração da PSD com a função `trapz`, nas bandas delta (0,5-4 Hz), teta (4-8 Hz), alfa (8-13 Hz), beta (13-30 Hz), gama (30-80 Hz) e gama alta (80-200 Hz), sendo 200 Hz a frequência de Nyquist. O procedimento gerou valores por banda para cada eletrodo, participante e estímulo auditivo, conforme as etapas apresentadas na Figura 5.

Figura 5: Etapas de estimação da PSD e cálculo da potência absoluta por banda



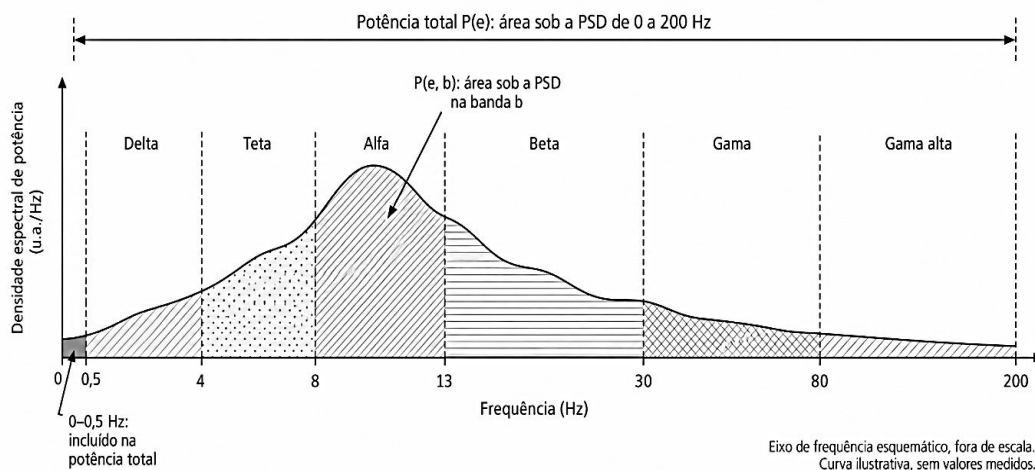
Fonte: elaborado pelos autores, 2026.

3.5 NORMALIZAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA POTÊNCIA

A potência total do sinal registrado em cada eletrodo foi obtida pela integração da densidade espectral de potência (PSD) no intervalo de 0 a 200 Hz, considerando a frequência de amostragem de 400 Hz. Essa potência corresponde à área sob a curva da PSD, enquanto a potência de cada banda corresponde à parcela dessa área delimitada pelo respectivo intervalo de frequências.

A Figura 6 ilustra essa relação, apresentando a divisão da área sob a curva nas bandas delta, teta, alfa, beta, gama e gama alta. A região entre 0 e 0,5 Hz integra o cálculo da potência total, embora não pertença às seis bandas analisadas. A representação é esquemática e tem finalidade explicativa, sem apresentar valores medidos do estudo.

Figura 6: Representação esquemática da potência total e das potências por banda de um canal de EEG



Fonte: elaborado pelos autores, 2026.

A partir das potências totais e por banda, foram calculados três indicadores percentuais. O primeiro corresponde à potência relativa, conforme (1), de cada banda em relação à potência total do próprio eletrodo:

$$R_{\{e,b\}} = 100 * \frac{P_{\{e,b\}}}{P_e} \quad (1)$$

em que $P(e, b)$ representa a potência do eletrodo e na banda b , e $P(e)$ representa a potência total desse eletrodo, conforme ilustrado na Figura 6, esse cálculo relaciona a área sob a PSD em determinada banda à área total sob a curva, expressando a contribuição percentual da banda para a potência do canal.

O segundo indicador corresponde à participação da potência total, conforme (2), de cada eletrodo na soma das potências dos 20 canais do registro:

$$S_e = 100 * \frac{P_e}{\sum_{j=1}^n P_{j,total}} \quad (2)$$

Nesse cálculo, o denominador reúne as potências totais dos 20 canais do mesmo registro, permitindo determinar a contribuição percentual de cada eletrodo para o conjunto. O índice $\backslash(j\backslash)$ identifica cada um dos canais considerados na soma.

O terceiro indicador representa a participação de cada eletrodo, conforme (3), na potência de determinada banda, considerando a soma dessa mesma banda nos 20 canais:

$$S_{e,b} = 100 * \frac{P_{e,b}}{\sum_{j=1}^n P_{j,b}} \quad (3)$$

Esse indicador descreve a distribuição espacial da potência de uma banda, relacionando a parcela registrada em um eletrodo à soma das parcelas correspondentes nos demais canais e no próprio eletrodo.

Os três indicadores foram calculados individualmente para cada registro, somente quando o respectivo denominador apresentou valor positivo. O primeiro caracteriza a composição espectral de cada canal, enquanto o segundo e o terceiro descrevem, respectivamente, a distribuição da potência total e da potência de uma banda entre os eletrodos.

3.6 AGRUPAMENTO DOS RESULTADOS E ELABORAÇÃO DOS MAPAS TOPOGRÁFICOS

Os registros foram organizados em quatro grupos de comparação: ruído branco com relatos positivos, ruído branco com relatos negativos, ruído rosa com relatos positivos e ruído rosa com relatos negativos. A composição e a quantidade de participantes de cada grupo seguiram a classificação das reações, não correspondendo necessariamente ao total de dez voluntários analisados em cada estímulo.

O procedimento descrito para o agrupamento consiste no cálculo da média aritmética, por eletrodo e banda, dos valores normalizados dos participantes de cada grupo. A aplicação desse procedimento às figuras apresentadas depende da confirmação do indicador empregado e da orientação das matrizes usadas na seleção dos registros.

Os mapas topográficos foram gerados no MATLAB pela função *Mapeamento_Bandas*, pertencente ao programa de geração de mapas de calor do escalpo com disposição dos eletrodos segundo o sistema internacional 10-20. A função recebeu como entrada as médias previamente calculadas por eletrodo, como no comando:

Mapeamento_Bandas(Media_Positiva_Eletrodo{1,1}, 0, 70, 1)

empregado para representar os relatos positivos na banda delta.

Foram elaborados mapas para as bandas delta, teta, alfa, beta, gama e gama alta, permitindo visualizar e comparar a distribuição espacial dos percentuais médios entre os grupos de relatos positivos e negativos e entre os estímulos auditivos. A interpretação foi descritiva e comparativa, com discussão à luz da literatura sobre atividade eletroencefalográfica, processamento auditivo e respostas emocionais, sem atribuição de significância estatística às diferenças observadas ou de capacidade preditiva aos resultados.

4 RESULTADOS

Foram utilizados dados secundários de dez voluntários selecionados aleatoriamente do banco de Ramos (2018), composto por 60 participantes, correspondendo a 16,7% do conjunto original. Cada voluntário contribuiu com um registro de exposição ao ruído branco e outro ao ruído rosa, totalizando 20 registros. A análise contemplou 20 eletrodos e seis bandas frequenciais: delta, teta, alfa, beta, gama e gama alta.

A classificação dos relatos, realizada por um único avaliador entre os autores, resultou em quatro relatos positivos e quatro negativos para o ruído branco, com dois registros fora dessas categorias, enquanto o ruído rosa apresentou quatro positivos e seis negativos. A Tabela 2 apresenta os quantitativos e a composição dos grupos definidos pelos relatos.

Tabela 2: Distribuição dos relatos e composição dos grupos

Condição	Positivos	Negativos	Fora dos dois grupos
Branco	4 (40,0%) V1, V2, V6 e V7	4 (40,0%) V4, V5, V9 e V10	2 (20,0%) V3 e V8
Rosa	4 (40,0%) V1, V2, V7 e V8	6 (60,0%) V3, V4, V5, V6, V9 e V10	0 (0,0%)

Fonte: dados da pesquisa, 2025.

A seleção compreendeu 18 dos 20 registros disponíveis (90,0%). Esses registros pertencem aos mesmos dez voluntários e não equivalem a 18 observações independentes entre pessoas. A frequência de relatos positivos foi idêntica nas duas condições; a de negativos foi 20 pontos percentuais maior no ruído rosa. Essa diferença descreve a amostra e não constitui evidência estatística de maior desconforto causado por esse ruído.

A comparação individual dos rótulos acrescenta informação às frequências: V1, V2 e V7 apresentaram relatos positivos em ambas as condições, enquanto V4, V5, V9 e V10 apresentaram negativos nas duas. V6 passou de positivo no branco para negativo no rosa. Entre os registros fora dos dois grupos no branco, V3 foi negativo no rosa e V8 foi positivo. Portanto, grupos com o mesmo tamanho não têm necessariamente a mesma composição, o que limita comparações diretas entre suas médias.

O primeiro indicador descrito na metodologia corresponde à potência de cada banda dividida pela potência total do próprio canal, expressa em porcentagem. Trata-se de potência relativa intracanal, distinta da participação de um eletrodo na soma das potências dos canais. Como a descrição original diverge quanto ao indicador aplicado às imagens, sua identificação deverá ser confirmada nos arquivos de processamento antes de uma interpretação quantitativa.

O manuscrito registra uma incompatibilidade potencial entre a orientação das matrizes produzidas e a esperada para selecionar os voluntários. A orientação efetivamente utilizada nas figuras não está confirmada. Por esse motivo, as descrições seguintes referem-se às imagens e aos rótulos apresentados, sem estabelecer diferenças validadas de EEG entre os grupos de relatos.

4.1 SÍNTESE COMPARATIVA DAS IMAGENS

As Figuras 7 a 18 apresentam 12 pares de mapas topográficos, correspondentes às seis bandas de frequência analisadas nas condições de ruído branco e ruído rosa. Em cada par, o mapa à esquerda representa o grupo com relatos positivos e o mapa à direita, o grupo com relatos negativos. Essas categorias correspondem à classificação das respostas dos participantes para cada estímulo, não constituindo, por si mesmas, medidas de intensidade emocional ou de ativação cerebral.

A análise descritiva considerou a localização, a extensão e os valores indicados pelas cores das regiões representadas. A região anterior encontra-se na parte superior dos mapas, identificada pelo contorno do nariz, enquanto a região posterior corresponde à parte inferior. As referências à esquerda e à direita descrevem as posições nas figuras.

A Tabela 3 sintetiza os principais contrastes observados e apresenta separadamente os limites das escalas de cada grupo, uma vez que nem todos os pares utilizam a mesma faixa de valores.

Tabela 3: Contrastes visuais e limites das escalas nas figuras existentes

Banda	Escalas no ruído branco positivo / negativo	Principais contrastes no ruído branco	Escalas no ruído rosa positivo / negativo	Principais contrastes no ruído rosa
Delta	0–60 / 0–70	Destaque anterior nos dois grupos; distribuição central mais homogênea e elevação posterior localizada no positivo.	0–60 / 0–70	Destaque anterior nos dois grupos; valores intermediários mais amplamente distribuídos na metade anterior do negativo.

Teta	0-20 / 0-20	Destaque central mais amplo e com valores visualmente superiores no negativo.	0-20 / 0-20	Destaque centro anterior nos dois grupos, com maior extensão em direção à região posterior no negativo.
Alfa	0-60 / 0-60	Destaque posterior bilateral nos dois grupos; valores intermediários mais extensos nas regiões central e posterior do negativo.	0-70 / 0-60	Destaque posterior mais amplo no positivo, com extensão às regiões poster laterais.
Beta	0-15 / 0-15	Valores visualmente superiores nas regiões laterais do positivo.	0-15 / 0-15	Destaques laterais bilaterais mais acentuados no positivo; faixa posterior evidente no negativo.
Gama	0-8 / 0-6	Destaques anterolaterais bilaterais mais definidos no positivo; distribuição menos acentuada no negativo.	0-10 / 0-8	Destaques laterais no positivo e deslocamento anterior dessas áreas no negativo.
Gama alta	0-8 / 0-6	Destaques anterolaterais bilaterais no positivo, especialmente à direita; destaque lateral esquerdo no negativo.	0-8 / 0-7	Destaques laterais bilaterais, com diferenças na localização e na intensidade dos máximos regionais.

Fonte: elaborado pelos autores a partir das Figuras 7 a 18.

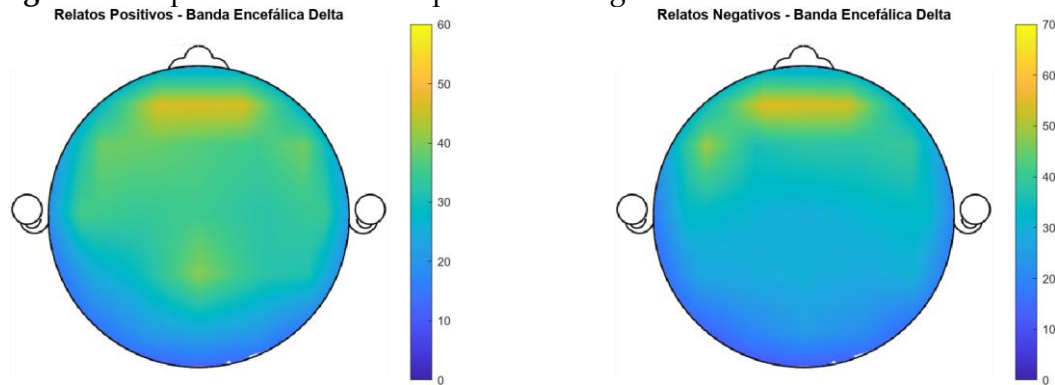
As escalas coincidem entre os grupos em teta e beta, para ambos os estímulos, e em alfa, para o ruído branco. Nos demais pares, os limites superiores são diferentes, de modo que cores semelhantes podem corresponder a valores distintos. Consequentemente, a comparação deve considerar as barras numéricas de cada mapa, tanto entre grupos quanto entre condições de estimulação.

Os quantitativos apresentados na Tabela 2 descrevem a classificação dos relatos, enquanto os intervalos da Tabela 3 indicam os limites das escalas gráficas. Esses intervalos não correspondem à magnitude das diferenças entre os grupos, e o limite superior de uma barra não deve ser interpretado automaticamente como o maior valor observado nos registros.

A interpolação utilizada na construção dos mapas permite representar a distribuição entre as posições dos eletrodos, mas uma área colorida mais extensa não indica diretamente maior número de participantes ou de canais com determinado valor. A análise apresentada é visual e descritiva, sem estimativas de dispersão, intervalos de confiança ou testes de significância estatística.

4.1.1 Ruído branco nas bandas delta e teta

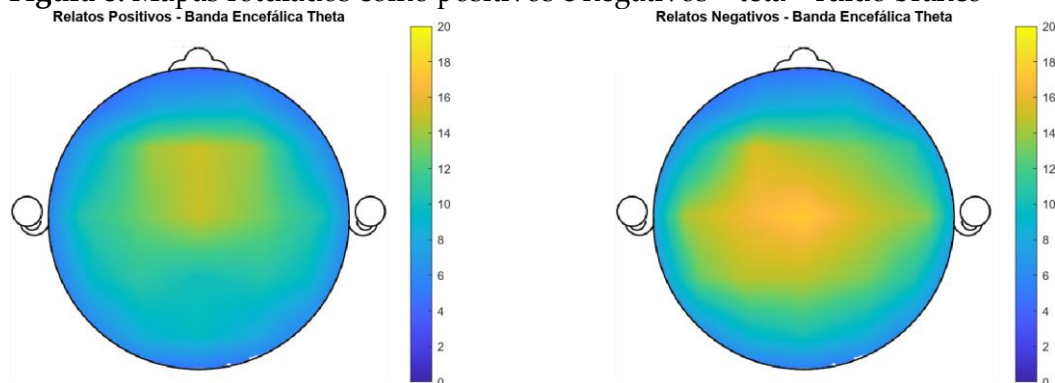
Figura 7: Mapas rotulados como positivos e negativos – delta – ruído branco



Fonte: resultados a partir do processamento do banco de dados de Ramos (2018).

Na Figura 7, os dois grupos apresentam maior destaque na região anterior, próximo à linha média, com redução dos valores em direção à periferia posterior. No grupo positivo, os valores intermediários distribuem-se de maneira mais homogênea pela região central, acompanhados de uma elevação posterior localizada próxima à linha média. No grupo negativo, o destaque anterior é mais delimitado, com uma área adicional na porção anterolateral esquerda. A principal diferença envolve, portanto, a distribuição espacial dos valores, considerando as escalas de 0 a 60 e de 0 a 70 dos mapas positivo e negativo, respectivamente.

Figura 8: Mapas rotulados como positivos e negativos – teta – ruído branco



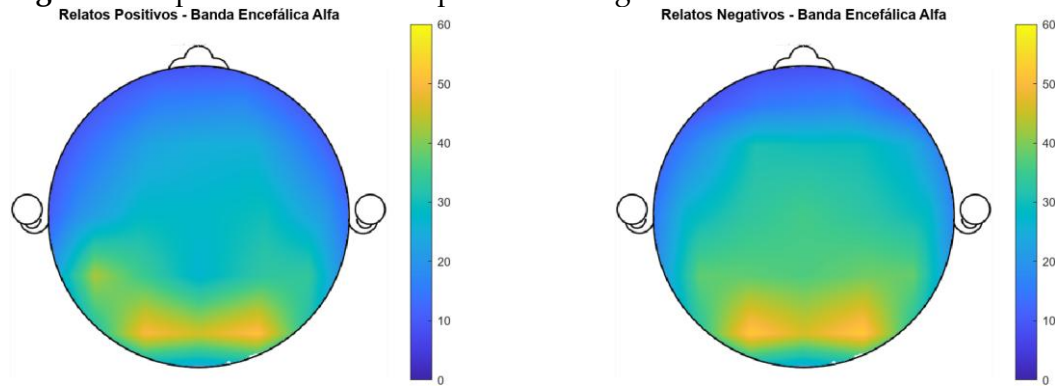
Fonte: resultados a partir do processamento do banco de dados de Ramos (2018).

Na Figura 8, ambos os mapas apresentam destaque central, porém essa área é mais extensa no grupo negativo, prolongando-se lateralmente e em direção à região posterior central. No grupo positivo, os maiores valores permanecem mais concentrados

nas regiões central e centro anterior. A escala comum de 0 a 20 permite observar valores visualmente superiores em parte da região central do grupo negativo, caracterizando um contraste regional, sem indicar aumento uniforme em todos os canais.

4.1.2 Ruído branco nas bandas alfa e beta

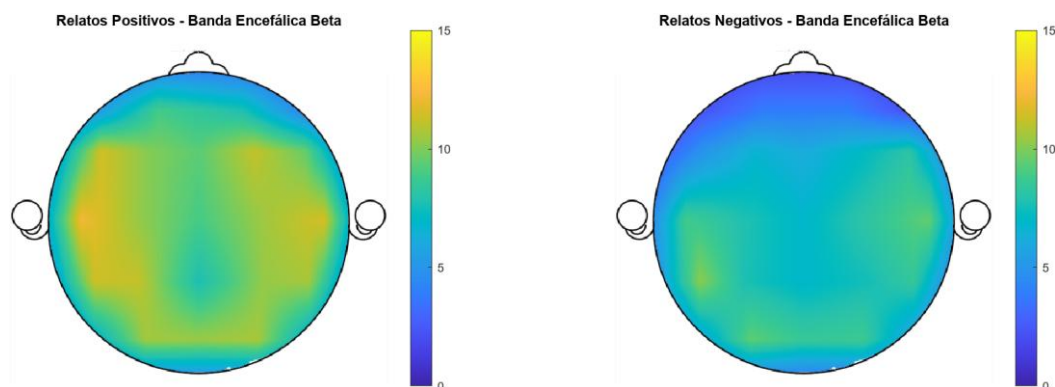
Figura 9: Mapas rotulados como positivos e negativos – alfa – ruído branco



Fonte: resultados a partir do processamento do banco de dados de Ramos (2018).

Na Figura 9, os maiores valores concentram-se na região posterior dos dois grupos, com destaques bilaterais próximos à borda inferior dos mapas. No grupo positivo, observa-se uma extensão poster lateral esquerda, enquanto o grupo negativo apresenta valores intermediários mais amplamente distribuídos pelas regiões central e posterior. Com escalas comuns de 0 a 60, os mapas evidenciam a manutenção do padrão posterior em ambos os grupos, diferenciando-se principalmente pela extensão das áreas adjacentes.

Figura 10: Mapas rotulados como positivos e negativos – beta – ruído branco

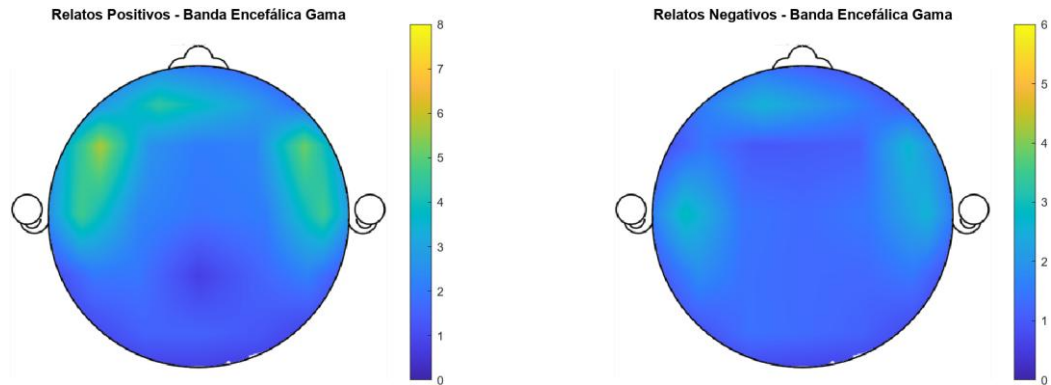


Fonte: resultados a partir do processamento do banco de dados de Ramos (2018).

Na Figura 10, o grupo positivo apresenta destaques laterais bilaterais e uma faixa posterior de valores intermediários, enquanto o grupo negativo exibe uma distribuição menos acentuada, com elevação localizada na região poster lateral esquerda. Considerando a escala comum de 0 a 15, os valores representados nas regiões laterais são visualmente superiores no grupo positivo. A região central, por sua vez, apresenta menor destaque em relação às áreas laterais desse mesmo mapa.

4.1.3 Ruído branco nas bandas gama e gama alta

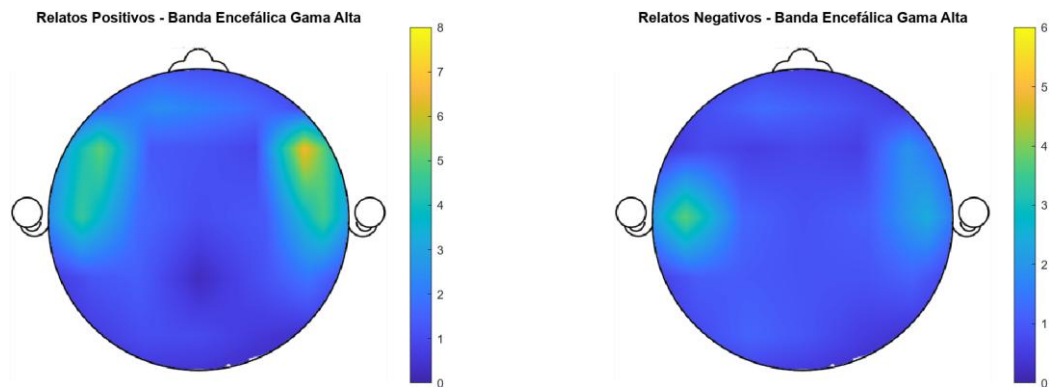
Figura 11: Mapas rotulados como positivos e negativos – gama – ruído branco



Fonte: Resultados a partir do processamento do banco de dados de Ramos (2018).

Na Figura 11, o grupo positivo apresenta destaques anterolaterais bilaterais, além de uma pequena elevação anterior próxima à linha média. No grupo negativo, predominam valores situados na porção inferior da escala, com elevações laterais discretas. O contraste concentra-se nas regiões anterolaterais, mais definidas no mapa positivo. As escalas variam de 0 a 8 no grupo positivo e de 0 a 6 no negativo, devendo ser consideradas na comparação das intensidades representadas.

Figura 12: Mapas rotulados como positivos e negativos – gama alta – ruído branco

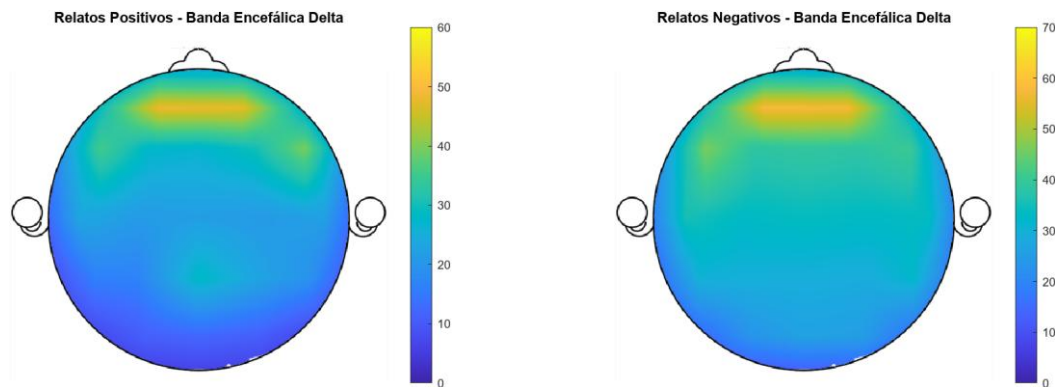


Fonte: Resultados a partir do processamento do banco de dados de Ramos (2018).

Na Figura 12, o grupo positivo apresenta destaques anterolaterais bilaterais, com maior intensidade visual à direita da figura. No grupo negativo, a principal elevação localiza-se na região lateral esquerda, aproximadamente à altura da porção central do mapa. As regiões central e posterior apresentam valores menores em ambos os grupos. Além das diferenças de intensidade, observa-se uma mudança na localização das áreas de maior destaque, considerando as escalas de 0 a 8 no positivo e de 0 a 6 no negativo.

4.1.4 Ruído rosa nas bandas delta e teta

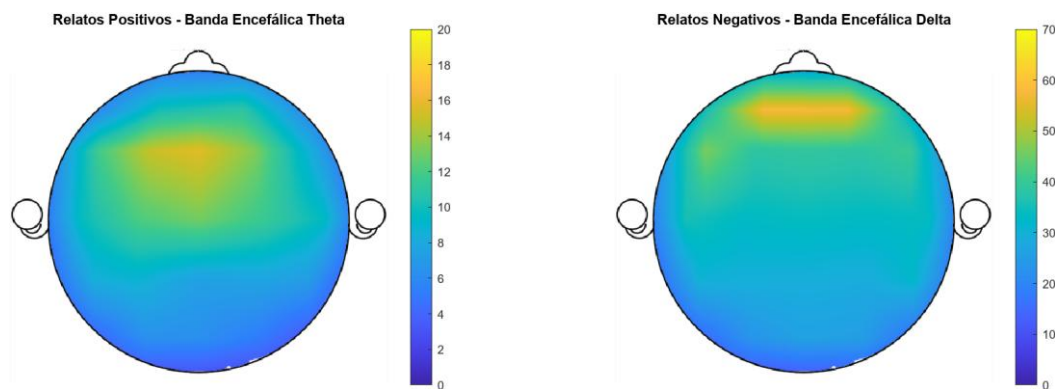
Figura 13: Mapas rotulados como positivos e negativos – delta – ruído rosa



Fonte: Resultados a partir do processamento do banco de dados de Ramos (2018).

Na Figura 13, os dois grupos apresentam destaque anterior próximo à linha média e valores menores em direção à região posterior. No grupo positivo, identifica-se uma pequena elevação anterolateral direita, enquanto o grupo negativo apresenta maior extensão de valores intermediários na metade anterior. A localização do principal destaque se aproxima daquela observada em delta para o ruído branco. As escalas de 0 a 60 no grupo positivo e de 0 a 70 no negativo exigem que a comparação considere os valores das barras, além das cores.

Figura 14: Mapas rotulados como positivos e negativos – teta – ruído rosa

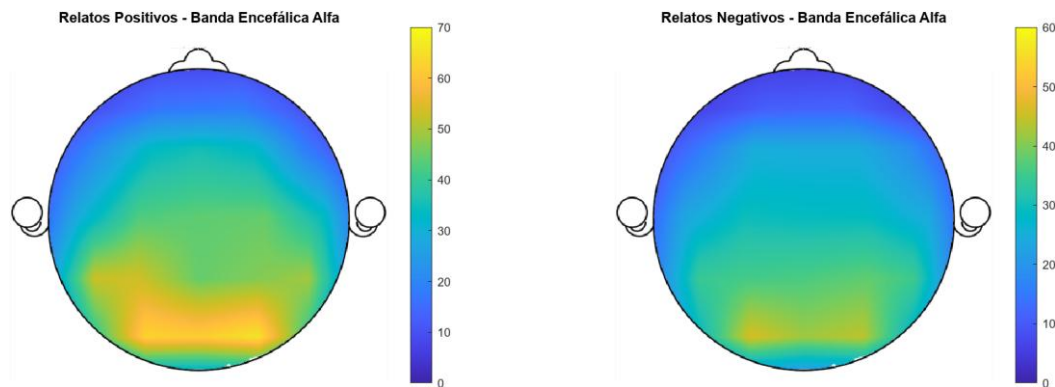


Fonte: Resultados a partir do processamento do banco de dados de Ramos (2018).

Na Figura 14, os maiores valores concentram-se nas regiões central e centro anterior dos dois grupos. No mapa positivo, a área de destaque é mais delimitada, com discreta extensão à esquerda, enquanto no negativo se prolonga pela região central em direção à porção posterior. A escala comum de 0 a 20 permite observar maior extensão e valores visualmente superiores no destaque central do grupo negativo, reproduzindo a direção do contraste identificado em teta para o ruído branco.

4.1.5 Ruído rosa nas bandas alfa e beta

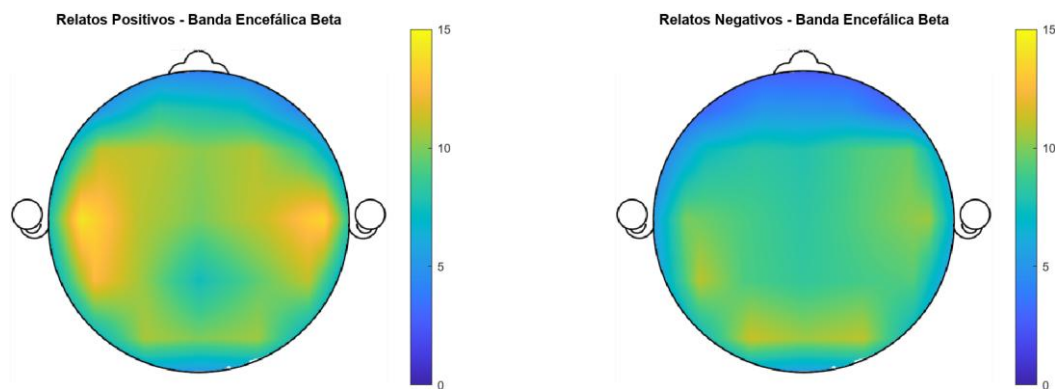
Figura 15: Mapas rotulados como positivos e negativos – alfa – ruído rosa



Fonte: Resultados a partir do processamento do banco de dados de Ramos (2018).

Na Figura 15, os dois grupos apresentam predomínio posterior, porém o grupo positivo exibe uma área de destaque mais ampla, abrangendo a região posterior bilateral e parte das regiões poster laterais. No negativo, essa área permanece mais restrita à proximidade da borda posterior. Considerando as escalas de 0 a 70 no positivo e de 0 a 60 no negativo, a representação também sugere valores posteriores superiores no grupo positivo. O principal contraste está na extensão e na intensidade regional desse padrão, mantendo-se a localização posterior em ambos os grupos.

Figura 16: Mapas rotulados como positivos e negativos – beta – ruído rosa

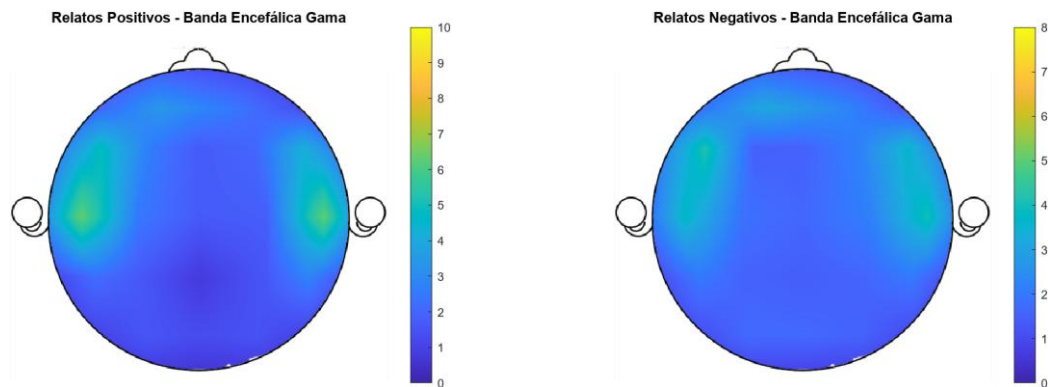


Fonte: Resultados a partir do processamento do banco de dados de Ramos (2018).

Na Figura 16, o grupo positivo apresenta destaques laterais bilaterais mais acentuados, enquanto o negativo exibe elevações na região poster lateral esquerda, na lateral direita e em uma faixa posterior próxima à linha média. Com escala comum de 0 a 15, a comparação indica valores visualmente superiores nas regiões laterais do grupo positivo. Essa distribuição se aproxima daquela observada em beta para o ruído branco, evidenciando a recorrência do contraste lateral entre os grupos nas duas condições.

4.1.6 Ruído rosa nas bandas gama e gama alta

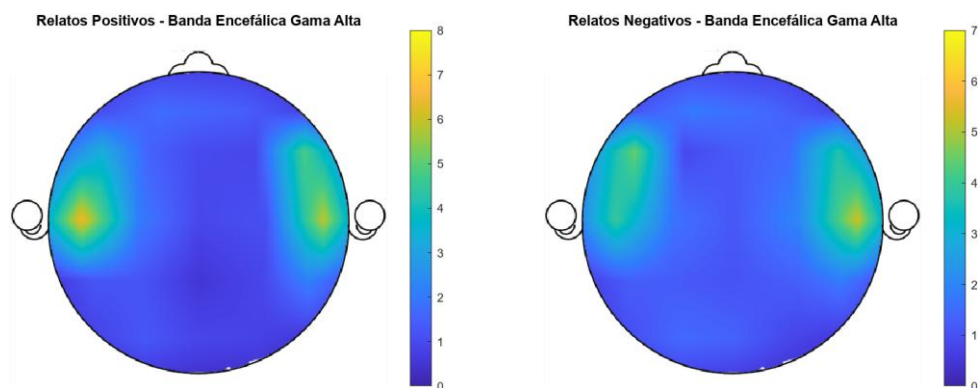
Figura 17: Mapas rotulados como positivos e negativos – gama – ruído rosa



Fonte: Resultados a partir do processamento do banco de dados de Ramos (2018).

Na Figura 17, as regiões central e posterior apresentam valores menores em ambos os grupos, enquanto os principais destaques se localizam nas laterais. No grupo positivo, essas elevações aparecem bilateralmente, aproximadamente à altura da região central do mapa. No negativo, os destaques situam-se mais anteriormente, sobretudo à esquerda. A comparação evidencia diferenças na posição e na configuração das áreas laterais, considerando as escalas de 0 a 10 no grupo positivo e de 0 a 8 no negativo.

Figura 18: Mapas rotulados como positivos e negativos – gama alta – ruído rosa



Fonte: Resultados a partir do processamento do banco de dados de Ramos (2018).

Na Figura 18, os grupos apresentam destaques laterais bilaterais, com valores menores nas regiões central e posterior. No positivo, o destaque mais acentuado encontra-se à esquerda, aproximadamente à altura da região central. No negativo, observa-se uma elevação mais evidente à direita nessa mesma altura, acompanhada de uma área anterolateral esquerda. O contraste envolve principalmente a localização dos máximos regionais, com escalas de 0 a 8 e de 0 a 7 nos mapas positivo e negativo, respectivamente.

4.2 DISCUSSÃO FUNDAMENTADA NA LITERATURA

4.2.1 Potência espectral e interpretação emocional

Os mapas apresentam padrões espaciais recorrentes, com destaque anterior em delta, central em teta, posterior em alfa e predominantemente lateral nas bandas mais rápidas. Entretanto, esses padrões não identificam estados emocionais específicos. Conforme discutem Zhang, Fort e Giménez Mateu (2024), a interpretação emocional do EEG depende das condições experimentais e apresenta limitações de generalização. Neste estudo, as categorias positiva e negativa sintetizam os relatos, sem distinguir intensidade emocional ou nível de ativação.

Su *et al.* (2024) discutem métodos de reconhecimento de emoções evocadas por música, oferecendo referências para o processamento do EEG. Sua aplicação aos ruídos branco e rosa, contudo, é indireta, dadas as diferenças entre os estímulos. A presente análise é descritiva e não envolve treinamento ou validação de modelos de predição emocional.

4.2.2 Delta e teta

Em delta, o destaque anterior ocorre nos dois grupos e estímulos, com diferenças regionais na distribuição dos valores. Harmony (2013) discute a participação dessa banda em processos cognitivos, indicando que sua presença não caracteriza exclusivamente relaxamento ou sono.

Em teta, o grupo negativo apresenta destaque central mais amplo nas duas condições, constituindo um contraste visual recorrente. Sua associação com atenção, memória ou processamento emocional, porém, exigiria medidas independentes dessas funções e análise quantitativa dos registros.

4.2.3 Alfa

O predomínio posterior de alfa aparece nas duas condições, com maior extensão de valores intermediários no grupo negativo para o ruído branco e destaque posterior mais amplo no positivo para o ruído rosa. Jensen e Mazaheri (2010) relacionam as oscilações alfa à inibição funcional e à seleção de informações, mas esse referencial não permite atribuir os padrões observados à rejeição ou à supressão dos estímulos. Da mesma forma, a distribuição visual não demonstra assimetria hemisférica, cuja avaliação exigiria comparação entre eletrodos homólogos.

4.2.4 Beta gama e gama alta

Em beta, os destaques laterais são mais acentuados no grupo positivo em ambas as condições, sem demonstrar maior vigilância ou atenção. Em gama e gama alta, os contrastes envolvem principalmente regiões laterais e anterolaterais, devendo ser interpretados conforme as diferentes escalas dos mapas. Muthukumaraswamy (2013) destaca a sobreposição entre atividade muscular e essas faixas de frequência, tornando

necessária a consideração de artefatos como explicação alternativa para os destaques periféricos, sem atribuí-los exclusivamente à atividade cortical.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo analisou registros secundários de EEG e relatos de dez voluntários do banco de Ramos (2018), referentes à exposição aos ruídos branco e rosa. Foram identificados quatro relatos positivos em cada condição, quatro negativos para o ruído branco e seis para o ruído rosa, além de dois relatos não identificados no ruído branco. Embora a quantidade de relatos positivos tenha sido igual, a composição dos grupos variou entre os estímulos, ressaltando a importância das respostas individuais.

Os mapas apresentaram padrões espaciais recorrentes e contrastes regionais entre os grupos, com destaque central mais amplo em teta no grupo negativo e destaques laterais mais acentuados em beta no positivo, nas duas condições. Essas observações não identificam, isoladamente, emoções ou estados cognitivos, nem demonstram maior relaxamento, vigília ou desconforto.

O alcance dos resultados é limitado pela amostra de dez participantes, pela classificação realizada por um único avaliador e pela ausência de medidas de dispersão e testes estatísticos. Os canais de uma mesma pessoa e seus registros nas duas condições não constituem observações independentes, enquanto as diferenças de tamanho e composição dos grupos podem influenciar os mapas. Também devem ser consideradas as variações das escalas gráficas e a possível influência de artefatos nas bandas mais rápidas.

A contribuição do trabalho consiste na caracterização dos relatos e na descrição exploratória dos padrões topográficos, sem estabelecer relações causais, capacidade preditiva do EEG ou superioridade de um estímulo quanto ao conforto. Estudos posteriores poderão avaliar a consistência desses contrastes por meio de amostras maiores, análise dos valores individuais, controle de artefatos e procedimentos estatísticos que considerem a dependência entre as condições.

REFERÊNCIAS

BEAR, Mark F.; CONNORS, Barry W.; PARADISO, Michael A. **Neurociências: desvendando o sistema nervoso**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

BLOOD, Anne J.; ZATORRE, Robert J. Intensely pleasurable responses to music correlate with activity in brain regions implicated in reward and emotion. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, DC, v. 98, n. 20, p. 11818-11823, set. 2001. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.191355898>.

BRUSCIA, Kenneth E. **Defining music therapy**. 3. ed. University Park: Barcelona Publishers, 2014.

BUDZYNSKI, T. H. *et al.* (ed.). **Introduction to quantitative EEG and neurofeedback: advanced theory and applications**. 2. ed. Amsterdam: Academic Press, 2009.

CASTRO, Maïté *et al.* Boosting cognition with music in patients with disorders of consciousness. **Neurorehabilitation and Neural Repair**, Thousand Oaks, v. 29, n. 8, p. 734-742, set. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1177/1545968314565464>.

COAN, James A.; ALLEN, John J. B.; MCKNIGHT, Patrick E. A capability model of individual differences in frontal EEG asymmetry. **Biological Psychology**, Amsterdam, v. 72, n. 2, p. 198-207, maio 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2005.10.003>.

DAVIDSON, Richard J. What does the prefrontal cortex “do” in affect: perspectives on frontal EEG asymmetry research? **Biological Psychology**, Amsterdam, v. 67, n. 1-2, p. 219-234, out. 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2004.03.008>.

FREEMAN, Walter J.; QUIROGA, Rodrigo Quian. **Imaging brain function with EEG: advanced temporal and spatial analysis of electroencephalographic signals**. New York: Springer, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4984-3>.

HARMON-JONES, Eddie; GABLE, Philip A.; PETERSON, Carly K. The role of asymmetric frontal cortical activity in emotion-related phenomena: a review and update. **Biological Psychology**, Amsterdam, v. 84, n. 3, p. 451-462, jul. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2009.08.010>.

HARMONY, Thalía. The functional significance of delta oscillations in cognitive processing. **Frontiers in Integrative Neuroscience**, Lausanne, v. 7, art. 83, dez. 2013. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnint.2013.00083>.

HU, Yajuan *et al.* Can music influence patients with disorders of consciousness? An event-related potential study. **Frontiers in Neuroscience**, Lausanne, v. 15, art. 596636, abr. 2021. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnins.2021.596636>.

JENSEN, Ole; MAZAHARI, Ali. Shaping functional architecture by oscillatory alpha activity: gating by inhibition. **Frontiers in Human Neuroscience**, Lausanne, v. 4, art. 186, nov. 2010. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnhum.2010.00186>.

KOELSCH, Stefan. Towards a neural basis of music-evoked emotions. **Trends in Cognitive Sciences**, Kidlington, v. 14, n. 3, p. 131-137, mar. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tics.2010.01.002>.

MARINHO, Taíssa Ferrari. **Recomendação da SBNC para localização de eletrodos e montagens de EEG**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Neurofisiologia Clínica, 2017.

MUTHUKUMARASWAMY, Suresh D. High-frequency brain activity and muscle artifacts in MEG/EEG: a review and recommendations. **Frontiers in Human Neuroscience**, Lausanne, v. 7, art. 138, abr. 2013. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00138>.

O'KELLY, Julian *et al.* Neurophysiological and behavioral responses to music therapy in vegetative and minimally conscious states. **Frontiers in Human Neuroscience**, Lausanne, v. 7, art. 884, dez. 2013. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00884>.

RAMOS, Gaspar Eugênio Oliveira. **Estudo sobre estimulação musical com o EEG e atenuação do ruído na UTI**. 2018. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018. DOI: <https://doi.org/10.14393/ufu.di.2018.858>.

ROLLNIK, Jens D.; ALTENMÜLLER, Eckart. Music in disorders of consciousness. **Frontiers in Neuroscience**, Lausanne, v. 8, art. 190, jul. 2014. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnins.2014.00190>.

RUSSELL, James A. A circumplex model of affect. **Journal of Personality and Social Psychology**, Washington, DC, v. 39, n. 6, p. 1161-1178, dez. 1980.

SALIMPOOR, Valorie N.; BENOVOY, Mitchel; LARCHER, Kevin; DAGHER, Alain; ZATORRE, Robert J. Anatomically distinct dopamine release during anticipation and experience of peak emotion to music. **Nature Neuroscience**, New York, v. 14, n. 2, p. 257-262, fev. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1038/nn.2726>.

SCHOMER, Donald L.; LOPES DA SILVA, Fernando H. (ed.). **Niedermeyer's electroencephalography: basic principles, clinical applications, and related fields**. 6. ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2011.

SÖRNMO, Leif; LAGUNA, Pablo. **Bioelectrical signal processing in cardiac and neurological applications**. Amsterdam: Elsevier Academic Press, 2005.

SU, Yan *et al.* A review of artificial intelligence methods enabled music-evoked EEG emotion recognition and their applications. **Frontiers in Neuroscience**, Lausanne, v. 18, art. 1400444, set. 2024. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnins.2024.1400444>.

ZATORRE, Robert J.; SALIMPOOR, Valorie N. From perception to pleasure: music and its neural substrates. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, DC, v. 110, supl. 2, p. 10430-10437, jun. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1301228110>.

ZHANG, Zhihui; FORT, Josep Maria; GIMÉNEZ MATEU, Lluís. Mini review: challenges in EEG emotion recognition. **Frontiers in Psychology**, Lausanne, v. 14, art. 1289816, jan. 2024. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1289816>.

Repetição espaçada na educação em TI: uma abordagem para aumentar a retenção de conhecimento

Spaced repetition in IT education: an approach to increase knowledge retention

ISADORA CAROLINE FREITAS HANSEN

Discente de Sistemas de Informação (UNIPAM)

isadora.hansen10@gmail.com

JULIANA LILIS DA SILVA

Professora orientadora. (UNIPAM)

juliana@unipam.edu.br

Resumo: Este artigo apresenta o desenvolvimento de um software educacional baseado na técnica de Repetição Espaçada (RE), com o objetivo de aprimorar a retenção de conhecimento entre estudantes da área de Tecnologia da Informação (TI). A pesquisa parte da Curva do Esquecimento de Ebbinghaus e explora algoritmos como SuperMemo e Sistema Leitner, aplicados em ferramentas como Anki e Duolingo. O desenvolvimento envolveu revisão bibliográfica, definição de requisitos, prototipação com Figma, desenvolvimento com React Native e TypeScript, e estruturação de banco de dados com PostgreSQL. Os resultados demonstram que a aplicação da RE, aliada a tecnologias educacionais, contribui significativamente para a memorização de longo prazo, especialmente em contextos de alta demanda cognitiva. O estudo reforça a importância de soluções personalizadas e escaláveis para o ensino de TI, destacando o potencial da RE como estratégia eficaz de aprendizagem.

Palavras-chave: Repetição Espaçada; Tecnologia da Informação; Aprendizagem Ativa; SuperMemo; Ensino de Computação.

Abstract: This article presents the development of educational software based on the Spaced Repetition (SR) technique, with the aim of improving knowledge retention among students in the field of Information Technology (IT). The research is grounded in Ebbinghaus's Forgetting Curve and explores algorithms such as SuperMemo and the Leitner System, applied in tools such as Anki and Duolingo. The development process involved a literature review, requirements definition, prototyping with Figma, development using React Native and TypeScript, and database structuring with PostgreSQL. The results demonstrate that the application of SR, combined with educational technologies, contributes significantly to long-term memorization, especially in contexts of high cognitive demand. The study reinforces the importance of customized and scalable solutions for IT education, highlighting the potential of SR as an effective learning strategy.

Keywords: Spaced Repetition; Information Technology; Active Learning; SuperMemo; Computer Science Education.

1 INTRODUÇÃO

A memória é a habilidade que um indivíduo possui de adquirir, guardar e recuperar informações. A repetição é um pilar fundamental para que essa habilidade seja ainda mais eficaz evitando o esquecimento (Mourão Júnior; Faria, 2015). Em 1885, o psicólogo alemão Hermann Ebbinghaus representou graficamente a Curva do Esquecimento, demonstrando a forma natural e progressiva de como as memórias deixam de ser facilmente resgatadas em relação ao tempo (Schimanke *et al.*, 2017). Com seus estudos, Ebbinghaus desenvolveu a técnica de Repetição Espaçada (RE), que se baseia em sessões de revisão com intervalos entre essas e aumento gradual e contínuo do tempo entre as sessões. Por consequência, surgiram várias pesquisas que desenvolveram algoritmos baseados em RE, possibilitando a otimização do método de aprendizagem.

Em 2009, a Universidade da Califórnia divulgou um estudo com dados que apontavam que um norte-americano consome em média 34 gigabytes de informação em um dia fora do trabalho (Americanos..., 2009). Diante de um cenário em que a tendência do aumento do consumo de informação torna-se cada vez maior, é inevitável enfrentar os desafios associados ao excesso de informação. Esse bombardeio de informação pode levar a dificuldades na tomada de decisões, redução na produtividade e aumento do estresse. Segundo artigo publicado na *Exame* por Mantovani (2022), o excesso de informação pode ser prejudicial, pois o cérebro humano não é capaz de processar tanta informação de forma eficiente, gerando, dessa forma, uma sensação de sobrecarga e confusão.

Nesse contexto, a sobrecarga de informações durante a vida acadêmica, especialmente em cursos que lidam com a constante evolução e o surgimento de novas ferramentas, como o de Tecnologia da Informação (TI), pode dificultar a assimilação de informação e retenção de conhecimento. A aplicação de RE, junto de seus algoritmos, torna-se uma ferramenta relevante para que alunos superem a curva de aprendizagem garantindo eficiência no domínio de conteúdos técnicos essenciais, como engenharia de software, linguagens de programação e frameworks.

Portanto, torna-se significativo o desenvolvimento de uma ferramenta que assista estudantes e profissionais na priorização de informações relevantes, melhorando a retenção deste conhecimento, com um ambiente que auxilie os usuários no processo de uma aprendizagem mais sustentável e eficaz. Em vista disso, a pergunta norteadora deste estudo foi: de que forma a técnica de repetição espaçada pode aprimorar a retenção de conhecimento entre estudantes de Tecnologia da Informação?

Diante dessa realidade, esta proposta teve como objetivo geral desenvolver um software educacional que utilizasse a técnica de repetição espaçada para aprimorar a aprendizagem e retenção de informações por estudantes da área de tecnologia da informação, promovendo uma memorização mais eficaz e duradoura dos conteúdos estudados.

Para alcançar esse objetivo, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos: identificar trabalhos e extrair dados sobre a temática de repetição espaçada; contribuir para o desenvolvimento de ferramentas educacionais na área de tecnologia da informação, definindo requisitos, modelagem e prototipação do software;

desenvolver uma aplicação que promova a retenção de conhecimento a longo prazo e facilite o processo de estudo de alunos de tecnologia da informação, aplicando algoritmos de repetição espaçada ao sistema; criar um sistema escalável e promover a disseminação de conhecimento.

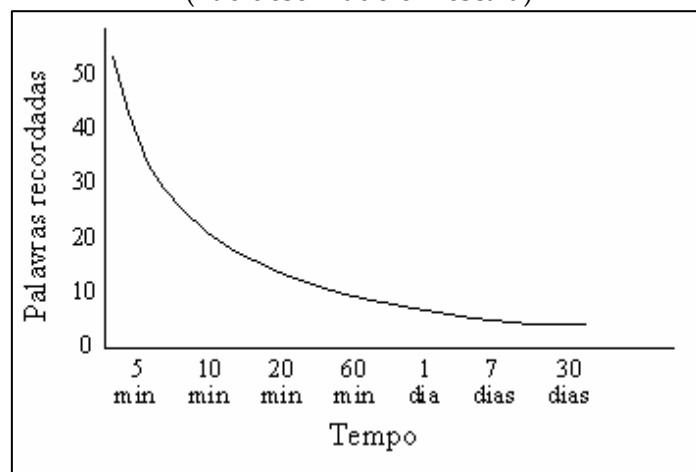
2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

Esta seção aborda a revisão de literatura, fornecendo uma visão geral do estado atual do conhecimento sobre o tema pesquisado. São discutidos trabalhos com o intuito de analisar temas abordados.

2.1 REPETIÇÃO ESPAÇADA

O esquecimento, segundo Pergher e Stein (2003), é o evento que ocorre quando uma informação não está mais disponível para ser resgatada e lembrada. Entre os diversos estudos sobre a memória que surgiram ao longo dos anos, Hermann Ebbinghaus foi um precursor no fim do século XIX, que buscou ilustrar de forma gráfica o fenômeno do esquecimento, o processo de como as memórias deixam de ser armazenadas. O gráfico que representa a curva do esquecimento de Ebbinghaus, apresentado na Figura 1, demonstra o percentual de retenção de uma informação em função do tempo após o momento em que esta foi adquirida. A curva do esquecimento é mais acentuada quando a memória é criada e diminui rapidamente com o passar do tempo (Pergher; Stein, 2003).

Figura 1: Curva hipotética do esquecimento segundo Ebbinghaus (não desenhado em escala)



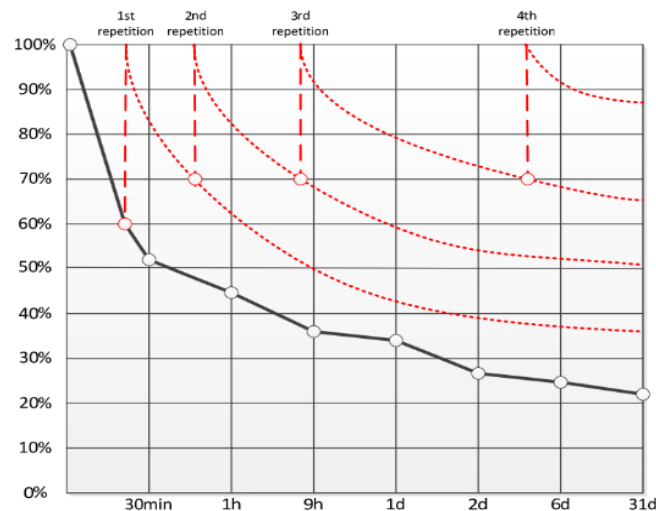
Fonte: Pergher; Stein, 2003.

Entender a ideia de curva do esquecimento é fundamental para se chegar ao conceito de repetição espaçada, uma técnica que aproveita as tendências do cérebro de reter com maior eficiência informação quando estas são revisadas em intervalos de tempo variáveis, assim com a aplicação do método “em cada repetição pode-se observar que a curva do esquecimento é reiniciada e passa a ficar mais plana com o passar do

REPETIÇÃO ESPAÇADA NA EDUCAÇÃO EM TI: UMA ABORDAGEM PARA AUMENTAR A RETENÇÃO DE CONHECIMENTO

tempo” (Jacinto, 2024, p. 29). Na Figura 2, esse comportamento pode ser observado, demonstrando que, a cada revisão realizada após o primeiro momento da aprendizagem, a informação é consolidada na memória a longo prazo.

Figura 2: Alteração da curva do esquecimento por repetição segundo Ebbinghaus (1885 *apud* Shimanke *et. al* 2017)



Fonte: Ebbinghaus (1885 *apud* Shimanke *et. al* 2017).

Portanto, a utilização da RE se torna uma abordagem eficaz para maximizar a retenção e consolidação de informação ao longo do tempo. É uma ferramenta funcional para estudantes e profissionais que buscam otimizar suas estratégias de aprendizagem.

2.2 APLICAÇÕES PRÁTICAS DO MÉTODO DE REPETIÇÃO ESPAÇADA

A RE é mais do que um conceito teórico; ela pode ser aplicada de forma prática em diversas rotinas de estudo, como na educação formal, no ensino superior, no estudo de idiomas e em ambientes que necessitem de aprendizagem contínua. A aplicação da RE pode ser de maneira tradicional, com papel e caneta, ou com ajuda da tecnologia, por meio de aplicativos web e mobile. As maneiras mais comuns em rotinas de estudo incluem o uso de resumos, mapas mentais e *flashcards* (cartões de memória), que são revisados periodicamente, assim, o próprio estudante define o tempo entre uma revisão e outra (Jacinto, 2024).

Alguns aplicativos, como o Anki e o Duolingo, utilizam a repetição espaçada para ajudar seus usuários a armazenar o conteúdo na memória de longo prazo. O Anki se baseia na criação de *flashcards* digitais com perguntas e respostas, nos quais cada revisão permite ao usuário avaliar o nível de dificuldade para lembrar daquele cartão, desta forma o aplicativo utiliza uma versão adaptada de um dos principais algoritmos de RE, o SuperMemo. Já o Duolingo usa o método em suas lições de revisão, com o intuito de que os usuários revisem elementos de gramática e vocabulário, aumentando assim as taxas de retenção do idioma em estudo (Jacinto, 2024).

2.3 ALGORITMOS DE REPETIÇÃO ESPAÇADA

Existem algumas variações de algoritmos de RE, como o SuperMemo e o Sistema Leitner, que permitem uma implementação eficaz dessa técnica. Esses algoritmos calculam os intervalos ideais para revisões com base no desempenho do usuário, ajustando automaticamente os períodos de revisão para maximizar a retenção de informações.

2.3.1 SuperMemo

O SuperMemo (SM) é uma das representações mais conhecidas de algoritmos de repetição espaçada, que serve como base para outros algoritmos, como os usados nos aplicativos Mnemosyne ou Anki (Schimanke *et al.*, 2013). Criado na década de 1980 por Piotr Wozniak durante seu mestrado em Ciências da Computação, com o intuito de otimizar o SM, desenvolveu várias versões. Seu nome deriva-se de “Super Memory” e as versões do algoritmo recebem o nome da sigla de abreviação “SM” juntamente de um número que identifica qual a sua variação (Jacinto, 2024).

Segundo Jacinto (2024), a versão mais popular do algoritmo Supermemo, a SM2, leva em consideração diferentes variáveis para calcular o intervalo de tempo entre repetições de um tópico para revisão. Levando em conta valores como a quantidade de vezes que uma informação foi apresentada e o desempenho do estudante em revisões anteriores, espera-se que a memorização a longo prazo seja mais efetiva.

2.3.2 Sistema Leitner

Entre as formas tradicionais de repetição espaçada, destaca-se o Sistema Leitner (SL), criado em 1970 por Sebastian Leitner. O SL utiliza uma coleção de flashcards organizados em caixas de cinco níveis, aplicando a técnica de RE para a revisão dos cartões (Cruz, 2020).

Cartões no nível 1 são revisados diariamente. Quando o conteúdo é perfeitamente assimilado, os cartões passam para o nível 2. À medida que um cartão avança de nível, o intervalo entre as revisões aumenta. Quando as informações são totalmente absorvidas, o cartão é promovido ao nível seguinte e o tempo entre revisões se torna maior. Porém, caso perceba-se que o assunto presente em um cartão necessita de mais revisões, ou seja, que aquele *flashcard* não foi completamente assimilado, ele retorna a um nível anterior para garantir a memorização adequada (Cruz, 2020).

3 METODOLOGIA

Este estudo configura-se como uma pesquisa aplicada, voltada ao desenvolvimento de uma solução prática para um problema real no contexto educacional. Adota uma abordagem qualitativa, ao analisar aspectos relacionados à aprendizagem e à retenção do conhecimento, e descritiva, por detalhar os processos, técnicas e ferramentas utilizadas na criação da aplicação baseada na técnica de repetição

REPETIÇÃO ESPAÇADA NA EDUCAÇÃO EM TI:
UMA ABORDAGEM PARA AUMENTAR A RETENÇÃO
DE CONHECIMENTO

espaçada. Essa escolha metodológica possibilita compreender o impacto da estratégia proposta e orientar a construção do software educacional.

Dessa forma, a etapa inicial foi realizar uma revisão da literatura para avaliar e identificar quais foram as melhores práticas no uso e aplicação de RE no desenvolvimento de tecnologias educacionais. Essa fase envolveu a análise de artigos acadêmicos, estudos de caso e relatórios técnicos. Com base nas descobertas da revisão, foram definidos os requisitos funcionais e não funcionais do aplicativo. Em seguida, foi elaborado um protótipo utilizando metodologias de design centrado no usuário e *frameworks* para o desenvolvimento da aplicação, como React Native.

O gerenciamento do desenvolvimento da pesquisa se deu pelo sistema de quadros kanban, por meio da aplicação Trello, que permitiu visualizar e organizar as tarefas de forma eficiente, facilitando o acompanhamento do progresso e a identificação de gargalos.

O Quadro 1 apresenta as ferramentas que foram essenciais para o desenvolvimento do trabalho. O Trello foi usado para gerenciamento de tarefas e o Figma para prototipação. O código foi versionado no GitHub, e a aplicação foi desenvolvida com TypeScript e React Native, garantindo suporte para Android e iOS, além disso, PostgreSQL foi utilizado para o banco de dados.

Quadro 1: Ferramentas para o desenvolvimento do artigo

Ferramenta	Descrição
Trello	Plataforma de gerenciamento de projetos baseada em Kanban, que permite organizar tarefas, atribuir responsabilidades, definir prazos e acompanhar o progresso do projeto.
Figma	Ferramenta de design para a criação de interfaces, wireframes e protótipos interativos.
GitHub	Plataforma de controle de versão e colaboração em desenvolvimento de software, que permite armazenar código e gerenciar repositórios.
TypeScript	Linguagem de programação amplamente utilizada para desenvolvimento web, permitindo criar aplicações interativas e dinâmicas no navegador e no servidor, sendo essencial para projetos front-end e back-end.
React Native	Framework de código aberto que permite o desenvolvimento de aplicações móveis nativas para Android e iOS a partir de uma única base de código em JavaScript.
PostgreSQL	Sistema de gerenciamento de banco de dados relacional de código aberto, robusto e escalável, que oferece suporte a consultas complexas, integridade dos dados e extensões avançadas para aplicações de pequeno a grande porte.

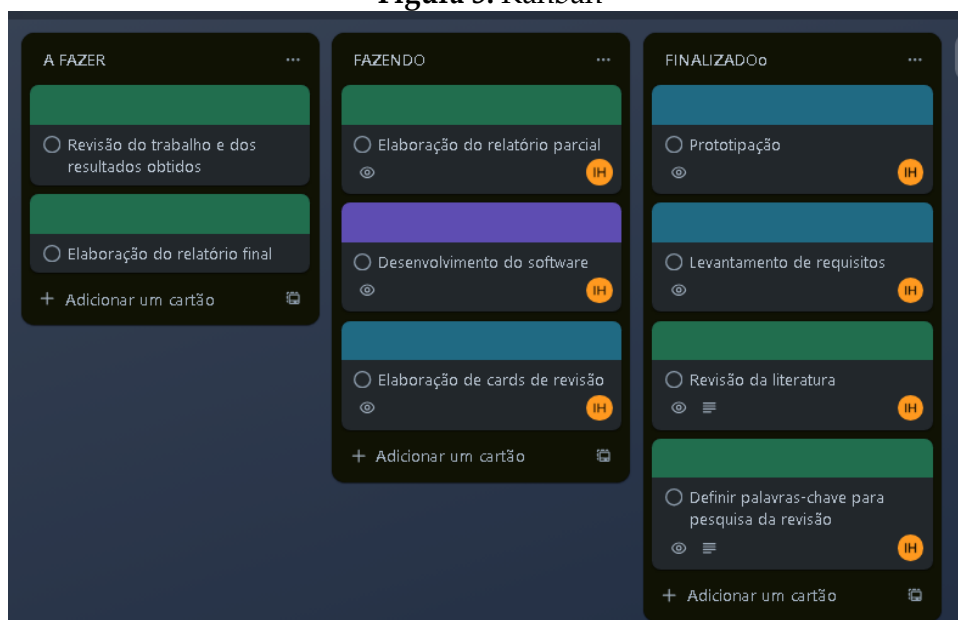
Fonte: elaborado pelas autoras, 2025.

Após a fase de desenvolvimento, o aplicativo foi submetido a testes de validação interna, incluindo testes unitários, de integração e de usabilidade, para assegurar que todas as funcionalidades operem conforme especificado.

4 DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

Para o desenvolvimento do trabalho, a princípio, as atividades foram divididas e separadas em um quadro Kanban no aplicativo Trello, como apresentado na Figura 3. Essa ferramenta possibilitou a organização das tarefas em diferentes etapas de desenvolvimento, favorecendo a visualização do fluxo de trabalho e o monitoramento das atividades concluídas, em andamento e pendentes. Dessa forma, foi possível otimizar a gestão do tempo, assegurando maior controle sobre a evolução da aplicação.

Figura 3: Kanban



Fonte: elaborado pelas autoras, 2025.

Em seguida, foi realizada uma revisão da literatura com o intuito de identificar as principais abordagens adotadas atualmente na utilização da repetição espaçada para fins educacionais. Com base nos estudos analisados, a definição dos requisitos para o desenvolvimento da aplicação foi fortemente influenciada por pesquisas que demonstram a eficácia da repetição espaçada em ambientes de aprendizagem. O artigo de Kriukova *et al.* (2024), por exemplo, evidenciou melhorias significativas em vocabulário, gramática e motivação entre estudantes de inglês na Ucrânia, utilizando ferramentas como Anki e Duolingo, que aplicam algoritmos de repetição espaçada. Esses resultados reforçam a importância de incorporar funcionalidades como *flashcards* e revisões periódicas no protótipo da plataforma educacional. O estudo de Mota *et al.* (2016) apresenta um sistema acadêmico baseado no Sistema Leitner, com foco na memorização a longo prazo, o que serviu como referência prática para a estruturação da

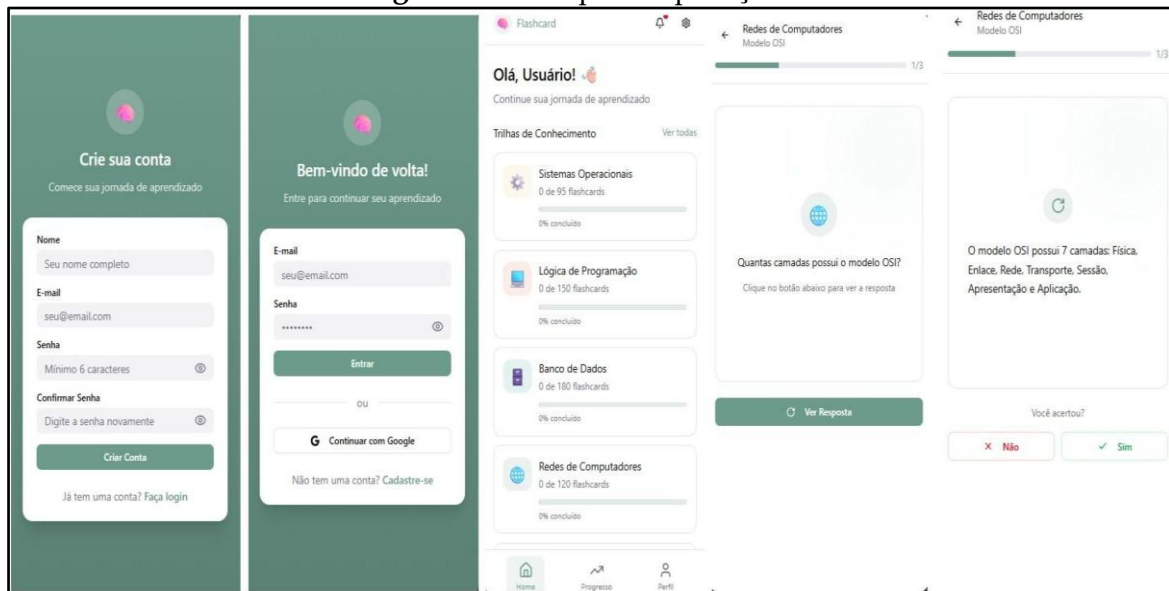
REPETIÇÃO ESPAÇADA NA EDUCAÇÃO EM TI: UMA ABORDAGEM PARA AUMENTAR A RETENÇÃO DE CONHECIMENTO

interface intuitiva e das funcionalidades essenciais do aplicativo desenvolvido, voltado para estudantes de Tecnologia da Informação.

Além disso, o artigo de McHugh *et al.* (2021) destaca os benefícios da repetição espaçada adaptativa, que otimiza o tempo de estudo ao priorizar itens mais difíceis, reforçando a necessidade de algoritmos inteligentes na plataforma. Por fim, o estudo de Wollstein e Jabbour (2024) sobre aplicações médicas da repetição espaçada evidenciou a eficácia da técnica na superação da curva do esquecimento, especialmente quando combinada com o efeito de teste.

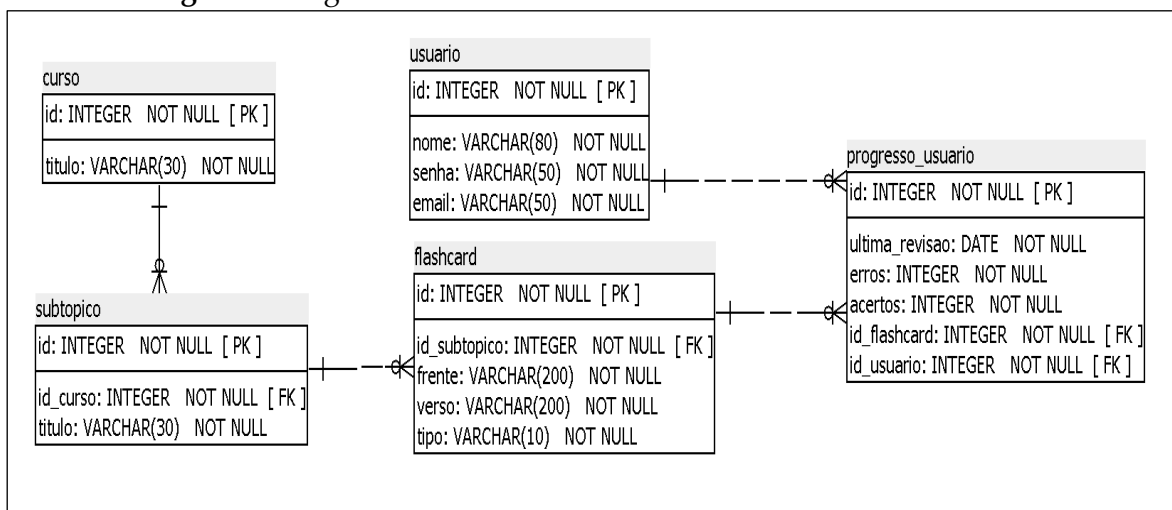
A partir desse levantamento, elaborou-se um protótipo visual, utilizando a ferramenta Figma, que reúne as funcionalidades essenciais da plataforma, estruturada para atender às demandas dos estudantes de Tecnologia da Informação. O protótipo, como representado na Figura 4, apresenta uma interface intuitiva e alinhada à aplicação da técnica de repetição espaçada com *flashcards*, visando facilitar a memorização e o aprendizado contínuo.

Figura 4: Protótipo da aplicação



Fonte: elaborado pelas autoras, 2025.

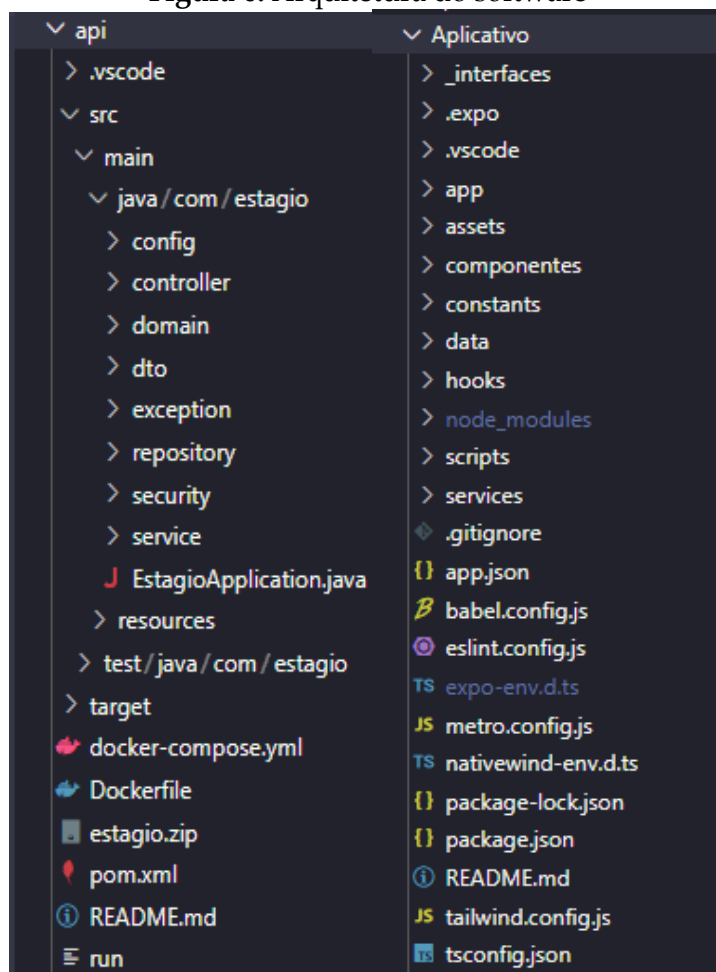
Dando sequência ao processo de desenvolvimento, foi necessário estruturar adequadamente os dados que sustentam as funcionalidades da aplicação. Para isso, elaborou-se um diagrama de banco de dados relacional, fundamentado em estudos que evidenciam a importância da organização da informação em sistemas educacionais. O trabalho de Mota *et al.* (2016) foi especialmente relevante, ao apresentar um sistema acadêmico baseado em *flashcards*, exigindo uma modelagem capaz de registrar o progresso dos usuários, os níveis de revisão e o conteúdo dos cartões. Esses elementos foram incorporados ao modelo relacional da aplicação, conforme ilustrado na Figura 5, garantindo suporte à lógica dos algoritmos de repetição espaçada e à consolidação da memória de longo prazo.

Figura 5: Diagrama entidade relacionamento do banco de dados

Fonte: elaborado pelas autoras, 2025.

Com a estrutura de dados definida, a próxima etapa consistiu na escolha da arquitetura de software. Optou-se pela arquitetura em camadas, representada na Figura 6, por sua capacidade de organizar a aplicação em níveis distintos de responsabilidade, camada de apresentação, lógica de negócio e acesso a dados. Essa abordagem favorece a modularidade, facilitando a manutenção, escalabilidade e reutilização de componentes. Para o desenvolvimento da interface móvel, foi utilizada a tecnologia React Native com Expo, que permite a criação de aplicações multiplataforma com alto desempenho e experiência nativa. No *back-end*, adotou-se o *framework* Java Spring Boot, que oferece uma estrutura robusta e produtiva para a construção de APIs RESTful.

Figura 6: Arquitetura do software



Fonte: elaborado pelas autoras, 2025.

Complementando a arquitetura, a aplicação foi estruturada com base em serviços REST (Transferência de Estado Representacional), que possibilitam uma comunicação eficiente entre o *front-end* e o *back-end* por meio de requisições HTTP padronizadas. Essa abordagem, ilustrada na Figura 7, garante interoperabilidade, flexibilidade na integração com outras plataformas e maior controle sobre os recursos da aplicação. É especialmente adequada para sistemas que exigem atualizações frequentes de dados relacionados ao desempenho e progresso dos usuários.

Figura 7: Endpoints HTTP

GET /flashcards/subtopico/{subtopicoId}	usuario-controller
curso-controller	GET /usuarios/{id}
GET /cursos/{id}	PUT /usuarios/{id}
PUT /cursos/{id}	DELETE /usuarios/{id}
DELETE /cursos/{id}	GET /usuarios
GET /cursos	POST /usuarios
POST /cursos	subtopico-controller
progresso-usuario-controller	GET /subtopicos/{id}
POST /progresso/revisao	PUT /subtopicos/{id}
GET /progresso	DELETE /subtopicos/{id}
GET /progresso/{usuarioId}/metrics	GET /subtopicos
GET /progresso/{usuarioId}/fila	POST /subtopicos
GET /progresso/{id}	GET /subtopicos/curso/{cursoId}
DELETE /progresso/{id}	flashcard-controller
auth-controller	GET /flashcards/{id}
POST /auth/register	PUT /flashcards/{id}
POST /auth/login	DELETE /flashcards/{id}
	GET /flashcards
	POST /flashcards

Fonte: elaborado pelas autoras, 2025.

Para operacionalizar a técnica de repetição espaçada, foi implementado um algoritmo SuperMemo simplificado, baseado no modelo SM-2, amplamente utilizado em ferramentas como Anki. Esse algoritmo, representado na Figura 8, calcula o intervalo ideal entre revisões com base no desempenho do usuário em cada sessão de estudo, ajustando dinamicamente o tempo até a próxima revisão conforme o nível de dificuldade percebido e a taxa de acerto. A lógica foi integrada à camada de negócio da aplicação, promovendo uma experiência personalizada e eficiente de aprendizagem.

Figura 8: Algoritmo SuperMemo

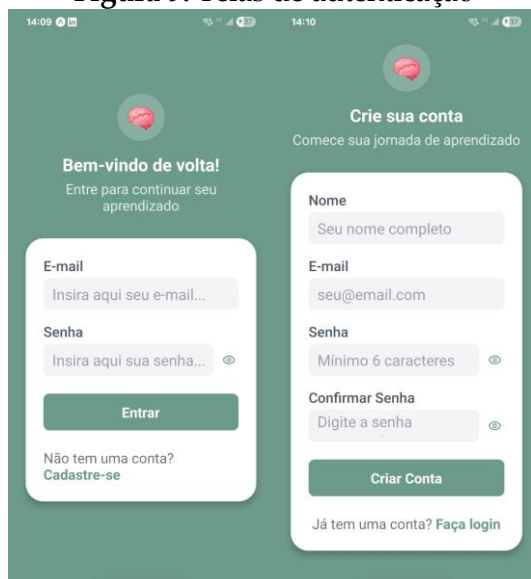
```
private ProgressoUsuario SM2(ProgressoUsuario progresso) {  
    double ef = progresso.getEasinessFactor() != null ? progresso.getEasinessFactor() : 2.5;  
    int repeticoes = progresso.getRepeticoesConsecutivas() != null ?  
    progresso.getRepeticoesConsecutivas() : 0;  
    int qualidade = progresso.getEficacia() != null ? progresso.getEficacia().intValue() : 0;  
    if (qualidade >= 3) {  
        if (repeticoes == 0) {  
            progresso.setIntervaloDias(1);  
        } else if (repeticoes == 1) {  
            progresso.setIntervaloDias(6);  
        } else {  
            progresso.setIntervaloDias((int) Math.round(progresso.getIntervaloDias() * ef));  
        }  
        repeticoes++;  
    } else {  
        repeticoes = 0;  
        progresso.setIntervaloDias(1);  
    }  
    ef = Math.max(1.3, ef + (0.1 - (5 - qualidade) * (0.08 + (5 - qualidade) * 0.02)));  
    progresso.setEasinessFactor(ef);  
    progresso.setRepeticoesConsecutivas(repeticoes);  
    progresso.setUltimaRevisao(LocalDateTime.now());  
    progresso.setProximaRevisao(LocalDateTime.now().plusDays(progresso.getIntervaloDias()));  
    return progresso;  
}
```

Fonte: elaborado pelas autoras, 2025.

O algoritmo ajusta dinamicamente o intervalo de revisão de cada *flashcard* com base no desempenho do usuário. A cada resposta, o algoritmo avalia a qualidade da recordação (variando de 0 a 5), atualiza o fator de facilidade (*Easiness Factor* – EF) e calcula o próximo intervalo de revisão. Quando o usuário acerta com confiança (qualidade ≥ 3), o intervalo cresce progressivamente, sendo 1 dia na primeira repetição, 6 na segunda e, nas seguintes, é multiplicado pelo EF. Caso o desempenho seja insatisfatório (qualidade < 3), o intervalo é reiniciado. Essa adaptação contínua permite que conteúdos bem memorizados sejam revisitados com menos frequência, enquanto itens mais difíceis retornam mais cedo, garantindo eficiência no processo de revisão.

Com a infraestrutura técnica consolidada, foram desenvolvidas as interfaces que compõem a experiência do usuário. As telas de autenticação, apresentadas na Figura 9, contemplam funcionalidades de login e cadastro, com campos para inserção de e-mail, nome de usuário e senha. Validações imediatas e mensagens de erro claras contribuem para a usabilidade, enquanto os *links* para alternância entre entrada e criação de conta facilitam a navegação.

Figura 9: Telas de autenticação



Fonte: elaborado pelas autoras, 2025.

Após a autenticação, o usuário é direcionado à tela inicial, conforme ilustrado na Figura 10, que apresenta um resumo das atividades do dia, incluindo a quantidade de revisões pendentes e uma trilha de estudo sugerida.

Figura 10: Tela inicial



Fonte: elaborado pelas autoras, 2025.

Para apoiar o acompanhamento do progresso, a aplicação oferece um painel de métricas de desempenho, representado na Figura 11, que exibe indicadores como taxa de acertos, sequência de revisões, tempo total de estudo e data da última atividade. As métricas podem ser visualizadas de forma segmentada por curso, auxiliando o usuário

REPETIÇÃO ESPAÇADA NA EDUCAÇÃO EM TI: UMA ABORDAGEM PARA AUMENTAR A RETENÇÃO DE CONHECIMENTO

na identificação de pontos de melhoria e na gestão eficiente do tempo de estudo.

Figura 11: Métricas de desempenho



Fonte: elaborado pelas autoras, 2025.

Para apoiar o acompanhamento do progresso, a aplicação oferece um painel de métricas de desempenho, representado na Figura 11, que exibe indicadores como taxa de acertos, sequência de revisões (*streak*), tempo total de estudo e data da última atividade. As métricas podem ser visualizadas de forma geral ou segmentadas por curso, auxiliando o usuário na identificação de pontos de melhoria e na gestão eficiente do tempo de estudo.

Figura 12: Fluxo de revisão



Fonte: elaborado pelas autoras, 2025.

Os gráficos apresentados na Figura 13 ilustram o desempenho do usuário dentro do sistema. O primeiro painel mostra o crescimento médio do intervalo e o intervalo médio de revisão, indicando que, a cada acerto, o tempo entre revisões aumenta, refletindo uma consolidação progressiva da memória. O gráfico de Evolução da retenção representa o quanto o usuário tem conseguido manter o conteúdo ao longo das revisões, evidenciando o fortalecimento da recordação com o avanço das repetições. Já o gráfico de Distribuição dos intervalos revela a quantidade de *flashcards* em cada fase do ciclo, indicando a proporção de revisões agendadas para curto, médio e longo prazo, o que permite avaliar em que estágio do processo de aprendizagem o usuário se encontra.

Figura 13: Tela de desempenho do usuário



Fonte: elaborado pelas autoras, 2025.

Dessa forma, os resultados observados na Figura 13 demonstram a efetividade do uso do algoritmo de repetição espaçada na consolidação do aprendizado. A análise dos indicadores e dos gráficos evidencia que o sistema é capaz de ajustar dinamicamente os intervalos de revisão conforme o desempenho do usuário, promovendo uma retenção mais duradoura e eficiente.

5 CONCLUSÃO

Apesar dos avanços obtidos com o desenvolvimento da ferramenta, alguns impedimentos técnicos e operacionais foram enfrentados ao longo do processo. A curva de aprendizagem associada às tecnologias adotadas exigiu tempo e dedicação. A implementação do algoritmo SuperMemo simplificado também apresentou desafios,

sobretudo na adaptação da lógica de espaçamento às estruturas relacionais do banco de dados e à dinâmica de revisão proposta.

Além disso, restrições de tempo e recursos limitaram a inclusão de funcionalidades complementares, como a implantação de mecanismos de avaliação para validação do conhecimento do usuário e a realização de testes com participantes reais, o que comprometeu a validação completa da experiência de uso. Esses obstáculos evidenciam a complexidade envolvida na construção de soluções educacionais baseadas em algoritmos de repetição espaçada e reforçam a necessidade de aperfeiçoamentos contínuos e estudos adicionais para ampliar o potencial da ferramenta em contextos educacionais diversos.

Essa reflexão se alinha aos resultados da presente pesquisa, que evidenciou o potencial da técnica de Repetição Espaçada como uma estratégia eficaz para aprimorar a retenção de conhecimento entre estudantes da área de Tecnologia da Informação. A partir da revisão teórica e da análise de aplicações práticas, foi possível compreender como a RE atua na consolidação da memória de longo prazo, especialmente em contextos de alta demanda cognitiva e constante atualização de conteúdos, como é o caso da TI.

O desenvolvimento do *software* educacional proposto demonstrou que a integração de algoritmos de RE, como o SuperMemo, pode oferecer aos estudantes uma ferramenta personalizada e escalável, capaz de otimizar o processo de aprendizagem.

Dessa forma, conclui-se que a aplicação da Repetição Espaçada, aliada ao uso de tecnologias, representa uma abordagem promissora para enfrentar os desafios e promover uma aprendizagem mais eficiente.

REFERÊNCIAS

CRUZ, F. E. **Sistema de Repetição Espaçada**: uma estratégia para o ensino da Matemática no ensino médio através do Anki. 2020. Dissertação (Mestrado em Matemática) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas, Vitória da Conquista, BA, 2020.

AMERICANOS consomem em média 34 GB diários de informação, diz estudo. **G1**, 09 dez. 2009. Disponível em: <https://g1.globo.com/Noticias/Tecnologia/0,,MUL1409219-6174,00.html>.

JACINTO, A. S. **Uma abordagem da metodologia de repetição espaçada para o ensino de linguagens de marcação e script**. 2024. Dissertação (Mestrado em em Tecnologia da Informação) - Instituto Federal da Paraíba, João Pessoa, 2024.

MANTOVANI, F. Infoxicação: como frear o excesso de informação. **Exame**, 29 jul. 2022. Disponível em: <https://exame.com/colunistas/sua-carreira-sua-gestao/infoxicacao-como-frear-o-excesso-de-informacao/>.

McHUGH, D.; FEINN, R.; McILVENNA, J.; TREVITHICK, M. A random controlled trial to examine the efficacy of blank slate: a novel spaced retrieval tool with real-time learning analytics. **Education Sciences**, Basel, v. 11, n. 3, p. 90, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2227-7102/11/3/90>. DOI: <https://doi.org/10.3390/educsci11030090>.

MOTA, C. D.; CARDOSO, F. F.; SILVA, J. C.; COSTA, M. P.; SANTOS, R. **Desenvolvimento de sistema para melhorar a memorização a longo prazo, utilizando a técnica de repetição espaçada**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Sistemas de Informação) – FAI – Centro de Ensino Superior em Gestão, Tecnologia e Educação. Disponível em: <https://deposita.ibict.br/handle/deposita/306>.

MOURÃO JÚNIOR, C. A.; FARIA, N. C. Memória. **Psicologia: Reflexão e Crítica**. vol. 28 n. 4. Porto Alegre. Outubro de 2015. p. 780-788.

PERGHER, G. K.; STEIN, L. M. **Compreendendo o esquecimento**: teorias clássicas e seus fundamentos experimentais. *Psicologia USP*, v. 14, n. 1, p. 129-155, 2003.

SCHIMANKE, F.; MERTENS, R.; VORNBERGER, O.; VOLLMER, S. Multi Category Content Selection in Spaced Repetition Based Mobile Learning Games. *In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE MULTIMÍDIA IEEE*, 2013, Anaheim, CA, EUA. **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ISM.2013.90>.

SCHIMANKE, F.; HILL L.; MERTENS, R. **A unit testing framework for context variant code in a mobile learning App**. 2017. IEEE International Symposium on Multimedia. 13 de dezembro de 2017.

WOLLSTEIN, Y.; JABBOUR, N. Spaced Effect Learning and Blunting the Forgetfulness Curve. **Ear, Nose & Throat Journal**, [S. l.], v. 101, n. 9 Suppl, p. 42S-46S, nov. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/01455613231163726>.

Sistema de gerenciamento de atividades cotidianas de profissionais da área de segurança do trabalho

System for managing daily activities of occupational safety professionals

JÚLIA VASCONCELOS CAIXETA RIBEIRO

Discente de Sistemas de Informação (UNIPAM)

juliasvasconceloscr@unipam.edu.br

JULIANA LILIS DA SILVA

Professora orientadora (UNIPAM)

juliana@unipam.edu.br

Resumo: O artigo descreve o desenvolvimento de um sistema para otimizar a gestão da segurança do trabalho, com foco na centralização de informações e na análise de riscos ocupacionais. A proposta busca modernizar os processos da área, oferecendo maior precisão, organização e agilidade na gestão de dados relacionados à saúde e segurança dos trabalhadores. A solução apoia profissionais na identificação, monitoramento e mitigação de riscos, auxiliando na tomada de decisão. Para isso, adotou-se uma abordagem exploratória, descritiva e aplicada, orientando o levantamento de requisitos e o desenvolvimento do sistema. A aplicação foi construída com arquitetura de microsserviços, garantindo escalabilidade, flexibilidade e independência entre módulos, utilizando tecnologias como Spring Boot e Angular. Os resultados demonstram que o sistema atende às necessidades identificadas, promovendo integração entre Recursos Humanos e Segurança do Trabalho e contribuindo para uma gestão mais eficiente e preventiva, alinhada às normas regulamentadoras.

Palavras-chave: segurança do trabalho; microsserviços; gestão de riscos; arquitetura de *software*.

Abstract: This article describes the development of a system designed to optimize occupational safety management, focusing on the centralization of information and the analysis of occupational risks. The proposal seeks to modernize processes in the field by providing greater accuracy, organization, and agility in the management of data related to workers' health and safety. The solution supports professionals in identifying, monitoring, and mitigating risks, assisting in decision-making. To this end, an exploratory, descriptive, and applied approach was adopted, guiding requirements elicitation and system development. The application was built using a microservices architecture, ensuring scalability, flexibility, and independence among modules, and employing technologies such as Spring Boot and Angular. The results demonstrate that the system meets the identified needs, promoting integration between Human Resources and Occupational Safety and contributing to more efficient and preventive management aligned with regulatory standards.

Keywords: occupational safety; microservices; risk management; software architecture.

1 INTRODUÇÃO

A tecnologia tem se tornado cada vez mais presente no ambiente profissional, impulsionando a modernização e a otimização de diversos setores. Entre essas inovações, os sistemas de gerenciamento de atividades têm sido amplamente adotados, permitindo a centralização e a organização eficiente de dados que, de outra forma, estariam dispersos em documentos físicos ou planilhas manuais. Esse processo de digitalização facilita o cadastro, a análise de informações e a tomada de decisões, tornando os processos mais ágeis e precisos. Nesse contexto, diferentes setores vêm se adaptando ao avanço tecnológico, especialmente aqueles que lidam com grandes volumes de dados e exigem precisão no gerenciamento de informações.

Entre as áreas que mais se beneficiam da digitalização, a segurança do trabalho se destaca pela necessidade de controle rigoroso e organização no gerenciamento de informações. A tecnologia não apenas otimiza processos administrativos, mas também fortalece a prevenção de acidentes e a conformidade com normas regulamentadoras. Os profissionais desse setor realizam inspeções periódicas, identificam potenciais riscos e implementam medidas corretivas, além de promoverem treinamentos e palestras educativas para conscientizar os funcionários sobre práticas seguras no ambiente de trabalho.

Amparados pelas Normas Regulamentadoras do Ministério do Trabalho, esses profissionais desempenham um papel fundamental na elaboração e execução de programas de prevenção de acidentes. Diante da complexidade e do volume de informações envolvidas, o uso de um sistema de gerenciamento torna-se essencial para proporcionar maior controle, organização e eficiência na execução dessas atividades (Brasil, 2021).

Dessa forma, esta pesquisa responde à seguinte questão norteadora: como a tecnologia pode otimizar a gestão da segurança do trabalho, facilitando a análise de riscos e a tomada de decisões?

Observa-se, neste contexto, que é de grande relevância o desenvolvimento de novas abordagens e aprimoramento de soluções tecnológicas voltadas para a gestão de riscos ocupacionais. Soluções tecnológicas, como o uso de software, podem auxiliar as empresas a terem um maior controle sobre suas atividades diárias, proporcionando uma gestão mais eficiente da segurança no ambiente de trabalho, reduzindo riscos e fortalecendo a conformidade com as normativas vigentes.

Considerando esse cenário, este trabalho teve como objetivo desenvolver uma plataforma integrada para otimizar a gestão da segurança do trabalho, centralizando informações essenciais e disponibilizando ferramentas para uma administração eficiente dos dados ocupacionais. A solução proposta permitiu a organização de informações relacionadas às condições do ambiente de trabalho, fontes geradoras de riscos e funções desempenhadas pelos trabalhadores. A interconexão desses dados possibilitou uma análise mais precisa na avaliação de riscos, facilitando a identificação de padrões, a implementação de medidas preventivas e a tomada de decisões estratégicas para mitigação de acidentes.

Para atingir o objetivo proposto, foram definidos os seguintes objetivos específicos: identificar, junto a profissionais da área de segurança do trabalho, os

requisitos funcionais e não funcionais necessários para o desenvolvimento da plataforma; compreender o processo de análise de riscos na segurança do trabalho; desenvolver um protótipo ilustrativo das telas do sistema; construir uma aplicação capaz de auxiliar na gestão das atividades diárias dos profissionais de segurança do trabalho.

Quanto à metodologia, este trabalho adotou uma abordagem exploratória, descritiva e aplicada, buscando compreender e descrever as necessidades dos profissionais de segurança do trabalho e os desafios enfrentados na gestão de riscos ocupacionais. Com base nesse conhecimento, foi desenvolvida a plataforma proposta.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção são apresentados conceitos e estudos realizados sobre segurança do trabalho e estilos de arquitetura de *software*.

2.1 SEGURANÇA DO TRABALHO

A Segurança do Trabalho refere-se ao conjunto de medidas destinadas a reduzir acidentes laborais e doenças ocupacionais, além de proteger a integridade e a capacidade de trabalho dos colaboradores. Na atualidade, a área de Saúde e Segurança Ocupacional é vista como estratégica para o crescimento e desenvolvimento das empresas. Ela está completamente integrada aos processos e métodos de trabalho, buscando competitividade, qualidade e melhores condições de vida para os trabalhadores, atuando não apenas na adequação de práticas, mas também na promoção de uma cultura de prevenção (Peixoto, 2010).

Os fatores de risco para a saúde e segurança dos trabalhadores podem ser classificados em cinco grandes grupos, conforme a Organização Pan-Americana da Saúde no Brasil. Esses grupos incluem riscos físicos, que envolvem condições ambientais adversas como ruído e radiações; riscos químicos, relacionados a substâncias químicas em diferentes estados físicos; riscos biológicos, envolvendo microrganismos que geralmente afetam profissionais em ambientes hospitalares e agropecuários; riscos ergonômicos e psicossociais, que decorrem da má organização e gestão do trabalho; e riscos de acidentes, que abrangem desde a proteção inadequada de máquinas até a desorganização do ambiente de trabalho (Guimarães *et al.*, 2004).

De acordo com Guimarães *et al.* (2004), esses riscos ocupacionais, frequentemente associados a atividades insalubres e perigosas, podem gerar sérios impactos na saúde dos profissionais, especialmente em ambientes como hospitais, onde o controle sobre agentes biológicos, químicos, físicos e mecânicos é fundamental. Especialistas em Higiene e Segurança do Trabalho destacam que, mais do que conceder adicionais de insalubridade ou periculosidade, é essencial criar condições que tornem o ambiente de trabalho seguro e saudável, prevenindo assim os danos à saúde dos trabalhadores.

2.2 MICROSERVIÇOS

Arquitetura de microsserviços é uma abordagem na qual uma aplicação é constituída por componentes de *software* que se comunicam e são independentes entre si. Cada serviço pode utilizar sua própria tecnologia e ser construído a partir de uma parte do negócio, realizando, dessa forma, uma função específica e bem determinada (Villaça; Pimenta Junior; Azevedo, 2018).

Esses serviços podem se comunicar de várias formas. De acordo com Villaça, Pimenta Junior e Azevedo (2018), a principal delas é por *web services*. Nesse caso, o serviço fica exposto através de um *endpoint*, recebe as requisições de outros serviços, que agem como clientes, e é enviada a resposta, realizando a comunicação. A *web service* SOAP utiliza tecnologias baseadas em XML (*Extensible Markup Language*), enquanto o *web service* REST (*Representational State Transfer*) é baseado em métodos HTTP. No entanto, REST é geralmente mais fácil de usar, pois permite um estilo de design de aplicações mais coeso e menos acoplado, baseado em recursos nomeados.

Na arquitetura de microsserviços, fatores como confiabilidade e tolerância a falhas precisam de atenção, mas podem ser garantidos utilizando estratégias para lidar com a sobrecarga da rede. Os microsserviços representam um modelo arquitetural mais sustentável, embora sua implementação demande um investimento significativo em termos de construção e manutenção, além de exigir um profundo entendimento do problema em questão. Isso faz com que algumas empresas não estejam prontas para adotar esse estilo arquitetural e, conseqüentemente, não possam aproveitar todos os benefícios que ele oferece (Mendes, 2021).

2.3 PADRÃO REST

De acordo com Galindo Junior, Rocha e Maciel (2021), REST é uma arquitetura desenvolvida para sistemas distribuídos baseados em redes, que foi criada por Roy Thomas Fielding, descrita em sua dissertação de doutorado na Universidade da Califórnia, em Irvine. Esse padrão é definido por Fielding (2000) como um conjunto de restrições ou princípios que visam otimizar a estruturação de um sistema, a maneira como os componentes se identificam e se comunicam, a comunicação das informações e a evolução independente dos elementos.

REST é um modelo para organizar os recursos de um sistema web, permitindo uma comunicação padronizada e possibilitando que esses recursos operem de maneira independente. Nesse modelo, o sistema é composto por diversos recursos ou componentes que funcionam autonomamente, facilitando a troca de informações por meio de *web services*. Essa abordagem de particionamento oferece vantagens significativas, pois permite que as partes do sistema evoluam sem afetar o funcionamento geral. Por exemplo, um recurso de gestão de ordens de serviço pode ser aprimorado para incluir um algoritmo de agendamento e até mesmo integrar-se com um serviço de e-mail para enviar notificações de ordens de serviço diretamente ao e-mail do cliente (Galindo Junior; Rocha; Maciel, 2021).

No contexto do modelo de API REST, cada método HTTP tem uma semântica específica e bem definida. O método GET deve ser utilizado para recuperar uma

representação do estado de um recurso, enquanto o HEAD é utilizado para recuperar o metadado associado ao estado do recurso. O método PUT deve ser usado para adicionar um novo recurso a um repositório ou atualizar um recurso existente. O DELETE remove um recurso de sua hierarquia. Já o método POST deve ser utilizado para criar um novo recurso a uma coleção e executar *controllers*. Uma mensagem de requisição POST pode incluir tanto cabeçalhos quanto um corpo como entradas para a função de um *controller* (Masse, 2012).

2.4 QUALIDADE DE *software*

Os seis principais atributos de qualidade de *software* são: Funcionalidade, Confiabilidade, Usabilidade, Eficiência, Manutenibilidade e Portabilidade. De acordo com Vasconcelos *et al.* (2007):

- Funcionalidade: refere-se à capacidade do *software* de atender a necessidades explícitas e implícitas durante seu uso.
- Confiabilidade: diz respeito à sua capacidade de manter o desempenho previsto sob condições especificadas.
- Usabilidade: envolve a facilidade de compreensão, aprendizado, uso e valorização pelo usuário.
- Eficiência: está relacionada ao desempenho adequado em relação aos recursos utilizados.
- Manutenibilidade: representa a facilidade de modificação para correções, melhorias ou adaptações diante de mudanças no ambiente ou nos requisitos.
- Portabilidade: diz respeito à capacidade do *software* de ser transferido entre diferentes ambientes.

No contexto da qualidade de *software*, a implementação dos atributos mencionados pode ser respaldada pelo livro Código Limpo, de Robert C. Martin. Martin (2009) destaca o impacto negativo de um código confuso para as equipes de desenvolvimento e ressalta a importância de um código limpo, detalhando ao longo da obra como implementá-lo de forma padronizada e de fácil manutenção.

Outro fator relacionado com qualidade de *software* e essencial para alcançar esse objetivo é a adoção de testes unitários. Sem uma coleção de testes, os desenvolvedores perdem a capacidade de garantir que o sistema continue funcionando corretamente após modificações no código-fonte, além de não conseguirem assegurar que mudanças em uma parte do sistema não afetem outras (Martin, 2009).

Para Roy Oshero (2013), um teste unitário é um trecho de código que invoca uma unidade de trabalho e verifica um resultado específico dessa unidade. Caso as suposições sobre o resultado esperado estejam incorretas, o teste unitário falha. O escopo de um teste unitário pode variar desde um único método até múltiplas classes. Para ele, um teste unitário deve ser automatizado e repetível, fácil de implementar, relevante no futuro, executado com o pressionar de um botão, rápido, consistente em seus resultados, ter controle total sobre a unidade testada, ser totalmente isolado e, em caso de falha, permitir a fácil detecção do que era esperado e a identificação do problema.

3 METODOLOGIA

Quanto à metodologia, este trabalho adotou uma abordagem exploratória, com o objetivo de proporcionar maior familiaridade com o problema e aprofundar o entendimento sobre as demandas do setor de segurança do trabalho. Esse tipo de pesquisa é especialmente útil em contextos onde há pouco conhecimento consolidado, permitindo identificar variáveis relevantes, levantar hipóteses e direcionar futuras decisões de desenvolvimento. A pesquisa também teve caráter descritivo, ao detalhar os requisitos e processos envolvidos, e aplicado, ao buscar soluções práticas por meio da construção de um sistema voltado à melhoria da gestão de riscos ocupacionais.

Foram utilizadas pesquisas em livros e em sites que continham informações relevantes e atualizadas sobre tecnologia e segurança do trabalho. Além disso, realizou-se um levantamento de requisitos por meio de reuniões com uma consultora da área de segurança do trabalho, a fim de compreender profundamente o problema e encontrar uma solução que atenda às necessidades do mercado.

Para o desenvolvimento do *software* foram utilizados *frameworks* e tecnologias como a linguagem Java e o *framework* Spring Boot, que fornecem um suporte à implementação de sistemas robustos. O editor de código IntelliJ IDEA Community foi utilizado para construir a parte de *back-end* do sistema.

Já para o *front-end* foram utilizadas tecnologias como o *framework* Angular, com a linguagem TypeScript, e o editor de código VSCODE. Foi feita também uma prototipação utilizando o *software* Figma, para que pudesse ser exibida uma visão das páginas, podendo assim, colher *feedbacks* da consultora da área de segurança do trabalho. Para garantir que as soluções propostas atingissem os níveis esperados de funcionalidade, usabilidade e compatibilidade, foram realizados testes unitários.

Por fim, tendo em vista que é de extrema importância manter-se organizado durante o desenvolvimento, deixando os objetivos claros e próximos passos evidentes, foi utilizada a ferramenta Trello. Esse recurso permite a implementação do *framework* Kanban, que auxilia na organização e divisão de tarefas por tempo. Além disso, adotou-se o método de entrega por iterações, que permitiu receber *feedbacks* constantes de um profissional da área de segurança do trabalho a cada entrega de pequeno pacote de desenvolvimento do trabalho, otimizando-o e diminuindo as possibilidades de modificações e manutenções futuras.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS/ DESENVOLVIMENTO

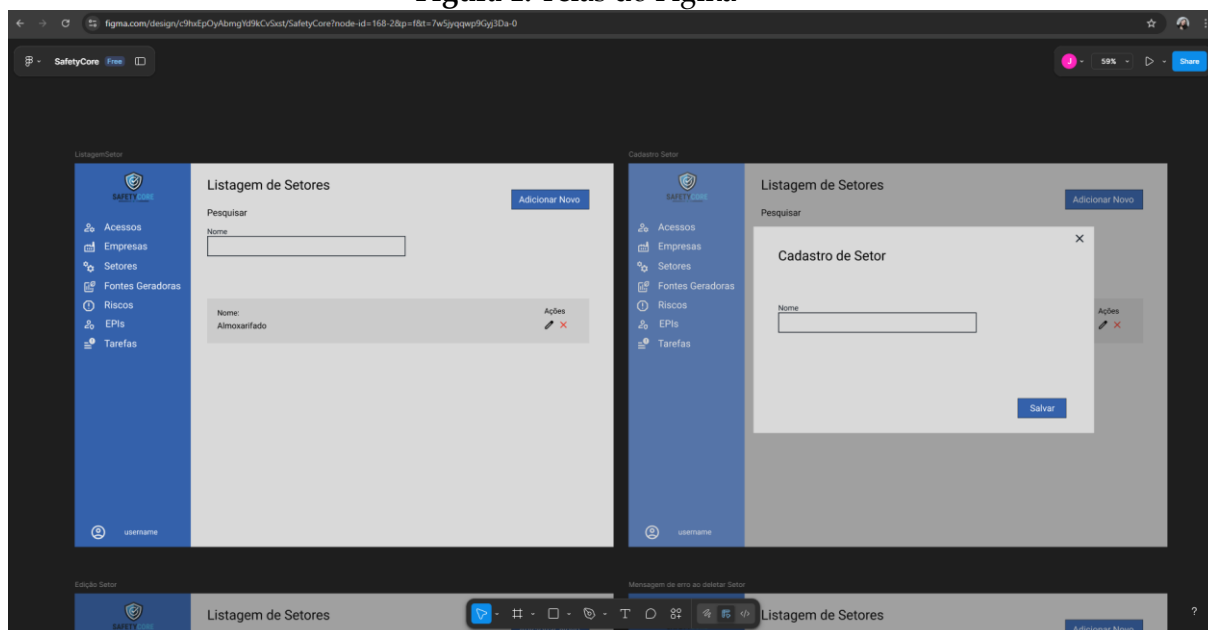
Esta seção tem como objetivo apresentar os resultados obtidos durante o desenvolvimento do sistema. Está organizada em duas partes: a primeira apresenta uma visão geral da aplicação; a segunda aborda a arquitetura adotada e descreve brevemente o processo de construção do sistema.

4.1 VISÃO GERAL DO SISTEMA

O desenvolvimento da aplicação teve início com o levantamento dos principais requisitos do sistema, entre os quais se destacaram a redução de cadastros redundantes, a centralização das informações e a integração entre os módulos de Recursos Humanos e Gestão de Riscos. Além disso, considerou-se essencial que o sistema permitisse o cadastro de várias empresas, atendendo especialmente aos consultores da área de Segurança do Trabalho que necessitam gerenciar múltiplas organizações.

A partir desses requisitos, definiu-se a visão do sistema sob a perspectiva de um consultor de Segurança do Trabalho, capaz de administrar a segurança de empresas, cadastrar diversas organizações e utilizar cadastros básicos, como riscos, funções e fontes geradoras, para vinculá-los a essas empresas. Assim, foram modeladas interfaces no Figma, com o objetivo de atender aos requisitos de forma flexível e intuitiva. Como exemplo, pode-se observar, na Figura 1, a apresentação da funcionalidade de “Listagem de Setores”. Nessa figura, está representado o padrão adotado para as telas da aplicação, com a barra de navegação à esquerda, posicionamento da logomarca da empresa na parte superior e acesso às funcionalidades na parte central da tela.

Figura 1: Telas do Figma



Fonte: elaborado pelas autoras, 2025.

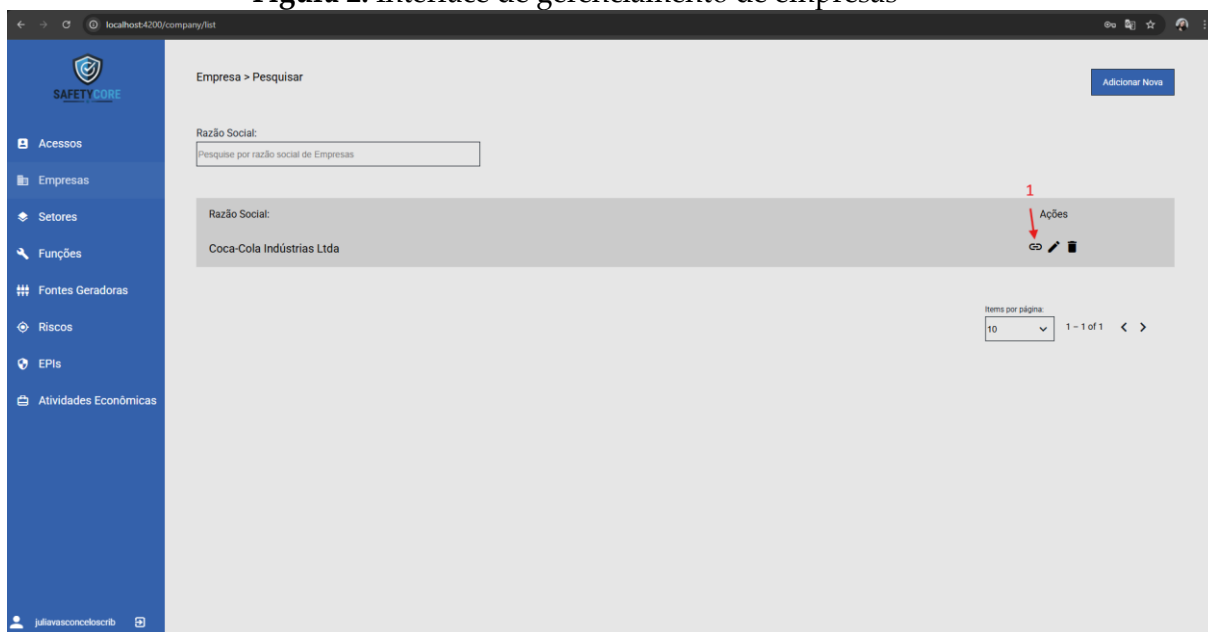
Conforme demonstra a Figura 1, na barra de navegação foram disponibilizados os cadastros básicos. Esses cadastros permitem a inserção de dados que poderão ser utilizados por todas as outras empresas cadastradas. Por exemplo, no caso dos setores, nomes idênticos podem existir em diferentes empresas, como “Almoxarifado”. Para simplificar o processo, o usuário pode acessar a funcionalidade “Setores” e realizar o cadastro uma única vez, reutilizando-o em várias empresas. O mesmo princípio aplica-se aos cadastros de funções, fontes geradoras e Equipamentos de Proteção Individual (EPis).

SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE ATIVIDADES COTIDIANAS DE PROFISSIONAIS DA ÁREA DE SEGURANÇA DO TRABALHO

Após o registro dos cadastros básicos, é necessário realizar os vínculos, etapa fundamental do sistema. Nela, são criadas as associações entre empresas, setores, funções e os riscos correspondentes. Posteriormente, essas informações podem ser relacionadas aos funcionários de cada empresa, permitindo associar de forma simples os trabalhadores aos riscos aos quais estão expostos.

A partir da Figura 2, é possível observar as telas implementadas no sistema. Nesse exemplo, que apresenta o “Gerenciamento de Empresas”, ao selecionar o item 1, o usuário tem acesso à funcionalidade de associações da empresa.

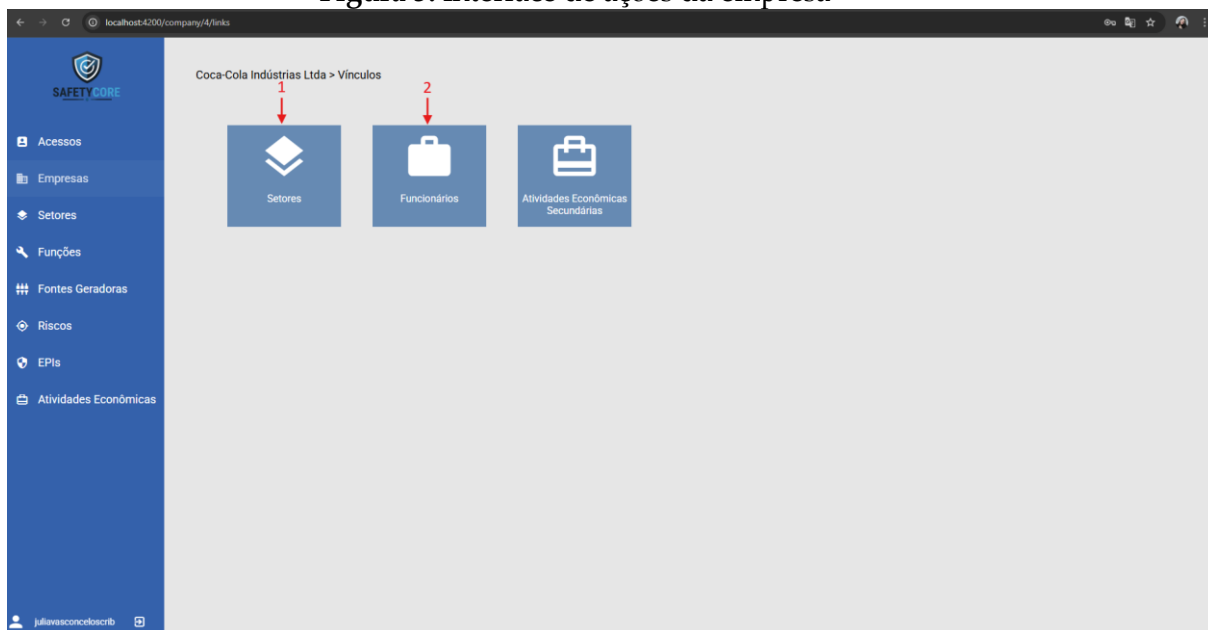
Figura 2: Interface de gerenciamento de empresas



Fonte: elaborado pela autora, 2025.

Conforme apresentado na Figura 3, a aplicação permite cadastrar funcionários, declarar atividades econômicas secundárias e gerenciar os vínculos de setor, função e risco, especificamente daquela empresa.

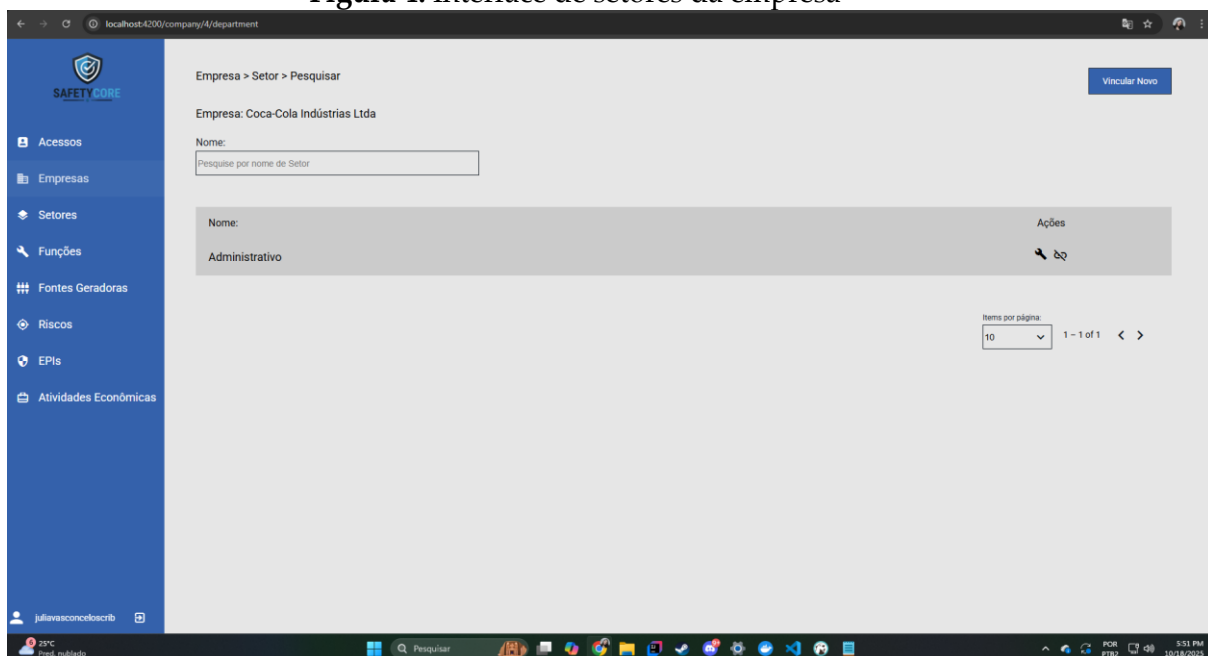
Figura 3: Interface de ações da empresa



Fonte: elaborado pelas autoras, 2025.

Ao acionar o card de “Setores”, item 1 da Figura 3, o usuário é direcionado para a interface ilustrada na Figura 4, na qual são exibidos todos os setores vinculados à empresa selecionada anteriormente. Nela, é possível adicionar novos setores, remover vínculos existentes ou acessar a funcionalidade de “Funções”.

Figura 4: Interface de setores da empresa

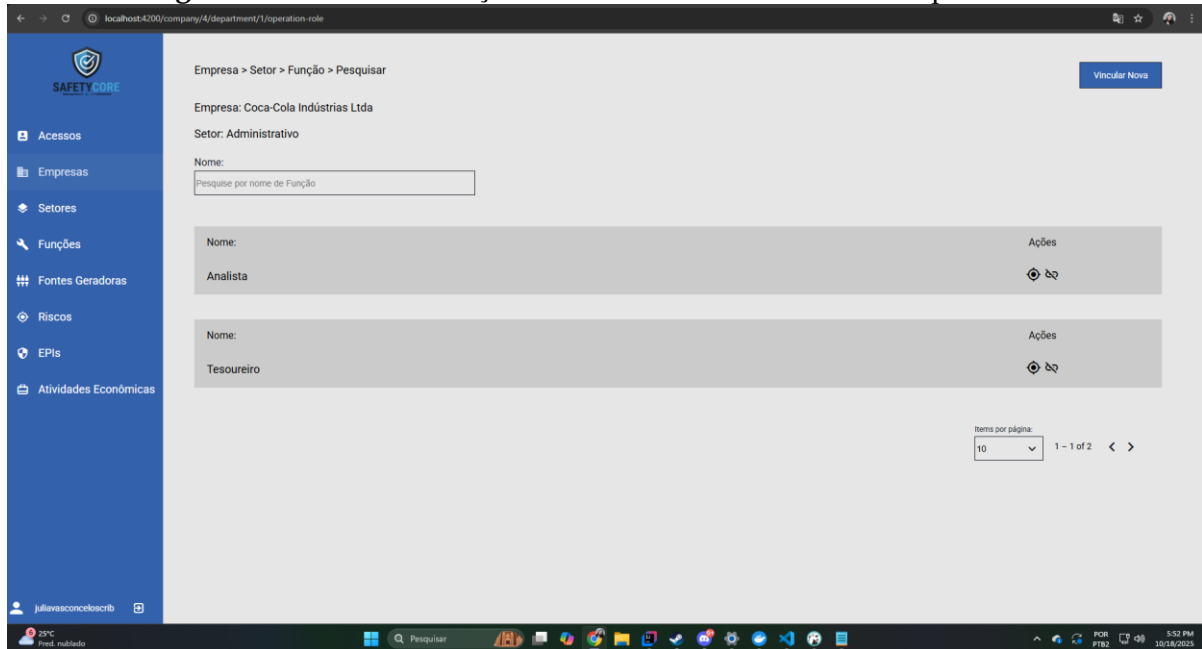


Fonte: elaborado pelas autoras, 2025.

SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE ATIVIDADES COTIDIANAS DE PROFISSIONAIS DA ÁREA DE SEGURANÇA DO TRABALHO

Já ao selecionar o ícone de “Funções”, o usuário pode visualizar, conforme mostra a Figura 5, todas as funções exercidas no setor escolhido. Nessa interface, é possível realizar novos vínculos, excluir associações existentes ou acessar os riscos relacionados àquela função e setor.

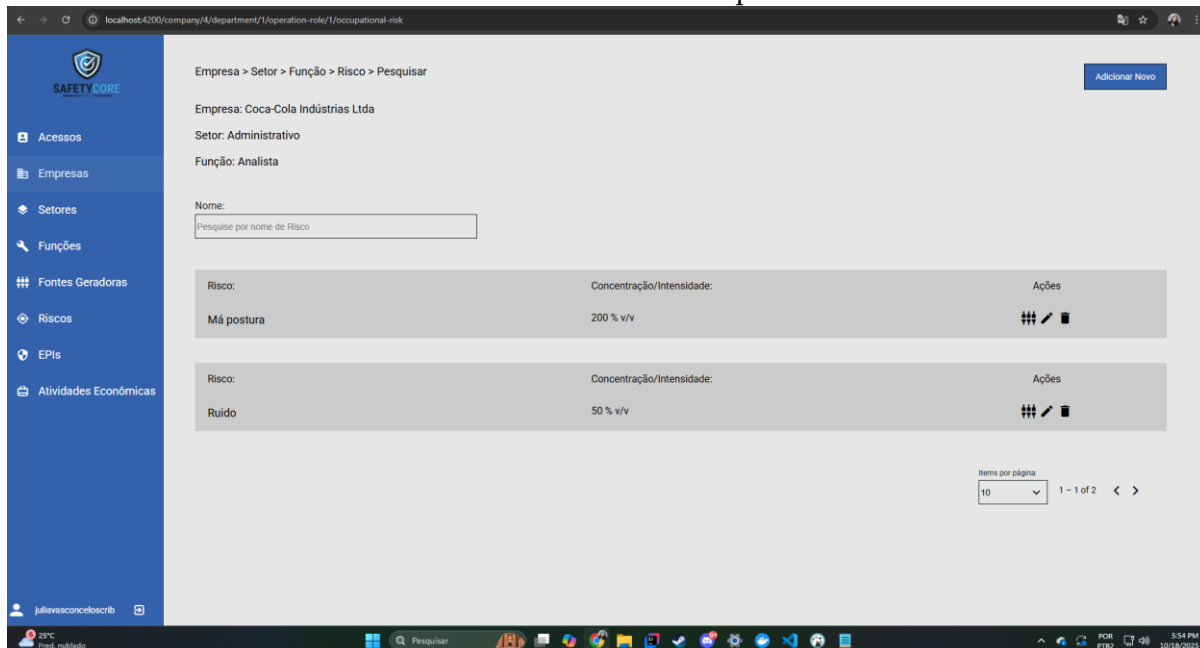
Figura 5: Interface de funções do setor administrativo da empresa



Fonte: elaborado pelas autoras, 2025.

Como mostra a Figura 6, o sistema possibilita associar riscos às funções exercidas em determinados setores, definindo concentração ou intensidade. Essas ações são executadas de forma simples e sem duplicidade de cadastros, uma vez que as informações são aproveitadas dos registros previamente realizados nas funcionalidades acessíveis pela barra de navegação. Dessa forma, obtém-se uma significativa redução no número de cadastros e maior eficiência no gerenciamento das informações.

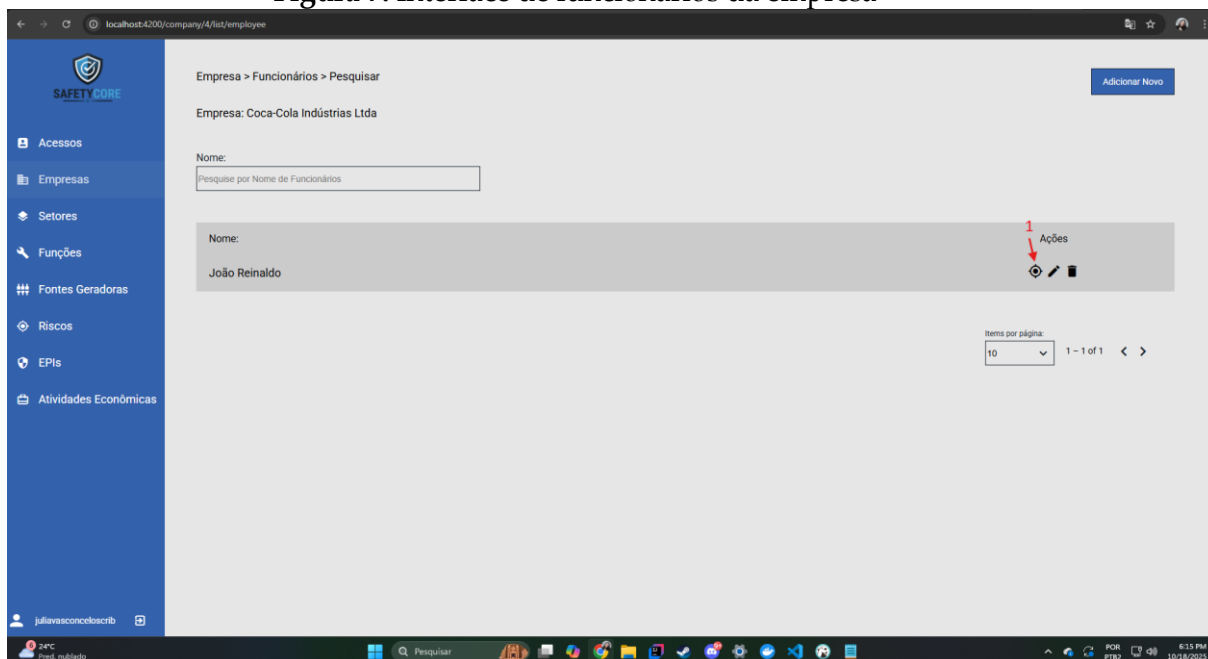
Figura 6: Interface de riscos associados à função analista do setor administrativo da empresa



Fonte: elaborado pelas autoras, 2025.

Retornando à Figura 3 e acessando a aba de funcionários, identificada pelo item 2, o usuário é direcionado para a interface representada na Figura 7, que evidencia a integração entre os módulos de Recursos Humanos e Segurança do Trabalho. Nela, é possível verificar a lista de funcionários de uma empresa, gerenciar seus cadastros e visualizar os riscos aos quais cada colaborador está exposto.

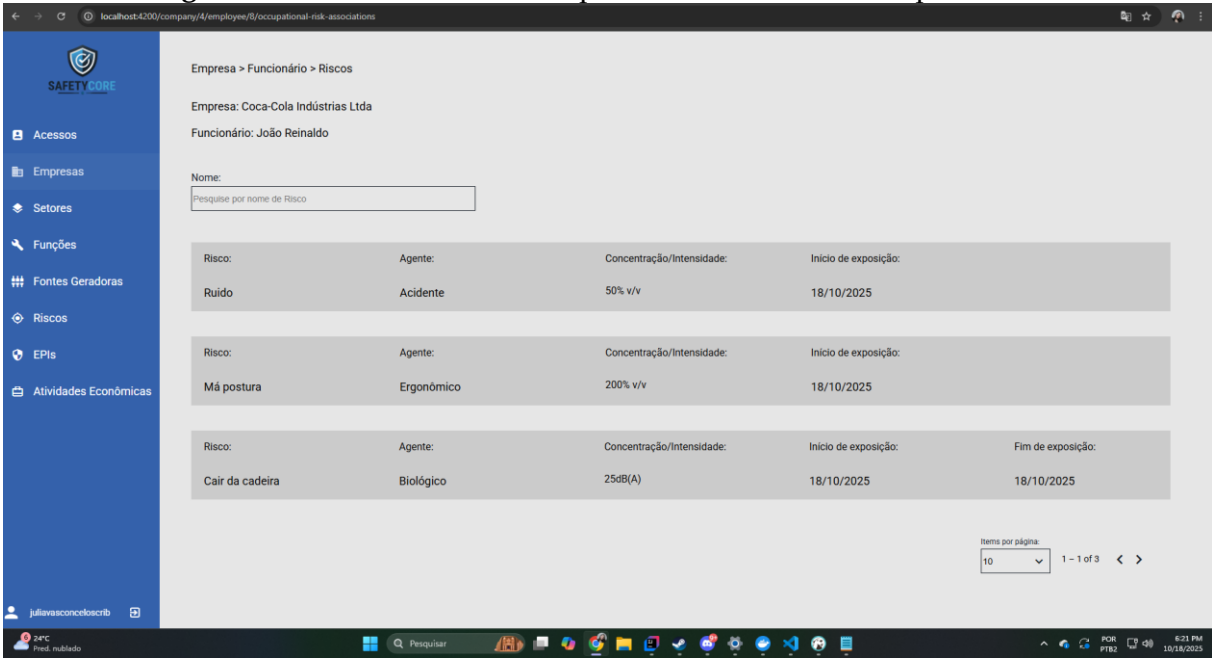
Figura 7: Interface de funcionários da empresa



Fonte: elaborado pelas autoras, 2025.

Além disso, não há repetição de cadastros, pois, ao criar um funcionário e selecionar seu setor e função, o sistema associa automaticamente os riscos correspondentes, previamente definidos para aquele setor e função, incluindo a data de início e, quando aplicável, a data de término da exposição. Essa funcionalidade pode ser visualizada na Figura 8, ao acionar o ícone de riscos na listagem de funcionários, item 1 da Figura 7.

Figura 8: Interface de riscos aos quais o funcionário está exposto



The screenshot displays the 'Riscos' (Risks) page for a specific employee, João Reinaldo, at Coca-Cola Indústrias Ltda. The interface includes a sidebar with navigation options like 'Acessos', 'Empresas', 'Setores', 'Funções', 'Fontes Geradoras', 'Riscos', 'EPIs', and 'Atividades Econômicas'. The main content area shows a search bar for risks and a table listing three occupational risks.

Risco:	Agente:	Concentração/Intensidade:	Início de exposição:	Fim de exposição:
Ruido	Acidente	50% v/v	18/10/2025	
Má postura	Ergonômico	200% v/v	18/10/2025	
Cair da cadeira	Biológico	25dB(A)	18/10/2025	18/10/2025

At the bottom right of the table, there is a pagination control showing '10' items per page and '1 - 1 of 3' pages.

Fonte: elaborado pelas autoras, 2025.

Essa implementação resulta em um gerenciamento mais eficiente dos riscos ocupacionais, oferecendo maior segurança e confiabilidade ao trabalho dos profissionais responsáveis pela área. Além disso, o sistema reduz significativamente o esforço necessário para a realização dos cadastros, tornando o processo mais ágil, intuitivo e menos suscetível a erros.

4.2 ARQUITETURA

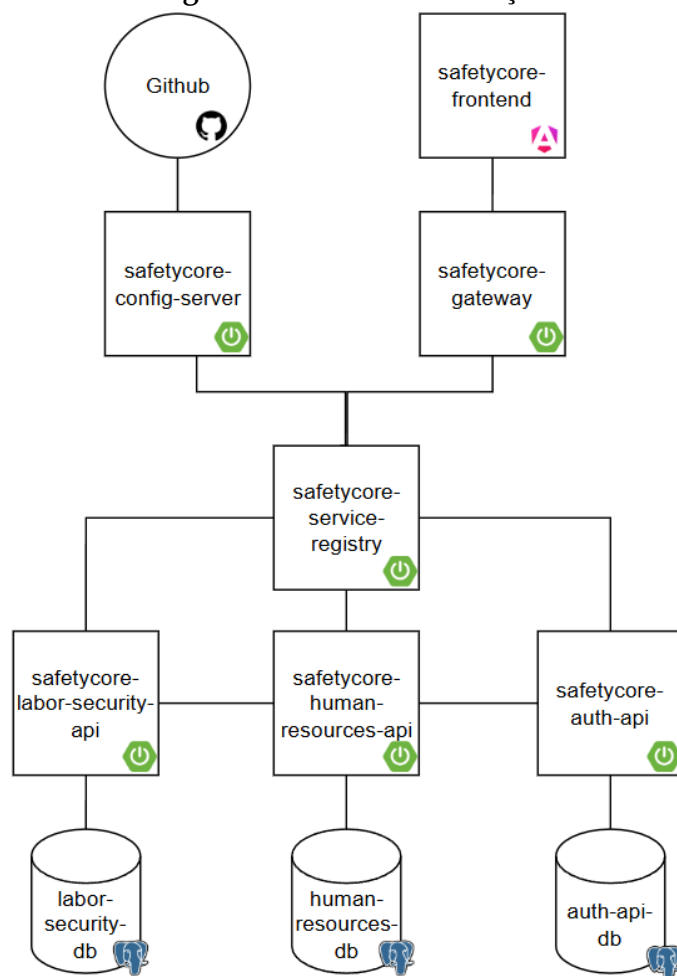
Para o desenvolvimento da aplicação, adotou-se a arquitetura de microsserviços, permitindo distribuir responsabilidades entre serviços distintos. Cada serviço gerencia suas próprias informações e possui *deploys* independentes, o que facilita a escalabilidade, aumenta a disponibilidade e reduz o acoplamento entre componentes. Essa abordagem simplifica o desenvolvimento por tornar as aplicações menores e menos complexas, embora exija maior especialização para manter as integrações e compreender a comunicação entre os serviços.

Foram implementados três serviços principais: o *safetycore-human-resources-api*, responsável pelos dados de funcionários e vínculos com setores, funções e riscos ocupacionais; o *safetycore-labor-security-api*, que gerencia empresas, setores, funções,

fontes geradoras e relacionamentos; e o *safetycore-auth-api*, encarregado da autenticação e gerenciamento de usuários.

Além dos serviços principais, como ilustra a Figura 9, há componentes de suporte essenciais para o funcionamento da arquitetura. O *safetycore-service-registry* implementa o *Service Registry Pattern*, permitindo registro e descoberta dinâmica de serviços. O *safetycore-gateway* aplica o *API Gateway Pattern*, funcionando como ponto único de entrada, realizando roteamento de requisições e controle de acesso. O *safetycore-config-server* centraliza arquivos de configuração obtidos do repositório GitHub, promovendo consistência na configuração dos serviços (Microservices.IO, 2025). Por fim, o *safetycore-frontend* concentra a interface de interação com o usuário.

Figura 9: Modelo dos serviços



Fonte: elaborado pelas autoras, 2025.

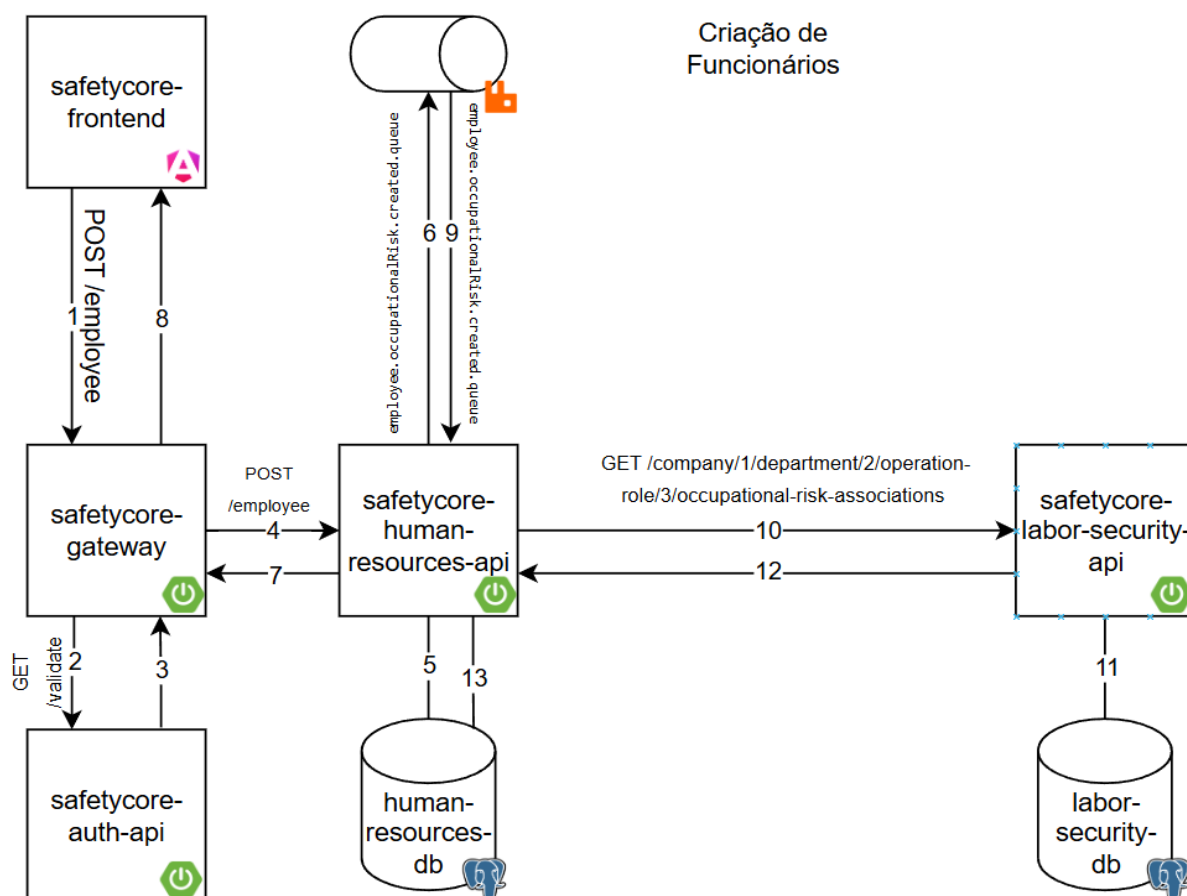
Por se tratar de uma arquitetura distribuída, cada microsserviço mantém seu próprio banco de dados (*Database per Service Pattern*), garantindo isolamento e autonomia entre os componentes. Entretanto, essa abordagem traz desafios relacionados à consistência e à sincronização de dados, conforme o Teorema CAP, que estabelece que um sistema distribuído pode garantir simultaneamente apenas duas das três

propriedades desejáveis: consistência (C), disponibilidade (A) e tolerância à partição (P) (IBM, 2025).

Como a tolerância a partições é inerente a esse tipo de arquitetura, tornou-se necessário optar entre consistência e disponibilidade. Neste trabalho, optou-se por priorizar a disponibilidade, assegurando que o sistema permanecesse acessível mesmo diante de falhas de comunicação entre serviços. Em decorrência dessa escolha, admite-se a consistência eventual, na qual pequenas divergências de dados podem ocorrer temporariamente até que a sincronização seja concluída.

Para mitigar essas limitações, adotou-se uma estratégia híbrida, que combina comunicação assíncrona baseada em eventos e replicação seletiva de dados essenciais. Essa abordagem permite que cada serviço mantenha localmente as informações necessárias às suas operações, equilibrando disponibilidade, desempenho e isolamento entre domínios.

Para exemplificar o funcionamento da comunicação entre os serviços, a Figura 10 detalha o processo de criação de um funcionário, desde a requisição inicial até a propagação dos dados entre os domínios envolvidos. O fluxo inicia-se quando o *safetycore-frontend* envia uma requisição HTTP REST ao *safetycore-gateway*, que se autentica através do *safetycore-auth-api*, identifica o serviço de destino através do *safetycore-service-registry* e encaminha a solicitação ao *safetycore-human-resources-api*. O *gateway* atua como ponto único de entrada do sistema, assegurando segurança, roteamento dinâmico e isolamento dos serviços internos.

Figura 10: Modelo do processo de criação de funcionários

Fonte: elaborado pelas autoras, 2025.

Em sequência ao processo ilustrado no parágrafo anterior, ao receber a solicitação, o *safetycore-human-resources-api* realiza a persistência dos dados do novo funcionário em seu banco de dados, aplicando o princípio de independência entre domínios de negócio. Após a gravação da entidade, o serviço publica um evento de domínio indicando a criação do novo funcionário por meio do *message broker*. O próprio serviço atua como consumidor desse evento, processando-o de forma assíncrona. Durante esse processamento, ele realiza uma consulta REST ao *safetycore-labor-security-api* para obter as informações detalhadas sobre os riscos ocupacionais associados à função, departamento e empresa do funcionário recém-criado.

As informações retornadas pelo *safetycore-labor-security-api* são então armazenadas localmente no banco de dados do *safetycore-human-resources-api*, garantindo autonomia e melhor desempenho em operações futuras relacionadas ao funcionário, mesmo em casos de indisponibilidade temporária do serviço de segurança do trabalho.

Esses dados obtidos tornam-se parte fundamental do processo de integração entre os domínios, uma vez que permitem ao serviço de Recursos Humanos manter informações consistentes e atualizadas sobre o funcionário e seus vínculos. Assim, a arquitetura combina comunicação assíncrona baseada em eventos com invocações síncronas via REST e descoberta dinâmica de serviços, adotando uma abordagem

híbrida que equilibra consistência eventual, resiliência e integração entre os domínios de Recursos Humanos e Segurança do Trabalho, assegurando escalabilidade e isolamento.

5 CONCLUSÃO

A adoção da arquitetura de microsserviços mostrou-se uma decisão acertada para o desenvolvimento da aplicação, permitindo alcançar de forma consistente os objetivos específicos propostos. Destaca-se, principalmente, a criação de uma solução funcional capaz de apoiar a gestão das atividades diárias dos profissionais de segurança do trabalho e de promover a integração eficaz entre os domínios de Recursos Humanos e Segurança do Trabalho. A independência operacional de cada serviço e a capacidade de gerenciar seus próprios dados contribuíram para a redução do acoplamento e para uma comunicação eficiente entre os componentes, garantindo maior escalabilidade, modularidade e isolamento entre os domínios.

Nesse contexto, a aplicação desenvolvida atendeu plenamente às expectativas estabelecidas, resultando em uma plataforma coerente com o processo de análise de riscos ocupacionais. O sistema demonstrou capacidade de representar de maneira fiel as necessidades práticas identificadas junto aos profissionais da área, oferecendo recursos que possibilitam identificar, monitorar e gerenciar riscos por setor e por colaborador, o que contribui significativamente para decisões mais assertivas no contexto da segurança do trabalho.

De modo geral, o trabalho evidenciou o potencial da arquitetura de microsserviços na construção de sistemas corporativos mais robustos e alinhados às demandas reais das organizações. Como continuidade deste trabalho, propõe-se o desenvolvimento de novas funcionalidades, como o módulo de controle e distribuição de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) e a automatização da inserção de funcionários por meio de arquivos XML. Tais aprimoramentos poderão ampliar o escopo do sistema, tornando-o ainda mais eficiente e consolidando-o como uma ferramenta estratégica para o aprimoramento das práticas de segurança e saúde ocupacional.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência. Portaria nº 671, de 8 de novembro de 2021. **Diário Oficial da União**, seção 1, Brasília, DF, n. 212, p. 217, 11 nov. 2021. Disponível em: <https://in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-359094139>.

FIELDING, Roy Thomas. **Architectural styles and the design of network-based software architectures**. 2000. Disponível em: https://ics.uci.edu/~fielding/pubs/dissertation/fielding_dissertation.pdf.

GALINDO JUNIOR, Edemilton Alcides; ROCHA, Romeu Dias; MACIEL, Ronierison de Souza. **Desenvolvimento de api rest com spring boot**. 2021. Disponível em: <https://www.publicacoes.unirios.edu.br/index.php/revistarios/article/view/102/102>.

GUIMARÃES, Raphael Mendonça; MAURO, Maria Yvone Chaves; MUZI, Camila Drumond; MAURO, Carla Christina Chaves. Riscos ocupacionais em saúde. **Rev enferm UERJ**, v. 12, n. 3, p. 338-45, 2004. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Raphael-Guimaraes/publication/342211512_Riscos_ocupacionais_em_saude/links/5ee8dd03299bf1faac59f87c/Riscos-ocupacionais-em-saude.pdf.

IBM. **O que é o teorema CAP?** Disponível em: <https://www.ibm.com/br-pt/think/topics/cap-theorem>.

MARTIN, Robert C. **Código limpo: habilidades práticas do Agile software craftsmanship**. São Paulo: Alta Books, 2009.

MASSE, Mark. **REST API design rulebook**. O'Reilly Media, Inc., 2012.

MENDES, Iasmin Santos. **Arquitetura monolítica vs microsserviços: uma análise comparativa**. 2021. Disponível em: https://bdm.unb.br/bitstream/10483/30715/1/2021_IasminSantosMendes_tcc.pdf.

OSHEROVE, Roy. **The art of unit testing: with examples in C#**. 2nd ed. Greenwich: Manning Publications, 2013.

PEIXOTO, Neverton Hofstadler. **Curso técnico em automação industrial: segurança do trabalho**. 3. ed. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria: Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, 2010. Disponível em: <https://apcursosdegraca.s3.amazonaws.com/apostilas-br/profissionalizantes/seguranca-do-trabalho/seguranca-do-trabalho-por-etec.pdf>.

RICHARDSON, Chris. **Microservices Patterns**. Disponível em: <https://microservices.io>.

VASCONCELOS, Alexandre Marcos Lins de; ROUILLER, Ana Cristina; MACHADO, Cristina Ângela Filipak. **Introdução à engenharia de software e à qualidade de software**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2006. Disponível em: http://nti.facape.br/jocelio/es/apostilas/Mod.01.MPS_Engenharia&QualidadeSoftware_V.28.09.06.pdf.

VILLAÇA, Luis. Henrique; PIMENTA JUNIOR, Antônio Francisco; AZEVEDO, Leonardo Guerreiro. **Construindo aplicações distribuídas com microsserviços**. Tópicos em Sistemas de Informação: Minicursos XV Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação. SBC, 2018.

Sistema de gerenciamento de clientes para uma empresa de contabilidade: desenvolvimento de uma solução web para otimização do controle organizacional

*Client management system for an accounting firm: development of a web-based solution
for optimizing organizational control*

LUCAS CÂNDIDO CLEMENTE AMARAL

Discente de Sistemas de Informação (UNIPAM)

lucasamarale@unipam.edu.br

JULIANA LILIS DA SILVA

Professora orientadora (UNIPAM)

juliana@unipam.edu.br

Resumo: Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema *web* para gerenciamento de clientes em uma empresa de contabilidade. O trabalho justifica-se no contexto organizacional por propor um sistema que otimiza a gestão dos serviços prestados e clientes da empresa. Nesse sentido, o projeto teve como objetivo automatizar processos internos relacionados ao controle de serviços prestados, geração de cobranças e comunicação com clientes, anteriormente realizados de forma manual. A pesquisa é classificada como aplicada, qualitativa e descritiva, e utilizou tecnologias como .NET no *back-end* e React.js com TypeScript no *front-end*, adotando a arquitetura limpa para garantir modularidade e fácil manutenção. O sistema desenvolvido integra processos como cadastro de clientes e serviços prestados, geração de cobranças, controle de usuários e envio de recados, automatizando tarefas e aprimorando a eficiência e o controle da organização. Assim, o sistema pode ser considerado um diferencial no desempenho das atividades de uma empresa de contabilidade.

Palavras-chave: sistema *web*; contabilidade; automação de processos; gerenciamento de clientes; arquitetura limpa.

Abstract: This study presents the development of a web-based system for client management in an accounting firm. The study is justified in the organizational context by proposing a system that optimizes the management of the company's services and clients. In this regard, the project aimed to automate internal processes related to the control of services provided, billing generation, and communication with clients, which were previously performed manually. The research is classified as applied, qualitative, and descriptive, and used technologies such as .NET for the back end and React.js with TypeScript for the front end, adopting clean architecture to ensure modularity and ease of maintenance. The developed system integrates processes such as client and service registration, billing generation, user control, and message sending, automating tasks and improving the organization's efficiency and control. Thus, the system may be considered a differential factor in the performance of activities in an accounting firm.

Keywords: web-based system; accounting; process automation; client management; clean architecture.

1 INTRODUÇÃO

O profissional de contabilidade exerce um papel de extrema importância na gestão empresarial, atuando em todas as fases do ciclo de vida do negócio, desde sua abertura até o seu encerramento, independentemente do tamanho da empresa. Uma das responsabilidades do contador envolve o suporte no controle financeiro das organizações, registrando todas as suas transações. Essa atividade é fundamental para a geração de relatórios e para a condução de análises financeiras, o que proporciona aos gestores uma melhor compreensão da saúde financeira de seu negócio e permite que identifiquem áreas de melhoria com base nesses dados (Unicesumar, 2017).

Alguns dos principais desafios para as empresas de contabilidade estão relacionados à gestão eficiente de seus clientes. Atividades fundamentais como o registro minucioso e o controle dos serviços prestados para cada cliente, assim como a manutenção de um histórico detalhado dessas informações, muitas vezes são feitas de forma manual. Além disso, a comunicação de recados importantes geralmente é feita da mesma maneira. De acordo com Próvio (2023), outro ponto relevante é a dificuldade de alguns profissionais em lidar com a evolução da tecnologia, o que pode impactar negativamente a rotina operacional do negócio, dificultando a integração de ferramentas que poderiam otimizar os processos da empresa.

Diante desses desafios, a tecnologia desempenha um papel fundamental na modernização dos processos contábeis, promovendo transformações significativas na forma como as informações são registradas, processadas e analisadas. Com o aumento da complexidade das exigências fiscais e a demanda por informações em tempo real, cresce a necessidade por *softwares* especializados que automatizam e integram as atividades contábeis. Essas ferramentas não apenas reduzem o risco de erros humanos, mas também otimizam o tempo dos profissionais. A automação contábil garante maior eficiência, precisão e conformidade, consolidando-se como um recurso essencial para a competitividade e sustentabilidade das organizações.

Diante disso, esta pesquisa visou responder à seguinte pergunta: “De que maneira a presença de uma solução automatizada para a gestão de serviços prestados, comunicação com clientes e registro financeiro afeta a eficiência operacional e a administração de uma empresa de contabilidade?”

Nesse sentido, este trabalho se justifica no contexto organizacional ao sugerir o desenvolvimento de um sistema que proporcione benefícios diretos para a empresa de contabilidade, ao possibilitar uma gestão mais eficaz dos serviços oferecidos, facilitar a comunicação com os clientes e aprimorar o controle financeiro.

Portanto, o presente trabalho teve como objetivo geral desenvolver uma aplicação com uma interface amigável e de fácil navegação que possibilite o envio de *e-mails*, como também a manutenção de um histórico dos serviços prestados e valores cobrados para cada um dos clientes de uma empresa de contabilidade. Para alcançar esse objetivo, foram enumerados os seguintes objetivos específicos: gerenciar serviços prestados, gerenciar usuários, gerenciar clientes, enviar *e-mails* para vários clientes, gerenciar histórico de serviços prestados para cada cliente, juntamente com o valor cobrado por esses serviços, e gerenciar histórico de cobranças geradas para cada cliente a cada mês.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nessa seção, são apresentados conceitos relevantes para o entendimento da arquitetura do sistema e da contextualização do trabalho do profissional da área de contabilidade.

2.1 CONCEITOS E PRINCÍPIOS DA CONTABILIDADE

O contador é o especialista em Ciência Contábil, que oferece os fundamentos necessários para a gestão e integração de uma empresa. Além de elaborar relatórios e demonstrações contábeis, ele também analisa essas informações e sugere possíveis soluções para os problemas empresariais presentes e futuros que identifica no desempenho de suas funções (Capistrano, 2001).

O campo de atuação do profissional contábil nas empresas é bastante extenso. Através da informação contábil, a empresa pode realizar um planejamento tributário eficaz, analisando balanços e demonstrações contábeis. Isso permite avaliar a evolução dos ativos e passivos, das receitas, despesas e custos, além de medir a lucratividade e a rentabilidade (Fonseca *et al.*, 2014).

Relatórios contábeis, apenas com dados numéricos e quantitativos, não são suficientes para um gerenciamento eficaz do patrimônio empresarial. É essencial contar com a orientação de um profissional qualificado para interpretar essas informações e ajudar na tomada de decisões pela administração da empresa (Capistrano, 2001).

No passado, o profissional contábil gastava muito tempo com métodos manuais de escrituração, produzindo informações defasadas e relatórios básicos para o fisco, sem contribuir significativamente para as informações gerenciais necessárias à tomada de decisões empresariais. Com o avanço da tecnologia da informação, muitos desses esforços puderam ser substituídos por computadores e bancos de dados, oferecendo diversas facilidades no processamento das informações (Fonseca *et al.*, 2014).

2.2 SISTEMAS DE INFORMAÇÃO APLICADOS À CONTABILIDADE

Segundo Possebon e Ribeiro (2020, p. 14), os sistemas de informação gerencial podem ser definidos “como os sistemas que apoiam e fornecem aos gestores as informações necessárias para que possam tomar decisões de forma efetiva, com o objetivo de gerenciar suas organizações com eficácia”. Dessa forma é possível concluir que os sistemas de informação gerencial desempenham um papel fundamental no contexto organizacional, pois são responsáveis por transformar dados em informações úteis, permitindo que os gestores tenham uma visão mais clara do desempenho da organização, facilitando o planejamento.

Muitas empresas adotam os sistemas ERP, que são pacotes de *software* padronizados, adquiridos prontos. Eles exigem das empresas a adaptação de seus processos de negócio às funcionalidades disponíveis nesses sistemas. Além disso, no contexto dos sistemas de informação, os ERPs têm assumido um papel central na gestão de médias e grandes organizações, consolidando-se como ferramentas estratégicas para a integração e o controle das operações empresariais (Gomes *et al.*, 2022).

A contabilidade é um dos setores contemplados pelos sistemas ERP. As demonstrações contábeis como o balanço patrimonial, o demonstrativo de resultados e a demonstração do fluxo de caixa, exigidas por obrigações legais ou utilizadas para fins de análise gerencial, desempenham um papel fundamental no suporte à tomada de decisões e na condução estratégica das organizações (Gomes *et al*, 2022).

Outras empresas adotam sistemas de informação que atendam a demandas específicas de acordo com suas necessidades. Alguns desses sistemas são desenvolvidos especialmente para uma dada empresa, de acordo com os requisitos que são identificados pela equipe de desenvolvimento do *software* (Silveira, 2023).

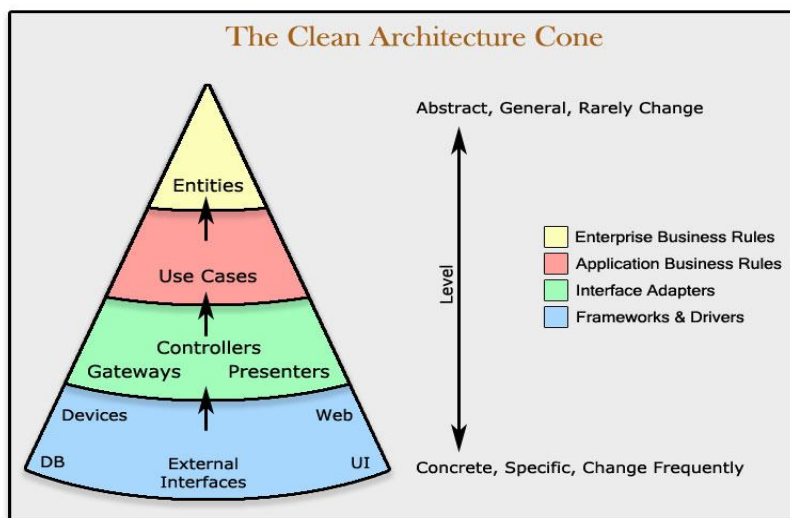
2.3 ARQUITETURA EM CAMADAS E ARQUITETURA LIMPA

A arquitetura em camadas é um dos padrões mais comuns desde a construção dos primeiros sistemas de *software* de grande porte nas décadas de 60 e 70. Nesse modelo, as classes são agrupadas em módulos maiores, conhecidos como camadas, que são organizadas hierarquicamente. Dessa forma, uma camada só pode utilizar serviços como chamar métodos, criar objetos, estender classes, definir parâmetros, lançar exceções, entre outros da camada diretamente abaixo dela (Valente, 2020).

A arquitetura limpa, proposta por Robert C. Martin, é um modelo de *design* de *software* voltado à criação de sistemas modulares, escaláveis e de fácil manutenção. Seu principal objetivo é garantir que o código seja flexível e sustentável ao longo do tempo, por meio da clara separação de responsabilidades e da organização em camadas bem definidas, cada uma com funções específicas (Boussiengui, 2023).

Essa abordagem propõe uma estrutura de código clara e coerente, baseada na comunicação entre camadas dispostas do exterior para o interior como mostrado na Figura 1. As camadas mais internas concentram a lógica de negócio e permanecem isoladas das externas, o que assegura que o sistema não dependa diretamente de *frameworks* ou bibliotecas externas. Dessa forma, a aplicação mantém uma estrutura organizada e um fluxo lógico bem delineado (Boff *et al*, 2023).

Figura 1: Cone da arquitetura limpa



Fonte: Outlaw, 2018.

Com essa separação, minimiza-se a influência de tecnologias externas sobre o núcleo do sistema, permitindo que a lógica de negócio continue estável mesmo diante de mudanças. A arquitetura limpa busca construir soluções que vão além da funcionalidade imediata, priorizando simplicidade, clareza e longevidade, ao mesmo tempo em que alinham a implementação técnica aos objetivos estratégicos da organização (Boussiengui, 2023).

2.4 API REST

Web services são servidores *web* desenvolvidos para atender a necessidades específicas de sites ou outras aplicações. Programas clientes se comunicam com esses servidores usando *Application Programming Interfaces* (APIs). Em termos gerais, uma API disponibiliza um conjunto de dados e funcionalidades para facilitar a interação entre programas de computador e possibilitar a troca de informações (Masse, 2011).

O estilo arquitetônico REST (*Representational State Transfer*) é amplamente utilizado no desenvolvimento de APIs para *web services* modernos. Uma API *web* que adota o estilo REST é chamada de REST API. Quando um *web service* utiliza uma REST API, ele é considerado “RESTful”. Uma REST API é formada por uma coleção de recursos interconectados, e esse conjunto é conhecido como o modelo de recursos da REST API (Masse, 2011).

A arquitetura REST é fundamentada em quatro princípios principais. Primeiramente, a identificação de recursos é feita por meio de URIs (*Uniform Resource Identifier*), que oferecem um endereço único para interagir com os recursos de um serviço *web* RESTful, facilitando a descoberta e acesso aos recursos. Em segundo lugar, a interface uniforme é implementada através de quatro operações básicas: *PUT*, *GET*, *POST* e *DELETE*. O método *POST* é usado para criar novos recursos, que podem ser removidos com o *DELETE*, enquanto o *GET* recupera a representação atual de um recurso e o *PUT* atualiza o estado de um recurso existente (Pautasso *et al*, 2008).

Além disso, a arquitetura RESTful adota mensagens autodescritivas, que permitem a dissociação entre recursos e suas representações, possibilitando acesso em diferentes formatos. Os metadados associados são essenciais para controle de cache, detecção de erros e autenticação. Por fim, as interações *stateful* são gerenciadas por meio de hiperlinks, com mensagens de solicitação autossuficientes. Técnicas como URI reescrita, *cookies* e campos de formulário ocultos são utilizadas para gerenciar o estado entre as interações, com o estado sendo incorporado nas mensagens de resposta para indicar os futuros estados válidos (Pautasso *et al*, 2008).

3 METODOLOGIA

Este trabalho caracteriza-se como uma pesquisa do tipo aplicada, com abordagem qualitativa e descritiva. Aplicada, pois visa gerar uma solução para auxiliar os trabalhos desenvolvidos por escritórios de contabilidade, por meio do desenvolvimento de um software de gestão. Adota-se uma abordagem qualitativa, tendo em vista a ênfase na compreensão das necessidades dos usuários, seus processos e desafios operacionais. A pesquisa é descritiva, uma vez que se propõe a observar,

registrar e analisar os fenômenos relacionados à gestão contábil, sem interferir diretamente em seu funcionamento, mas busca retratá-los para fundamentar o desenvolvimento da solução tecnológica proposta.

A primeira etapa do trabalho foi dedicada à pesquisa detalhada em diversas fontes, incluindo livros, artigos acadêmicos e material disponível na *web*, com o objetivo de aprofundar conhecimentos nos assuntos necessários ao desenvolvimento da aplicação proposta. Essa fase inicial permitiu o levantamento de dados e informações relevantes, que serviram de base para o desenvolvimento das próximas etapas.

Posteriormente, foi realizado um levantamento de requisitos por meio de entrevistas e reuniões com os membros da empresa de contabilidade, com o objetivo de definir o escopo do sistema, garantindo um planejamento alinhado aos objetivos da empresa. A partir da definição dos requisitos foi gerado o protótipo da aplicação e o modelo do banco de dados utilizando as ferramentas Figma e SQL Power Architect.

O *back-end* foi desenvolvido com base nos princípios da arquitetura limpa, promovendo a separação de responsabilidades entre os diferentes níveis da aplicação, mantendo a lógica de negócio isolada de frameworks e bibliotecas externas. Como sistema gerenciador de banco de dados, foi utilizado o SQL Server, que é um banco de dados relacional.

Para o desenvolvimento foram utilizadas as seguintes tecnologias:

- para o *back-end*, foi empregado o *framework* .NET, com a linguagem de programação C#.
- no *front-end*, foi utilizado o *framework* React.js, em conjunto com a linguagem TypeScript e a biblioteca Next.js.

Para o gerenciamento do trabalho, foi adotado o método ágil Kanban, em conjunto com a ferramenta Trello, visando a uma organização eficiente das tarefas e entregas.

Por fim, após a finalização do desenvolvimento das funcionalidades do sistema, foi realizada a implementação de testes unitários para assegurar a qualidade do código. Além disso, todos os dados sensíveis que foram utilizados na aplicação foram devidamente ocultados, garantindo assim a proteção e a preservação dessas informações. Essa abordagem visa validar as funcionalidades, proteger a privacidade dos funcionários e clientes da empresa e garantir a integridade dos dados.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS/DESENVOLVIMENTO

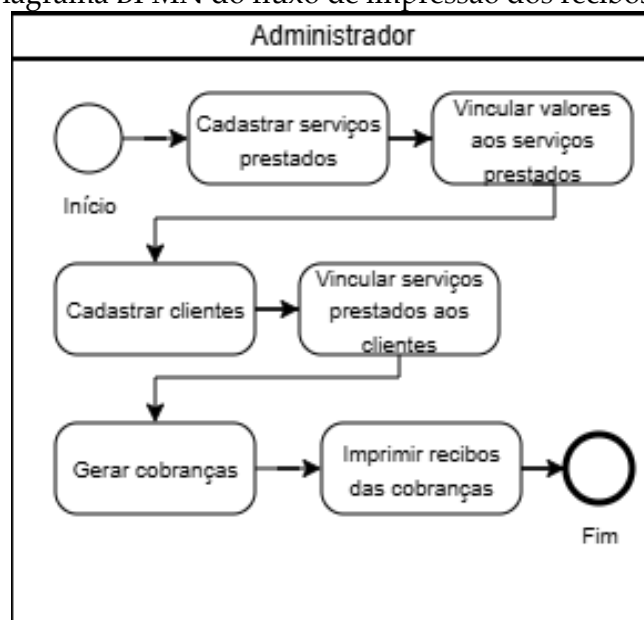
Nesta seção, são apresentados o planejamento, o desenvolvimento e as funcionalidades do sistema desenvolvido.

4.1 PLANEJAMENTO DO SISTEMA

Como resultado das etapas de levantamento, análise e especificação de requisitos, foram elaborados o modelo do banco de dados e os diagramas BPMN (*Business Process Model and Notation*) do sistema. O diagrama BPMN apresentado na

Figura 2 evidencia o fluxo do usuário administrador para geração das cobranças. Inicialmente esse usuário deve realizar o cadastro dos serviços prestados definindo valores a eles, em seguida cadastrar os clientes vinculando serviços prestados a eles. Por fim, o usuário poderá gerar as cobranças e imprimir os recibos, finalizando o processo.

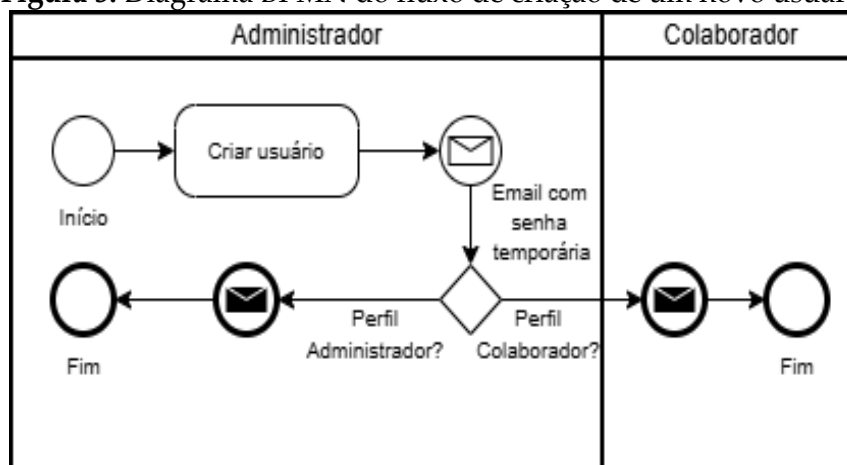
Figura 2: Diagrama BPMN do fluxo de impressão dos recibos de cobrança



Fonte: elaborado pelos autores, 2025.

Também se fez necessário compreender o fluxo representado na Figura 3, que trata do processo de criação de um novo usuário. Esse processo é iniciado por um administrador; após concluir o cadastro básico do novo usuário, é enviado automaticamente um *e-mail* contendo uma senha temporária para que o novo colaborador ou administrador possa acessar o sistema.

Figura 3: Diagrama BPMN do fluxo de criação de um novo usuário

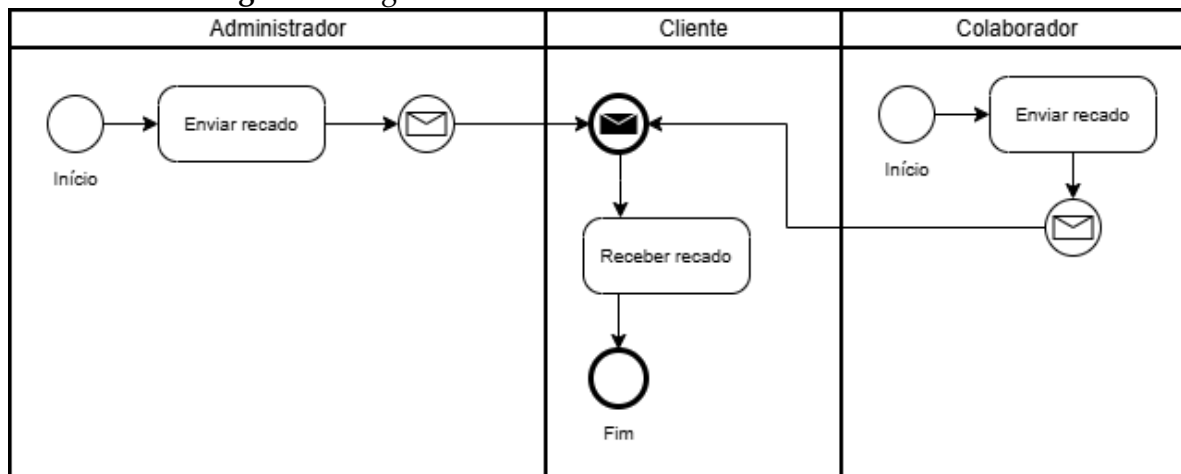


Fonte: elaborado pelos autores, 2025.

SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE CLIENTES
PARA UMA EMPRESA DE CONTABILIDADE: DESENVOLVIMENTO DE UMA SOLUÇÃO WEB
PARA OTIMIZAÇÃO DO CONTROLE ORGANIZACIONAL

Outro processo analisado foi o fluxo de envio de recados. Como apresentado na Figura 4, essa ação pode ser realizada por um administrador ou por um colaborador. Os usuários poderão iniciar o processo preenchendo um formulário com as informações da mensagem e um filtro de tipo de pessoa (física ou jurídica) que ao ser submetido enviará o recado para todos os clientes que se encaixarem no filtro informado.

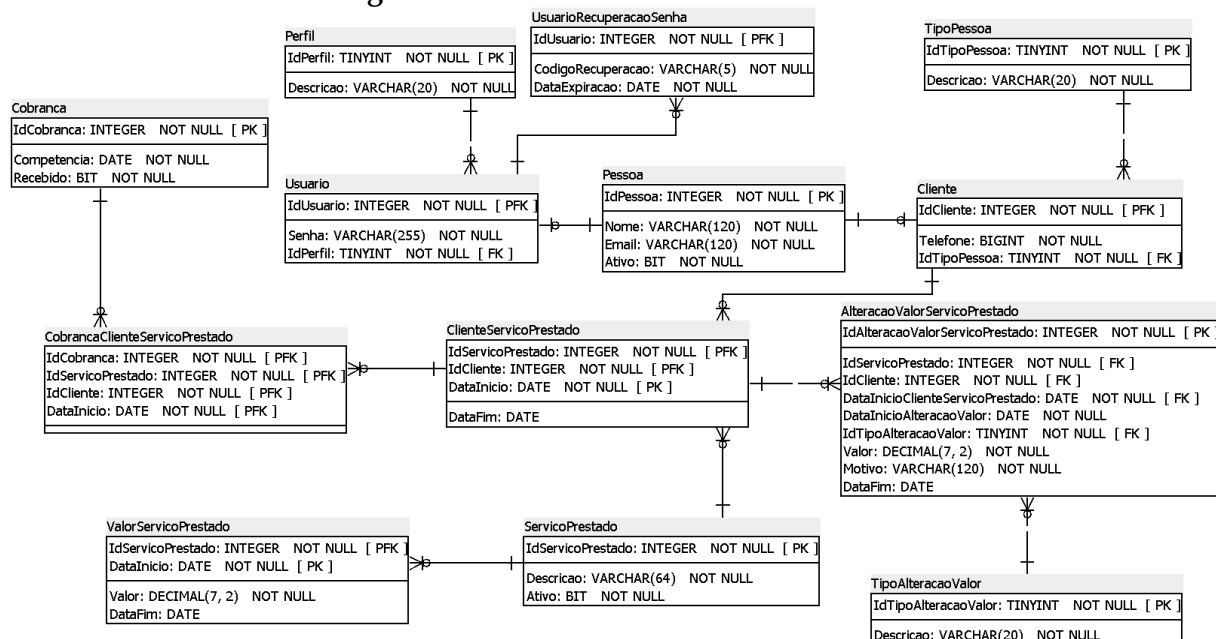
Figura 4: Diagrama BPMN do fluxo de envio de recados



Fonte: elaborado pelos autores, 2025.

Com base nas informações coletadas junto à empresa de contabilidade e de acordo com o entendimento dos fluxos dos processos analisados, foi desenvolvido o modelo de banco de dados apresentado na Figura 5, tendo como objetivo representar de maneira organizada as entidades, relacionamentos e regras de negócio identificadas durante o planejamento do sistema.

Figura 5: Modelo do banco de dados



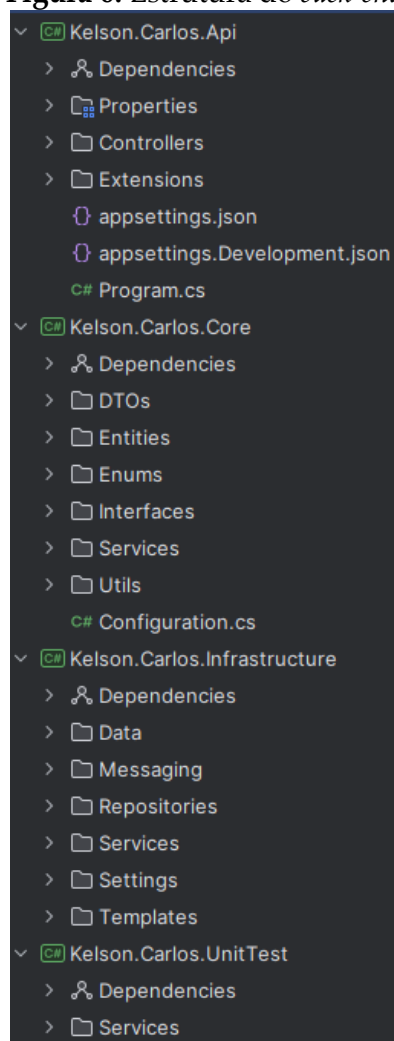
Fonte: elaborado pelos autores, 2025.

Como pode ser observado na Figura 5, as tabelas “ServicoPrestado” e “ValorServicoPrestado” armazenam, respectivamente, os serviços oferecidos pela empresa e o histórico de seus valores. Já as tabelas “TipoPessoa”, “Cliente” e “ClienteServicoPrestado” registram os dados dos clientes e seus vínculos com os serviços prestados. A tabela “Cobranca” guarda as cobranças geradas para cada cliente, enquanto “CobrancaClienteServicoPrestado” relaciona essas cobranças com os serviços correspondentes. As tabelas “TipoAlteracaoValor” e “AlteracaoValorServicoPrestado” mantêm o histórico de acréscimos e descontos aplicados aos serviços. Por fim, as tabelas de autenticação e autorização controlam o acesso dos usuários, sendo que tanto clientes quanto usuários são representados como “Pessoa” no sistema.

4.2 ESTRUTURA DO *BACK-END*

Para o desenvolvimento do *back-end*, o sistema foi estruturado em quatro camadas: *Api*, *Core*, *Infrastructure* e *UnitTest*, com base na arquitetura limpa, como pode ser visualizado na Figura 6.

Figura 6: Estrutura do *back-end*



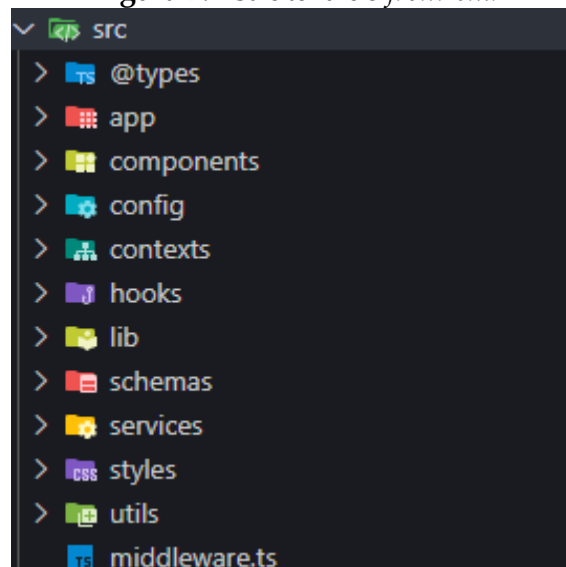
Fonte: elaborado pelos autores, 2025.

A camada Api é responsável pela exposição dos *endpoints* e pelas configurações gerais da aplicação. A camada *Core* contém a lógica de negócio do sistema, mantendo-se independente de tecnologias externas. Já a camada *Infrastructure* implementa o acesso ao banco de dados, integrações com serviços externos e utilização de *frameworks* e bibliotecas de terceiros, que, quando necessários na camada *Core*, são acessados por meio de interfaces, sendo suas implementações injetadas na camada Api através do mecanismo de injeção de dependência. Por fim, o projeto *UnitTest* abriga os testes unitários dos serviços, garantindo a validação das regras de negócio.

4.3 ESTRUTURA DO *front-end*

Para o desenvolvimento do *front-end*, a estrutura de pastas foi organizada de forma a separar claramente as responsabilidades, como demonstrado na Figura 7, visando facilitar a manutenção do código e reutilização de componentes.

Figura 7: Estrutura do *front-end*



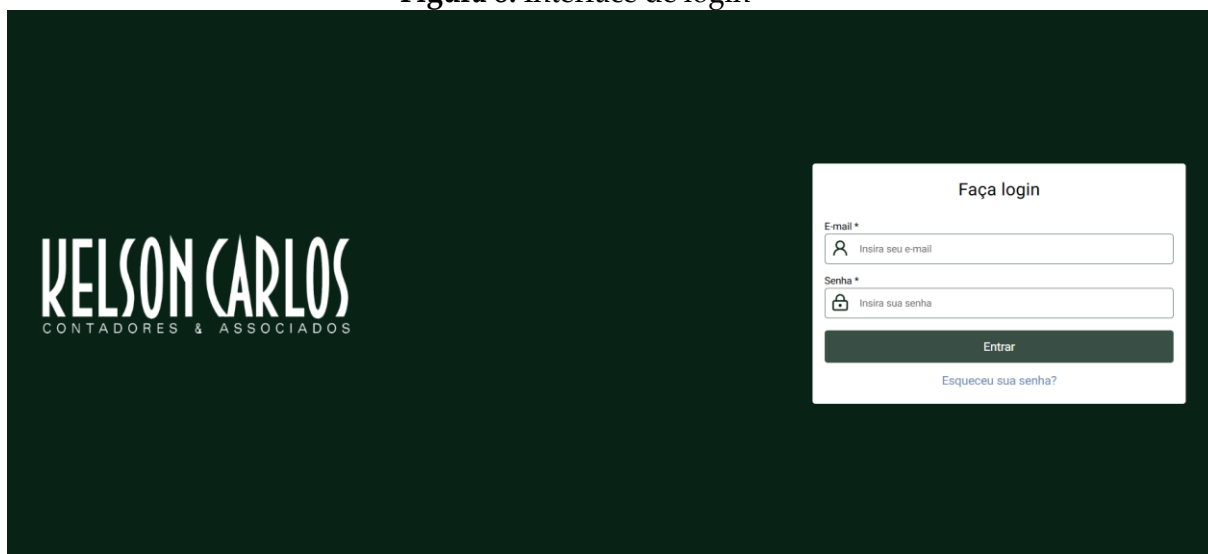
Fonte: elaborado pelos autores, 2025.

Na Figura 7 foram apresentadas as pastas criadas. Dentro de “*@types*” podem ser encontradas as tipagens e *enums* utilizados na integração com o *back-end*, enquanto “*services*” abriga as requisições e configurações da API. As telas estão localizadas em “*app*”, e os componentes reutilizáveis em “*components*”. As configurações gerais do projeto encontram-se em “*config*”, e a pasta “*lib*” contém a configuração necessária para o funcionamento da biblioteca *Styled Components* (utilizada para estilização) com o Next.js. Já “*styles*” reúne estilos compartilhados entre diferentes telas. O contexto de autenticação do usuário está implementado em “*contexts*”, enquanto “*hooks*” armazena os *hooks* customizados criados para o projeto. As validações de formulários ficam em “*schemas*”, e as funções utilitárias em “*utils*”. Por fim, o arquivo “*middleware*”, localizado na raiz, segue as recomendações do Next.js para definir as rotas privadas da aplicação.

4.4 FUNCIONAMENTO E INTERFACE DA APLICAÇÃO

Para acessar o sistema, o usuário deve realizar o login através da interface apresentada na Figura 8, utilizando as credenciais de uma conta previamente criada por um administrador. Caso o usuário esqueça a senha, é possível solicitar a recuperação informando o e-mail cadastrado. Nessa situação, o sistema gera um código de recuperação com validade de 30 minutos, que é enviado para o e-mail informado dentro de um link que redireciona o usuário para uma rota específica de redefinição de senha.

Figura 8: Interface de login



A interface de login é exibida sobre um fundo escuro. À esquerda, o logotipo "KELSON CARLOS" em letras brancas, com "CONTADORES & ASSOCIADOS" em menor tamanho abaixo. À direita, um formulário branco com o título "Faça login". O formulário possui dois campos de entrada: "E-mail *" com um ícone de pessoa e o placeholder "insira seu e-mail", e "Senha *" com um ícone de cadeado e o placeholder "insira sua senha". Abaixo dos campos, há um botão cinza com o texto "Entrar" e um link azul "Esqueceu sua senha?".

Fonte: elaborado pelos autores, 2025.

Após realizar o login, um usuário com permissão de administrador será redirecionado para a listagem de clientes, como mostrado na Figura 9. Após o redirecionamento, o usuário poderá filtrar os clientes cadastrados, cadastrar um novo ou se preferir editar um cadastro existente. Além disso, também é possível inativar os clientes já cadastrados.

SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE CLIENTES
PARA UMA EMPRESA DE CONTABILIDADE: DESENVOLVIMENTO DE UMA SOLUÇÃO WEB
PARA OTIMIZAÇÃO DO CONTROLE ORGANIZACIONAL

Figura 9: Interface de listagem de clientes

The screenshot shows the 'Clientes' interface. On the left is a dark sidebar with the logo 'NELSON CARLOS CONTADORES & ASSOCIADOS' and navigation links: Clientes, Recado, Serviços, Cobranças, Usuários, and Perfil. The main area is titled 'Clientes' and includes a '+ Adicionar' button, a search bar 'Pesquise por nome', and filters for 'Tipo de pessoa' (Todos), 'Ordenar por' (Ativos), and 'Exibindo' (12 resultados). Below these are six client cards, each with a status icon (PF or PJ), a name, an email, and a phone number. At the bottom right are pagination controls showing page 1 of 1.

Fonte: elaborado pelos autores, 2025.

Ao acessar a funcionalidade de cadastro de clientes, o processo é dividido em duas etapas. A primeira, apresentada na Figura 10, é um formulário com as informações básicas do cliente, que deve ser submetido antes de prosseguir para a etapa de definição dos serviços prestados à esse cliente.

Figura 10: Primeira etapa do cadastro de clientes

The screenshot shows the 'Primeira etapa do cadastro de clientes' form. It has a sidebar on the left with the same navigation links as Figure 9. The main area is titled 'Clientes' and has two tabs: 'Informações' (selected) and 'Serviços prestados'. The form fields are: 'Nome *' (Cliente exemplo), 'Tipo de pessoa *' (Pessoa Física), 'Telefone *' ((00) 0001 - 2345), and 'E-mail *' (teste@example.com). At the bottom is a 'Salvar' button with a checkmark icon.

Fonte: elaborado pelos autores, 2025.

Já a segunda etapa, representada na Figura 11, é onde o usuário poderá vincular os serviços prestados para aquele cliente, detalhar o valor cobrado para cada vínculo, acompanhar o histórico dos relacionamentos criados, excluir e encerrar esses vínculos, como também adicionar, encerrar, excluir e visualizar alterações de valor (acréscimo ou desconto) na prestação dos serviços.

Figura 11: Segunda etapa do cadastro de clientes

Fonte: elaborado pelos autores, 2025.

Semelhante à funcionalidade de listagem de clientes, existe uma interface com as funções de listagem de serviços prestados pelo escritório de contabilidade. Nessa listagem, é possível filtrar os resultados, criar um novo serviço ou editar um existente, e inativar um registro. Diferentemente da funcionalidade de listagem de clientes, é possível excluir um serviço prestado caso não esteja vinculado a nenhum cliente.

No cadastro de serviços prestados, o processo também é dividido em duas etapas. Na primeira etapa, é apresentado um formulário no qual o usuário deve informar

SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE CLIENTES
PARA UMA EMPRESA DE CONTABILIDADE: DESENVOLVIMENTO DE UMA SOLUÇÃO WEB
PARA OTIMIZAÇÃO DO CONTROLE ORGANIZACIONAL

o nome do serviço prestado; já na segunda etapa é possível cadastrar o valor a ser cobrado por aquele serviço ao ser vinculado com um cliente, acompanhar o histórico de valores, encerrar o valor ativo e excluir algum registro, semelhante às etapas do cadastro de clientes.

Após concluir o cadastro dos serviços prestados, dos clientes e dos respectivos vínculos entre eles, o usuário pode acessar a interface de cobranças, onde é possível gerar as cobranças referentes a um mês e ano específicos. Ao realizar essa geração, o sistema exibe uma listagem detalhada das cobranças correspondentes ao período selecionado, incluindo os valores e informações associadas.

A interface, conforme mostrado na Figura 12, oferece filtros para a consulta das cobranças e apresenta um ícone de ação que permite confirmar o pagamento de cada cobrança individualmente. Além disso, há um outro ícone na parte superior da tela que possibilita imprimir os recibos das cobranças filtradas pelo período escolhido.

Figura 12: Interface de gerenciamento de cobranças

Fonte: elaborado pelos autores, 2025.

O modelo do recibo foi disponibilizado pelo escritório de contabilidade no formato de planilha, que foi posteriormente convertido em *template* HTML. A partir da conversão, a funcionalidade de impressão dos recibos foi desenvolvida utilizando a biblioteca *iText*, uma ferramenta disponível para diversas tecnologias que disponibiliza métodos para a criação e manipulação de documentos PDF de forma programática. A Figura 13 demonstra um exemplo de um recibo gerado para uma cobrança utilizando essa biblioteca para converter o *template* HTML em um documento PDF.

Figura 13: Exemplo de PDF com recibo de cobrança

		Rua: Teófilo Otoni, 207 - Centro. Patos de Minas - MG - 38.700-056 (34) 3821-1787 www.kelsoncarlos.com.br	
RECIBO DE HONORÁRIOS CONTÁBEIS			
			VALOR R\$ 8,00
Recebi (emos) de (da)	<i>Cliente exemplo</i>		
Período	<i>Outubro/2025</i>		
A importância de	<i>Oito reais</i>		
Referente	<i>Serviço 2</i>		
Para maior clareza firmo (amos) o presente.			
Patos de Minas,	<i>1 de outubro de 2025</i>		
Kelson Carlos Clemente CRC - MG 57.101			

Fonte: elaborado pelos autores, 2025.

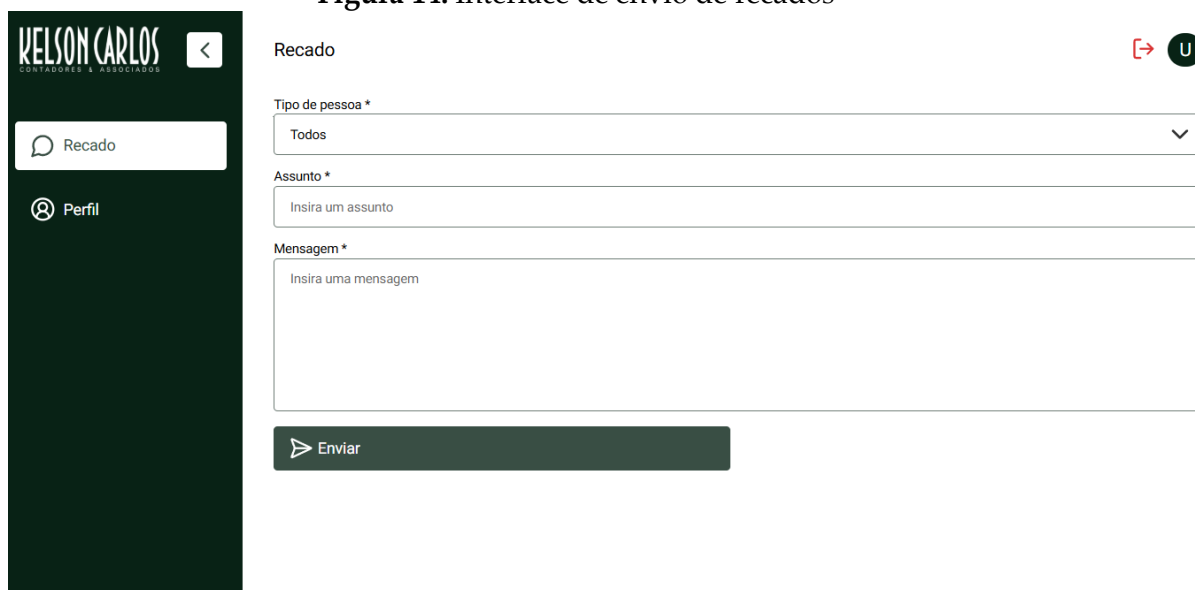
Ao usuário administrador também são disponibilizadas funcionalidades para o gerenciamento dos usuários do sistema. Essas funcionalidades são semelhantes ao gerenciamento de clientes e serviços prestados, de forma que, ao acessar a opção “Usuários” na barra de navegação, o administrador pode listar os usuários cadastrados (com exceção do usuário autenticado), aplicar filtros para facilitar a busca, bem como editar, inativar ou criar novos usuários.

Na funcionalidade de criação ou edição de um usuário, o processo dessa vez possui apenas uma etapa. Nessa etapa, o administrador poderá preencher o formulário com as informações básicas do usuário, como nome, perfil (administrador ou colaborador) e *e-mail*. No caso de um novo cadastro, será enviado um *e-mail* para o novo usuário informando a criação do novo acesso com uma senha aleatória.

Com isso, foram apresentadas todas as funcionalidades exclusivas do usuário administrador. O usuário colaborador, por sua vez, possui apenas duas funcionalidades, compartilhadas com o administrador. A primeira, ilustrada na Figura 14, refere-se ao envio de recados por e-mail aos clientes, permitindo ainda aplicar filtros por tipo de pessoa (física ou jurídica) conforme a necessidade.

SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE CLIENTES
PARA UMA EMPRESA DE CONTABILIDADE: DESENVOLVIMENTO DE UMA SOLUÇÃO WEB
PARA OTIMIZAÇÃO DO CONTROLE ORGANIZACIONAL

Figura 14: Interface de envio de recados



Recado

Tipo de pessoa *

Todos

Assunto *

Insira um assunto

Mensagem *

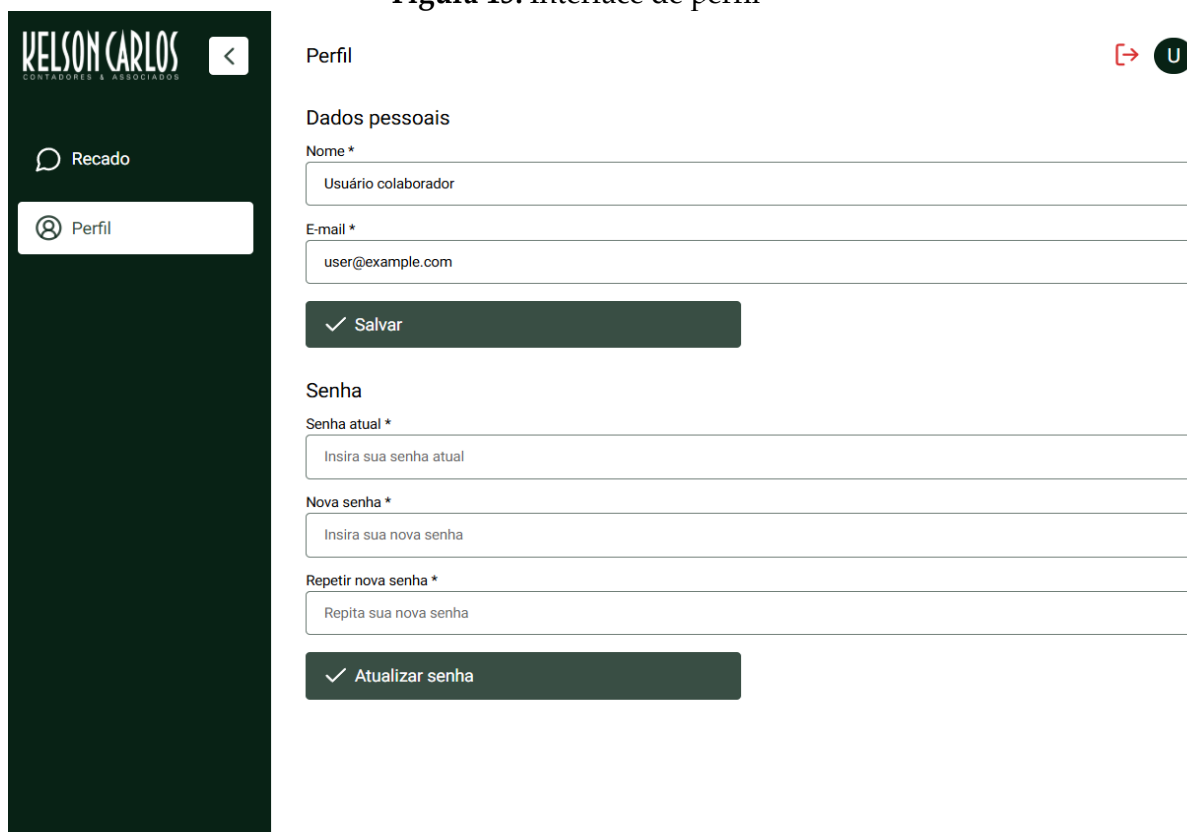
Insira uma mensagem

➤ Enviar

Fonte: elaborado pelos autores, 2025.

Por fim, a segunda funcionalidade compartilhada entre os usuários administrador e colaborador no sistema é a funcionalidade de perfil, apresentada na Figura 15, na qual os usuários poderão alterar as suas próprias informações.

Figura 15: Interface de perfil



Perfil

Dados pessoais

Nome *

Usuário colaborador

E-mail *

user@example.com

✓ Salvar

Senha

Senha atual *

Insira sua senha atual

Nova senha *

Insira sua nova senha

Repetir nova senha *

Repita sua nova senha

✓ Atualizar senha

Fonte: elaborado pelos autores, 2025.

Na interface são apresentados dois formulários para atualização do cadastro. Um deles possui a responsabilidade de atualizar os dados pessoais do usuário como nome e *e-mail*; já o outro formulário tem a função de atualização da senha utilizada para acessar o sistema.

5 CONCLUSÃO

Com base em todas as funcionalidades apresentadas e descritas ao longo deste artigo, é possível afirmar que todos os objetivos propostos foram plenamente alcançados. O sistema desenvolvido contempla todas as operações previstas, como o gerenciamento completo de clientes, serviços prestados, cobranças e usuários. Além disso, foram implementadas as funcionalidades específicas destinadas aos diferentes perfis de acesso (administrador e colaborador), garantindo o correto controle de permissões e a usabilidade esperada no contexto do escritório de contabilidade.

Para o escritório de contabilidade, o sistema representará um diferencial significativo no desempenho das atividades diárias, pois automatiza processos que são realizados manualmente. Essa automação contribui para uma gestão mais eficiente dos clientes e proporciona aos colaboradores mais tempo para se dedicarem às atividades contábeis em si. Outro destaque é a funcionalidade de envio de recados, que aprimora a comunicação com os clientes, tornando-a mais ágil e organizada.

Como proposta de evolução do sistema, sugerem-se dois novos módulos complementares. O primeiro seria um módulo de relatórios, voltado à geração de informações gerenciais que permitam ao administrador acompanhar o desempenho da empresa, como valores cobrados, serviços mais contratados e número de clientes ativos. Esse recurso proporcionaria uma visão analítica dos dados, auxiliando na tomada de decisões estratégicas. O segundo seria um portal do cliente, que ofereceria um ambiente de autoatendimento para que os clientes possam acessar suas cobranças, recibos e serviços contratados, além de visualizar os comunicados recebidos. Juntos, esses módulos ampliariam a funcionalidade e o valor da aplicação, fortalecendo a eficiência operacional e o relacionamento com os clientes.

Em suma, o sistema desenvolvido não apenas atingiu todos os objetivos propostos, mas também serviu como base para identificar oportunidades de evolução que podem elevar ainda mais a qualidade e a usabilidade da aplicação em futuras versões.

REFERÊNCIAS

BOFF, Giovani de Souza *et al.* **Serviço para gerenciamento de identidades e acessos baseado em Arquitetura Limpa e Microserviços**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Tecnologia em Sistemas Para Internet) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2023.

BOUSSIENGUI, Pedro Henrique Wilfride de Lima. **Proposta de arquitetura e desenvolvimento de API do sistema Bot Educacional utilizando os princípios de Domain-Driven Design e Arquitetura Limpa**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia de Computação) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2023.

CAPISTRANO, Lucimara Maranhão. **O papel do contador**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Ciências Contábeis) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

FONSECA, Reinaldo Aparecida *et al.* A importância do Contador nas organizações. In: XI SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA (SEGeT), 2014, Resende. **Anais [...]**. Resende: AEDB, 2014. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos14/32720337.pdf>.

GOMES, Jéssica Araldi *et al.* Sistema (Enterprise Resource Planning) ERP na contabilidade. **eHumanit@s**, Araçatuba, São Paulo, p. 228-242, 2022.

MASSE, Mark. **REST API design rulebook**. O'Reilly Media, Inc., 2011.

OUTLAW, Michael. **Clean Architecture: Make Your Architecture Scream**. 2018. Disponível em: <https://www.codingblocks.net/podcast/clean-architecture-make-your-architecture-scream/>.

PAUTASSO, Cesare; ZIMMERMANN, Olaf; LEYMANN, Frank. **Restful web services vs. "big" web services: making the right architectural decision**. Proceedings of the 17th international conference on World Wide Web, 2008. p. 805-814.

POSSEBON, Cláudia; RIBEIRO, Wagner de Souza. **Sistemas de informação gerencial**. São Paulo: Editora Senac, 2020.

PRÓVIO. **Os 10 maiores desafios dos profissionais da área de contabilidade**. LinkedIn, 24 jul. 2023. Disponível em: <https://shre.ink/Mdef>.

SILVEIRA, Luis André da. **Um estudo sobre o desenvolvimento de produtos digitais acessíveis dos pontos de vista gerencial e estratégico das organizações**. 2023. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/100/100131/tde-04122023-235404/>.

UNICESUMAR. **Qual a atuação do contador e suas responsabilidades em uma empresa?** 22 ago. 2017. Disponível em: <https://shre.ink/MdeW>.

VALENTE, Marco Tulio. **Engenharia de software moderna: princípios e práticas para desenvolvimento de software com produtividade**. Editora: Independente, 2020.

Moeda única para o Mercosul e a necessidade da harmonização tributária de seus estados-partes

GABRIEL QUEIROZ GONÇALVES

Discente de Ciências Contábeis (UNIPAM)

gabrielqg@unipam.edu.br

HEITOR CUNHA BARROS

Professor orientador (UNIPAM)

heitorcb@unipam.edu.br

Resumo: Este artigo analisa a viabilidade da criação da moeda única (MU) e da harmonização tributária no Mercado Comum do Sul (Mercosul). Adotou-se a abordagem qualitativa, descritiva, de natureza bibliográfica e documental, com o *corpus* norteado pelo Tratado de Assunção (1991) e por 35 estudos selecionados sobretudo em bancos de dados eletrônicos, como o Google Acadêmico e SciELO, conforme critérios de inclusão e exclusão, predefinidos pela teoria das Áreas Monetárias Ótimas (AMO) e literatura acerca da integração econômica. Os resultados indicam que o Mercosul não atende aos critérios da AMO, pois as relações macroeconômicas de seus estados-membros encontram-se assíncronas, impossibilitando a criação de uma MU e a perpetuação da incompletude da união aduaneira dada as exceções à Tarifa Externa Comum. Concluiu-se que a harmonização tributária e a consolidação da união aduaneira constituem condições prévias, e não consequências, de uma eventual MU, cuja adoção se mostra inviável no curto e médio prazo.

Palavras-chave: Mercosul; moeda única; harmonização tributária; união aduaneira; Áreas Monetárias Ótimas.

Abstract: This article analyzes the feasibility of creating a single currency (SC) and implementing tax harmonization within the Southern Common Market (Mercosur). A qualitative, descriptive, bibliographic, and documentary approach was adopted, with the corpus guided by the Treaty of Asunción (1991) and by 35 studies selected mainly from electronic databases, such as Google Scholar and SciELO, according to inclusion and exclusion criteria predefined by the theory of Optimal Currency Areas (OCA) and the literature on economic integration. The results indicate that Mercosur does not meet the OCA criteria, since the macroeconomic relations among its member states are asynchronous, making the creation of a single currency unfeasible and perpetuating the incompleteness of the customs union due to exceptions to the Common External Tariff. It was concluded that tax harmonization and the consolidation of the customs union constitute prior conditions, rather than consequences, of a possible single currency, whose adoption proves unfeasible in the short and medium term.

Keywords: Mercosur; single currency; tax harmonization; customs union; Optimal Currency Areas.

1 INTRODUÇÃO

A intensificação das trocas comerciais entre países, no contexto da globalização econômica, impulsionou a criação de tratados para facilitar a circulação de mercadorias e serviços. Diante disso, houve a integração econômica nos países sul-americanos, resultando na formação do Mercado Comum do Sul (Mercosul), instituído pelo Tratado de Assunção em 1991, por Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai. Sousa, Tomaz e Colalto Junior (2024) entendem que essa integração promovida pelo bloco deveria viabilizar o fortalecimento de seus Estados-partes, garantindo o livre comércio e a competitividade regional.

Concomitantemente, perante a globalização comercial, a descentralização da produção industrial e os acordos comerciais pelo mundo, Albuquerque (2021) indica que há a dificuldade em relação à fiscalização aduaneira bem como conflitos tributários que possibilitam esquemas de elisão e evasão fiscal. Dessa forma, o autor aponta que, para a manutenção de economias abertas, tanto as políticas econômicas quanto a adequação da tributação dos países-membros de um bloco econômico, devem se sintonizar e se desenvolver em ritmo equivalente.

Nesse cenário, ressurg periodicamente a discussão acerca da instauração de uma união monetária entre os países do Mercosul. Como apresentado por Sousa, Tomaz e Colalto Junior (2024), esse tipo de união e a criação de uma moeda regional podem reduzir a dependência do dólar, facilitar as transações intrabloco, diminuir os custos de conversão e grandes oscilações cambiais e estimular o investimento no setor privado.

Contudo, a literatura econômica condiciona o sucesso das uniões monetárias a pré-requisitos estruturais sintetizados na teoria das Áreas Monetárias Ótimas (AMO) e ao aprofundamento nas etapas de integração econômica, como a consolidação da união aduaneira e harmonização tributária (Mundell, 1961; Vieira, 2011; Vasconcelos; Tebaldi, 2024).

Diante disso, formula-se as seguintes questões de pesquisa: em que medida o Mercosul reúne as condições econômicas, aduaneiras e tributárias necessárias à adoção de uma moeda única? Qual o papel da harmonização tributária nesse processo?

Dessa forma, o objetivo geral dessa pesquisa é examinar a possibilidade da adoção de uma moeda única à luz da teoria das AMO, considerando para tanto a harmonização tributária e os conflitos fisco-aduaneiros do bloco. Para isso, este artigo estruturou-se nos seguintes objetivos específicos: I - conhecer o Mercosul, seus objetivos institucionais, e os instrumentos aduaneiros que regulam o mercado comum, como a Nomenclatura Comum do Mercosul (NCM) e a Tarifa Externa Comum (TEC); II - distinguir os conceitos entre a moeda comum e moeda única; III - avaliar a união econômica e monetária e sua inerente área monetária ótima; IV - identificar os problemas fisco-aduaneiros apontados pela literatura; e V - discutir benefícios e limitações da harmonização tributária do Mercosul, incluindo a perda da autonomia de adoção das políticas fiscais e monetárias.

O presente artigo se justifica, a princípio, pela relevância econômica do tema, ao considerar a necessidade do fortalecimento da interação comercial de macrorregiões como o Mercosul. O artigo ainda considera a exposição do bloco à volatilidade cambial e a impactos inflacionários, desse modo apontando vantagens e desvantagens das

medidas aqui discutidas (Sousa; Tomaz; Colalto Junior, 2024; Vasconcelos; Tebaldi, 2024). Além disso, justifica-se pela relevância no âmbito das ciências contábeis, sobretudo à área tributária, no que diz respeito aos impasses fisco-aduaneiros existentes no Mercosul.

Além desta introdução, o artigo apresenta o referencial teórico (seção 2), os procedimentos metodológicos (seção 3), os resultados e a discussão (seção 4) e as considerações finais (seção 5).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 MERCADO COMUM DO SUL (MERCOSUL): INSTITUIÇÃO, OBJETIVOS E ESTÁGIO DE INTEGRAÇÃO

O desenvolvimento da América Latina ocorreu de forma subordinada ao sistema capitalista internacional, de forma a suprir as demandas das forças hegemônicas, fomentando a desarticulação dos poderes políticos, econômicos e sociais (Müller, 2011). Considerando este contexto, Mariano, Ramanzini Júnior e Vigevani (2021) apontam que na América Latina ainda existe a dependência de financiamento monetário e de tecnologia externa, tornando os países vulneráveis às oscilações cambiais.

De acordo com Soares Filho (2009), a integração dos países surge como estratégia de inserção e participação na economia globalizada, de forma a suprir as necessidades do desenvolvimento socioeconômico e do dinamismo comercial. Nesse sentido, constituiu-se o Mercosul, conforme o Tratado de Assunção firmado em 26 de março de 1991.

O tratado integrou e formalizou a união, inicialmente, da Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai, propondo a cooperação e desenvolvimento de seus Estados partes, formando assim o Mercado Comum do Sul (Mercosul), ao qual posteriormente aderiram outros países sul-americanos, como a Bolívia e a Venezuela, que neste momento se encontra suspensa no exercício de seus direitos e obrigações para com o bloco (Mercosul, [s. d.]).

Com isso, conforme o Tratado de Assunção de 26 de março de 1991, promulgou-se no Brasil o decreto nº 350/91, que estabelece a constituição do Mercosul, ressaltando em seu Capítulo I, art. 1º, que o mercado comum implica

[...] a livre circulação de bens, serviços e fatores produtivos entre os países, através, entre outros, da eliminação dos direitos alfandegários e restrições não tarifárias à circulação de mercadorias e de qualquer outra medida de efeito equivalente; o estabelecimento de uma tarifa externa comum e a adoção de uma política comercial comum em relação a terceiros Estados ou agrupamentos de Estados e a coordenação de posições em foros econômico-comerciais regionais e internacionais (Brasil, 1991, art. 1º).

2.2 MOEDA ÚNICA E MOEDA COMUM

Moeda única e moeda comum são conceitos distintos. A inserção da moeda comum em uma economia não tem a mesma natureza substitutiva da moeda doméstica; assim como estudado por Vasconcelos e Tebaldi (2024), há a circulação desta moeda considerada comum entre os países, como também da moeda já usual em cada país; diferentemente da moeda única, que é a única moeda circulante nos países, substituindo a moeda doméstica.

Entretanto, os autores entendem que, para que seja possível uma moeda única entre um conjunto de países, é necessária a criação de uma autoridade monetária supranacional, como um banco central. Mendonça e Silva (2004) argumentam que a adoção da moeda única pode estimular as economias ao promover redução dos custos de transação e troca de moeda, visto que não haveria mais necessidade de conversão de câmbio em transações intrabloco, assim reduzindo a dependência do dólar. Contudo, os autores alertam que, para que tais benefícios sejam possíveis, é preciso um elevado grau de integração econômica dos países envolvidos.

No mesmo sentido, avaliando a necessidade da inserção de uma moeda única no Mercosul, Vasconcelos e Tebaldi (2024) entendem que sua implementação requer vínculos comerciais e financeiros dos países comprometidos, ainda necessitando da sintonia dos ciclos econômicos, das políticas monetárias e fiscais, fatos estes que, conforme os autores, fogem da realidade sul-americana.

Assim, Mello (2023) acrescenta que, quando se visa ao sucesso nesse tipo de integração, é necessário que se baseie em alguns princípios para a viabilidade da união econômica e financeira entre países de um mesmo bloco, como estímulos para maior competitividade das empresas; avanços nos âmbitos tecnológicos com o fomento à melhor mão de obra e melhor aplicação dos recursos naturais; e crescimento da produtividade acompanhado da expansão do consumo proporcionado pela integração econômica.

2.3 UNIÃO ECONÔMICA E MONETÁRIA (UEM) E TEORIA DAS ÁREAS MONETÁRIAS ÓTIMAS (AMO)

Dado o entendimento sobre o que é Moeda Única, Ribeiro (1999) argumenta que o sistema monetário brasileiro não está isolado dos demais sistemas monetários do mundo, afirmando que há interação entre os sistemas monetários dos Estados partes do Mercosul. Nesse sentido, Vieira (2011) resalta as etapas de integração econômica, sendo elas a zona de livre comércio, união aduaneira, mercado comum e, por fim, a UEM. Com isso, é possível compreender o motivo pelo qual a UEM decorre da formação de um mercado comum, sendo, portanto, o último estágio de integração regional.

Fernandes (2021) observa que, para que haja adoção de uma moeda única pelos países, é preciso que exista a UEM entre esses países. A autora esclarece que esta se trata da integração econômica e do aprofundamento político de países com semelhantes características. Para a autora, a UEM tem como finalidade a cooperação dos Estados

partes em questões político-econômicas, porém, para isso, é indispensável a consolidação de uma Área Monetária Ótima.

Assim sendo, para que se chegue ao nível requisitado para o estabelecimento de uma UEM, é essencial o alinhamento macroeconômico dos países no que tange (i) à estrutura do mercado de trabalho, (ii) ao grau de abertura da economia ao comércio internacional, (iii) ao saldo monetário das transações de bens e serviços com o resto do mundo e (iv) ao nível de desenvolvimento industrial (Neduziak, 2018, p. 17).

Com isso, Ishii (2008) traz a compreensão sobre as AMO. Para a autora, áreas monetárias são os conjuntos de países que utilizam o câmbio fixo em relação aos países constituintes da área, e flexível em relação aos demais países, enquanto o termo “ótimo” refere-se ao melhor conjunto de metas macroeconômicas que procuram o aprimoramento, a estabilidade econômica e o bem-estar dos países envolvidos, portanto, serão consideradas ótimas as áreas com economias estáveis, similares e com controle inflacionário.

Os primeiros conceitos introduzidos acerca das AMO, no entendimento de Domingos e Fernando (2024), surgiram com os estudos de Robert Mundell (1961), que entendia que a AMO engloba áreas socioeconomicamente equivalentes, com mobilidade dos fatores de produção como o trabalho e o capital.

A esse respeito, em literatura posterior, como a apresentada por Kenen (1969 *apud* Fernandes, 2021), acrescenta-se que, nas Áreas Monetárias Ótimas, também se encontra um sistema fiscal centralizado, servindo como suporte para regiões com dificuldades econômicas e instabilidade política, com transferências monetárias aos Estados-partes com o objetivo de equilibrar a balança de pagamentos. Domingos e Fernando (2024) sintetizam que a AMO visa otimizar a eficiência de seus regimes cambiais, utilizando como intermediário uma moeda comum entre os países envolvidos, consolidando, conseqüentemente, a integração regional.

Para isso, é necessária a sintonia entre dois grandes pontos com o propósito da integração monetária, sendo eles os aspectos econômicos bem como o enquadramento regional nos embasamentos teóricos das AMO¹ (Mello, 2023). Kenen (1969 *apud* Fernandes, 2021) argumenta que a especialização de países em determinado segmento industrial os torna vulneráveis a choques externos, propondo que a diversificação produtiva é fator determinante para menor volatilidade dos impactos produtivos estrangeiros, tornando as economias mais adequadas a uma união monetária.

Entretanto, as desvantagens da UEM também devem ser evidenciadas. Ao adotar uma UEM, os países abdicam de sua autonomia, sobretudo no que diz respeito às políticas cambiais e monetárias, mas também há restrições quanto à independência para a operacionalização das próprias políticas econômicas dos Estados-partes da união (Ferrari Filho; Paula, 2002).

Dessa forma, os custos tendem a ser maiores em uniões com países menos estruturados, estes que poderão ser prejudicados em cenários econômicos recessivos, pois caberá ao Banco Central da união estabelecer as taxas de juros como medida

¹ Mello (2023) entende que, para haver a AMO, é preciso: política monetária única; gestão centralizada para as reservas de câmbio; banco central para a gestão monetária; grande mobilidade *Cross-border*, ou laboral; integração financeira e diversificação industrial.

macroeconômica, suprimindo a autonomia dos países em tomar decisões que os beneficiem (Araújo, 2021).

No caso latino-americano, na esfera do Mercosul, esses custos devem ser analisados considerando seu histórico socioeconômico. Sawaya (2023) argumenta que a construção econômica dos países da América Latina se deu em um contexto de submissão às economias centrais, as quais se beneficiam de sua desindustrialização para submeter os países a uma posição de produção industrial de bens inferiores e primários, prejudicando o próprio progresso.

Consequentemente, houve distorções sociais, como a dependência econômica latino-americana em relação às economias desenvolvidas e a exclusão social de classes inferiores em processos político-democráticos, como apresentado por Wasserman (2010).

A autora ainda discute o impacto negativo no desenvolvimento socioeconômico dos países da América Latina por serem forçados a se especializar em indústrias de base, sem acompanhar o aprimoramento de outros setores de produção, como o setor tecnológico. Tal especialização produtiva, à luz do argumento de Kenen, reduz a aptidão da região para uma união monetária.

Nesse sentido, é perceptível que os países integrantes do Mercosul, de acordo com Neduziak (2018), distinguem-se acentuadamente em questões econômicas, impossibilitando a aplicação dos pressupostos teóricos das AMO, por se tratarem de economias instáveis e desalinhadas entre si.

2.4 CONFLITOS FISCO-ADUANEIROS

2.4.1 Tarifa Externa Comum (TEC), Elisão e Evasão fiscal

Conforme o Tratado de Assunção (Brasil, 1991), no artigo 5º, que diz respeito a reduções tarifárias, eliminação de restrições comerciais e da criação de uma TEC visando a competitividade justa dos estados pertencentes ao bloco econômico, ressalta-se que a TEC consiste em um conjunto de alíquotas dos impostos de importação estabelecidos entre os países integrantes do Mercosul para provenientes de países de fora do bloco, baseando-se na Nomenclatura Comum do Mercosul (NCM).²

Dessa forma, a TEC visa a plena competitividade entre os membros do bloco; assim, segundo Florêncio (2015), a tarifa foi uma medida para garantir que haja a neutralidade de concorrência das exportações no âmbito do Mercosul. Florêncio (2015, p. 10) ainda afirma que “A TEC confere unidade à política comercial dos países membros com relação a terceiros mercados”.

Contudo, há contradições quanto à eficácia da TEC, já que Batista (2021) aponta que existem listas de exceções à tarifa, essas que dificultam a uniformização tarifária e a livre circulação de bens e serviços, razão pela qual o Mercosul ainda não pode se

² A NCM tem como finalidade não só a identificação do produto comercializado, como também sua classificação fiscal. Por objetivo, tem a finalidade de coletar, analisar e comparar as informações do produto, mas também a NCM estabelece os tributos que pairam sobre a mercadoria, bem como o regime tributário a ser adotado. (Sousa, 2015).

classificar como mercado comum, já que o mercado não está preparado para a unificação de taxas e para a livre circulação dos bens. Kume e Piani (2005) reafirmam esta ideia, propondo ainda que as concessões às exceções da TEC, fundamentadas em argumentos macroeconômicos, enfraquecem a rigidez da união aduaneira, condicionando o Mercosul à flutuação entre a zona de livre comércio³ e união aduaneira.

Para compreender os conflitos aduaneiros existentes, é importante compreender o que submete o contribuinte a procurar meios para reduzir o ônus tributário. Assim, Lima (2020) identifica que a alta carga tributária é fator determinante para que os contribuintes procurem formas de reduzir as despesas para com a tributação. Contudo, o autor ressalta que o Estado assume posições inflexíveis quanto à arrecadação dos tributos, o que eleva os custos das empresas e faz com que os tributos representem parcela expressiva dos preços de seus produtos.

Lima (2020) e França, Roberto e Almeida (2024) convergem quanto à aplicação dos termos “elisão fiscal” e “evasão fiscal”, entendendo que a elisão fiscal se trata do uso de meios legais para a redução da carga tributária, enquanto a evasão fiscal contradiz a legislação e as normas, diminuindo o ônus tributário a ser pago de forma ilegal.

2.4.2 União Aduaneira Imperfeita e Circunvenção Tributária

Quando se trata das causas da união aduaneira (UA) imperfeita bem como da circunvenção tributária, é preciso entender os motivos que fundamentam estes fatos.

Vieira (2011), considerando as etapas de integração econômica, entende que a UA do Mercosul se tornou imperfeita, estagnando-se nesse estágio. Para o autor, o Mercosul não conseguiu atingir o nível de mercado comum, e, para a resolução da inércia da UA, é proposta a harmonização da tributação dos países do bloco.

Portanto, é notório que uma das barreiras que impedem a ascensão do título de Mercado Comum para uma UEM é a incompletude da UA do Mercosul. Concomitantemente a isso, em conformidade com Vieira (2011), Ferro (2024, p. 83) atribui a estagnação da união aduaneira ao frisar que ainda há muitas exceções à TEC, com cerca de 15% do total dos produtos comercializados fora da TEC.

Com os fatos apresentados é possível compreender de que maneira os agentes econômicos do Mercosul utilizam das exceções da TEC para praticar atos de circunvenção tributária⁴. No ordenamento brasileiro, segundo o Art. 122 do Decreto n. 8058/2013, “Constitui circunvenção prática comercial que vise a frustrar a eficácia de medida *antidumping*⁵ vigente por meio da introdução [...] das importações” (Brasil, 2013, art. 122).

³ Kume e Piani (2005) estabelecem que a zona de livre-comércio permite que cada país-membro do bloco tenha poder sobre as próprias políticas comerciais, diferentemente da União Aduaneira que propõe a adoção da TEC, estabelecendo uma tarifa comum para os países-membros.

⁴ “Práticas de triangulação com elisão fiscal” (Calixtre; Desiderá Neto, 2011)

⁵ Conforme o Decreto n. 8.058, de 36 de julho de 2013 (Brasil, 2013), *dumping* trata-se de exportações de produtos com valor inferior ao real, assim modificando os ganhos de comércio incentivando os setores denegridos a adotarem como mecanismos de defesa à prática ilegal do

Trata-se, logo, de conceito próprio da defesa comercial, que não se confunde com a elisão ou a evasão de tributos internos, embora possa produzir efeitos arrecadatórios semelhantes. Dessa forma, Calixtre e Desiderá Neto (2011) relatam que os países-membros praticam atos de triangulação, ao utilizar a circunvenção dos tributos, prática que ocorre quando a mercadoria chega ao país de destino passando por um terceiro país a fim de se pagar menos impostos.

Os autores esclarecem que essas práticas se dão pela diferença de tributação dos países envolvidos na triangulação, no contexto do Mercosul possibilitada pelas exceções da TEC, ou realizadas até mesmo pelas medidas de *antidumping* aplicadas à mercadoria, reiterando a necessidade da consolidação da União Aduaneira.

2.4.3 Harmonização Tributária

Retomando o que foi mencionado anteriormente acerca da UEM, como objetivo do estabelecimento do Mercosul, o Tratado de Assunção, em seu Artigo 1º, explicita como propósito do bloco econômico:

A coordenação de políticas macroeconômicas e setoriais entre os Estados Partes [...], a fim de assegurar condições adequadas de concorrência entre os Estados Partes; e o compromisso dos Estados Partes de harmonizar suas legislações, nas áreas pertinentes, para lograr o fortalecimento do processo de integração (Brasil, 1991, art. 1º).

Ferro (2024) entende que as políticas macroeconômicas dos Estados-partes do Mercosul estão descoordenadas, descumprindo os objetivos firmados logo no primeiro artigo do documento que constitui o bloco. Orlandini (2024) afirma que, por mais que o Brasil, mediante a reforma tributária e a criação do Imposto sobre Valor Agregado dual (Brasil, 2023), tenha caminhado rumo à coordenação da legislação tributária dos países da América Latina, os sistemas tributários do Mercosul sequer trabalham em cooperação mútua visando cumprir o que foi proposto no artigo mencionado.

Em consonância com isso, Ramos (2024) defende a harmonização tributária como fator para a consolidação da UA, aliviando os problemas aduaneiros no que tange à arrecadação fiscal. Entretanto, para o autor, a harmonização tributária no Mercosul tem dois limitadores: a discrepância entre os sistemas tributários e a relutância em abdicar da soberania fiscal, visto que cada membro do Mercosul possui sua própria política fiscal, e para que haja uma harmonização tributária é essencial uma reforma tributária em todos os países do bloco.

Delgado e Nunes (2024) reforçam esse diagnóstico ao compreender a limitação à ascensão da harmonização tributária e ao observar as metas fiscais de cada país, estes que estão dependentes dos próprios sistemas tributários. Para os autores, isso acontece porque existe o dilema da receita tributária, que é a principal fonte de financiamento do

dumping, como as medidas *antidumping*. Logo, as políticas *antidumping* renegam a prática de *dumping* através de taxações dos países exportadores.

Estado e possui baixo custo administrativo. Assim, em um cenário de harmonização, os Estados partes não poderiam impor as próprias alíquotas conforme as metas de arrecadação, dificultando a adesão aos seus princípios.

3 METODOLOGIA

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Quanto aos objetivos, a pesquisa é descritiva. Entende-se que o estudo descritivo caracteriza o cenário estudado, respondendo perguntas como “O quê? Quando? Onde?”, obtendo o aprofundamento do que é apresentado na pesquisa (Sampaio, 2022).

Quanto à abordagem, é qualitativa, pois, de acordo com Galvão, Pluye e Ricarte (2017), pesquisas qualitativas dispõem de descrições detalhadas do objeto de estudo em relação a fenômenos complexos. Assim, visando esclarecer os embates existentes acerca do assunto abordado, este estudo desenvolveu-se em caráter qualitativo, pois foi capaz de esclarecer a complexidade que engloba o Mercosul e sua política macroeconômica, contribuindo para o entendimento das divergências socioeconômicas dos países latino-americanos constituintes do Mercosul.

Quanto aos procedimentos, é bibliográfico e documental. Silva, Oliveira e Silva (2021) apontam que a pesquisa bibliográfica se enquadra como revisão de literatura, sendo esta, uma obrigatoriedade de quaisquer estudos, que propicia a solução do problema de pesquisa. Documental, pois visa à produção de conhecimento ao analisar e sistematizar outros documentos (Magalhães Júnior; Batista, 2023).

O recorte temporal compreende o período de 1991-2025, permitindo acompanhar a evolução do bloco econômico, os debates já existentes acerca da harmonização tributária entre os Estados-partes e suas problemáticas que perduraram ao longo dos anos.

3.2 *Corpus* DOCUMENTAL

O *corpus* documental compreendeu fontes primárias, provenientes de documentos oficiais do Mercosul, como o Tratado de Assunção, promulgado no Brasil pelo Decreto nº 350/1991, e demais normativas do bloco, retirados diretamente do portal oficial do Mercosul. Também foram utilizadas as fontes secundárias. Magalhães Júnior e Batista (2023) entendem que as fontes secundárias consistem em documentos que analisam, interpretam ou sistematizam dados e teorias da bibliografia já publicada, contribuindo para a contextualização do problema de pesquisa.

Este estudo contém fontes advindas de artigos, bem como teses, dissertações, livros e revistas, e foram utilizadas como critério principal para a seleção das fontes bibliográficas as palavras-chave que englobam o Mercosul e os problemas alfandegários. Assim, o trabalho contém fontes bibliográficas, com ênfase em bases de dados científicas como a SciElo, indexadas, além de repositórios institucionais de universidades.

Neste artigo foram priorizadas produções mais recentes que apresentam a realidade atual do Mercosul e seus impasses fisco-aduaneiros, entretanto, embasando-

se ainda na literatura fundamental ao objeto de estudo, como a teoria das Áreas Monetárias Ótimas, indispensável à sustentação teórica do presente trabalho.

3.3 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO E PROCEDIMENTO DE ANÁLISES

O levantamento bibliográfico foi realizado entre julho de 2024 e março de 2025 no Google Acadêmico, na SciELO e em repositórios institucionais, entre eles: Universidade Federal do Rio Grande do Norte e Universidade do Minho. Utilizaram-se os descritores “Mercosul”, “união aduaneira”, “Tarifa Externa Comum”, “moeda única”, “harmonização tributária”, “elisão fiscal” e “triangulação”, pesquisados individualmente nas bases selecionadas.

Os dados foram coletados alinhados aos objetivos específicos do artigo, por meio de fichamento, e organizados por eixo temático e temas correlatos, como (i) estruturação, instituição e estudos sobre o Mercosul; (ii) moeda única e moeda comum; (iii) estudos sobre as etapas de integração regional, principalmente os que estudavam as Uniãos Econômicas e Monetárias e o embasamento teórico das Áreas Monetárias Ótimas; (iv) artigos sobre as uniões aduaneiras, Tarifa Externa Comum e suas exceções, evasão e elisão fiscal, além dos problemas fisco-aduaneiros no cenário sul-americano; (v) pesquisas sobre harmonização tributária e seus impactos em uma macrorregião.

Essa sintetização permitiu selecionar artigos e documentos pelo critério de inclusão e exclusão, eliminando trabalhos que não atendiam aos objetivos da pesquisa, e incluindo preferencialmente estudos redigidos em língua portuguesa, com disponibilidade completa do texto, priorizando pesquisas publicadas a partir de 2020, contudo, como mencionado, incluindo textos de datas anteriores fundamentais à pesquisa. Desse modo, 257 pesquisas foram reduzidas a 35 estudos e documentos que compõem o referencial teórico deste artigo, distribuídos entre as quatro categorias analíticas do Quadro 1:

Quadro 1: Composição do *corpus* bibliográfico por categoria analítica

Categoria	Foco de análise	Fontes
C1 - Estágio de integração do Mercosul	Origem, objetivos, vulnerabilidade externa e estágio da integração	Mercosul ([s. d.]); Soares Filho (2009); Müller (2011); Mariano, Ramanzini Júnior e Vigevani (2021); Sousa, Tomaz e Colalto Junior (2024); Brasil (1991)
C2 - Moeda única e critérios de AMO	Conceitos de moeda comum/única, UEM e critérios de AMO	Mundell (1961); Kenen (1969 <i>apud</i> Fernandes, 2021); Ribeiro (1999); Ferrari Filho e Paula (2002); Mendonça e Silva (2004); Ishii (2008); Wasserman (2010); Neduziak (2018); Araújo (2021); Fernandes (2021); Mello (2023); Sawaya (2023); Domingos e Fernando (2024); Vasconcelos e Tebaldi (2024)
C3 - Conflitos fisco-aduaneiros	TEC e exceções, triangulação, circunvenção, elisão e evasão	Kume e Piani (2005); Calixtre e Desiderá Neto (2011); Brasil (2013); Florêncio (2015); Sousa (2015); Lima (2020); Albuquerque (2021); Batista (2021); Brasil (2023); França, Roberto e Almeida (2024); Ferro (2024)
C4 - Harmonização tributária	Benefícios, limitações e estágio da harmonização	Vieira (2011); Delgado e Nunes (2024); Orlandini (2024) e Ramos (2024)

Fonte: elaborado pelos autores, 2025.

Os dados foram organizados por meio da categorização da análise de conteúdo, que, para Bardin (2016), trata-se da reunião de elementos por meio de títulos genéricos, agrupando tais elementos por suas características em comum. Neste caso, foi realizada em três fases: (i) pré-análise, com leitura flutuante realizando a seleção prévia dos textos e organização do corpus; (ii) exploração do material, categorizando os textos, definindo, *a priori*, as categorias C1, C2, C3 e C4 presentes no quadro 1; e (iii) tratamento e interpretação dos dados coletados. Na categoria C2, cada critério de AMO foi classificado como atendido, parcialmente atendido, não atendido ou sem evidência suficiente no corpus, conforme a convergência das fontes analisadas.

Com isso, houve a validação da análise dos dados pela triangulação entre as fontes, permitindo identificar não só as convergências entre autores, mas também as divergências, proporcionando a análise mais aprofundada dos pontos de desacordo. Para a redação e formatação do texto, utilizou-se o Word e o Google Docs, este como uma ferramenta dinâmica e colaborativa na escrita da pesquisa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a análise realizada sobre os 35 estudos aqui investigados, observa-se que, após a compreensão do que estava proposto no Tratado de Assunção (Brasil, 1991), entende-se o propósito do Mercosul, sendo, principalmente, a livre circulação de bens e serviços e a coordenação de políticas macroeconômicas. Assim, nota-se que a criação do bloco decorreu da necessidade de manutenção econômica e interação comercial entre os países.

Assim, considerando os estágios de integração econômica do bloco, observa-se que a UEM está no último estágio, que tem como característica a moeda única (Ribeiro, 1999; Vieira, 2011). Entretanto, para a UEM é fundamental o enquadramento na teoria das AMO.

O Quadro 2 realiza a síntese entre os critérios da teoria das AMO e as evidências apresentadas no referencial teórico.

Quadro 2: Aderência do Mercosul à luz da teoria das Áreas Monetárias Ótimas

Critério	Fundamento teórico	Evidência	Classificação
Mobilidade de fatores de produção	Mundell (1961)	Não é apresentada evidência específica sobre fluxos laborais intrabloco; registra-se dependência de capital externo (Mariano; Ramanzini Júnior; Vigevani, 2021)	Sem evidência suficiente
Diversificação produtiva	Kenen (1969 <i>apud</i> Fernandes, 2021)	Especialização em bens primários e reprimarização (Sawaya, 2023); heterogeneidade estrutural (Neduziak, 2018)	Não atendido
Mecanismos de transferência para regulação de balança de pagamentos	Kenen (1969 <i>apud</i> Fernandes, 2021); Domingos e Fernando (2024)	Inexistência de sistema fiscal comum; sistemas tributários não cooperativos (Orlandini, 2024; Ramos, 2024)	Não atendido

MOEDA ÚNICA PARA O MERCOSUL E A NECESSIDADE
DA HARMONIZAÇÃO TRIBUTÁRIA DE SEUS ESTADOS-PARTES

Convergência macroeconômica e sincronia de ciclos	Neduziak (2018); Vasconcelos e Tebaldi (2024)	Economias heterogêneas e políticas macroeconômicas descoordenadas (Neduziak, 2018; Ferro, 2024; Vasconcelos; Tebaldi, 2024)	Não atendido
Estabilidade econômica e controle inflacionário	Ishii (2008)	Vulnerabilidade persistente às oscilações cambiais (Mariano; Ramanzini Júnior; Vigevani, 2021; Sousa; Tomaz; Colalto Junior, 2024)	Não atendido de forma homogênea
Instituições monetárias supranacionais	Mello (2023)	Inexistência de banco central comum; resistência à renúncia de soberania (Ferrari Filho; Paula, 2002; Ramos, 2024)	Não atendido

Fonte: elaborado pelos autores, 2025,

Com o quadro, torna-se tangível que o Mercosul não se enquadra nos critérios para o estabelecimento de uma UEM, havendo a convergência de conclusões de autores em épocas distintas, como as de Ferrari Filho e Paula (2002), Neduziak (2018) e Vasconcelos e Tebaldi (2024), indicando a historicidade da problemática e a perpetuação de sua não conclusão.

Essa “não aderência” aos critérios se justifica, pois o bloco permanece como UA imperfeita (Vieira, 2011; Ferro, 2024), oscilando entre esta e uma zona de livre comércio (Kume; Piani, 2005), sobretudo em razão das listas de exceções à TEC (Batista, 2021). Calixtre e Desiderá Neto (2011) afirmam que por consequência dessas exceções, trâmites de triangulação são possíveis, desfavorecendo a arrecadação fiscal. Assim, compreende-se a importância da harmonização tributária devido ao maior controle sobre os tributos e a consolidação da UA (Ramos, 2024).

A harmonização tributária também tem desvantagens. Delgado e Nunes (2024) ressaltam que a harmonização afetaria a soberania dos Estados ao impedir que adotem suas próprias políticas fiscais. Entretanto, para haver o mercado comum e para posteriormente evoluir para uma UEM, é necessária a harmonização tributária (Vieira, 2011; Ferro, 2024).

No que tange à harmonização tributária, à UEM e ao estabelecimento da moeda única, levanta-se a hipótese sobre os possíveis benefícios ao Mercosul, em conformidade com a teoria das AMO, como apontados por Domingos e Fernando (2024): (i) maior competitividade industrial, extinguindo os riscos cambiais de conversão em importações e exportações; (ii) equilíbrio na balança de serviços pela mobilidade laboral, suprimindo regiões com falta de mão de obra; (iii) fomento a investimentos, dado à segurança da moeda sem variações cambiais; (iv) otimização na arrecadação tributária, pela redução de triangulações e evasão fiscal.

Tais benefícios, entretanto, são condicionados à superação, pelo Mercosul, das problemáticas indicadas, não assegurados, necessariamente, pela adoção da moeda única, pois, conforme Ferro (2024) e Orlandini (2024), as políticas macroeconômicas do Mercosul estão descoordenadas.

Na atualidade, como mencionado por Delgado e Nunes (2024), os pilares que sustentam a estagnação do bloco econômico são a dependência dos Estados-partes na arrecadação tributária como principal forma de financiamento do Estado. Ainda, existem as particularidades de cada país que necessitam de suas próprias políticas

macroeconômicas (Ramos, 2024). Desse modo, observa-se que nenhuma das problemáticas se sustenta na necessidade de uma moeda única para a sua resolução, tratando-se, principalmente, de problemas estruturais.

Em contraponto, Ferrari Filho e Paula (2002) constataam que a harmonização tributária culminaria na perda da autonomia dos países para a tomada de medidas macroeconômicas, impactando principalmente os países menos favorecidos. Vasconcelos e Tebaldi (2024) compreendem que o processo da união econômica e monetária seria uma cooperação que demoraria anos para se consolidar, visto que primeiramente seria imprescindível a efetivação de um mercado comum, para que prossiga em compasso visando os critérios teóricos da AMO.

Com a pesquisa e com o entendimento de autores como Fernandes (2021) e Neduziak (2018), compreende-se que regiões sem as características ótimas não poderão estabelecer uma moeda única, pois apenas as regiões com semelhanças nas estruturas econômicas podem mitigar os impasses existentes no que tange à abdicação de autonomia dos Estados partes, já que são regiões semelhantes que possibilitam que medidas de combate a choques sejam tomadas.

Com o artigo realizado, mesmo com a ótica de publicações mais antigas até publicações mais novas, estas que em sua maioria baseiam-se na teoria de Mundell (1961), como Ribeiro (1999), Vasconcelos e Tebaldi (2024), Fernandes (2021) e Neduziak (2018), observa-se a tendência na concordância quanto à harmonização tributária e seus impactos positivos à região que adotá-la e efetivamente conseguir inseri-la.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente artigo teve como objetivo analisar a possibilidade da adoção de uma moeda única no Mercosul à luz da teoria das AMO, considerando, para tal, a relação entre a harmonização tributária e os problemas fisco-aduaneiros do bloco. Os resultados permitem responder aos problemas de pesquisa em alguns pontos.

No primeiro, observa-se que o Mercosul, na estruturação em que se encontra o bloco com sua UA imperfeita e os problemas fiscais alinhados a ela, não atende aos critérios estabelecidos na teoria das Áreas Monetárias Ótimas. Por consequência, o bloco encontra-se impossibilitado de conseguir realizar uma harmonização tributária entre seus Estados-partes e também sem perspectivas quanto à realização da UEM.

Em segundo ponto, a adoção da moeda única é inviável no curto e médio prazo, devido à desestruturação do bloco, e seus custos recairiam, sobretudo, às economias menos diversificadas e com menor capacidade de absorção de choques externos.

Em terceiro, o artigo identifica que os problemas aduaneiros existentes se correlacionam às exceções da TEC, que permitem as triangulações e evasões fiscais, não recaindo, portanto, nas múltiplas moedas existentes nos países sul-americanos. Assim, a harmonização tributária e a consolidação da UA refletem mais sobre a resolução dos mencionados problemas do que a adoção da moeda única, esta que seria útil principalmente ao reduzir os custos de conversão de câmbio no comércio intrabloco.

Como contribuição, este artigo analisa a relação entre as AMO e os problemas fisco-aduaneiros, algo usualmente debatido de forma separada. No âmbito contábil, a relevância se encontra no entendimento da aproximação do Brasil, pela Emenda

Constitucional 132/23 (Brasil, 2023), com o sistema tributário de outros países do bloco, visto que houve a redução da complexidade do sistema brasileiro ao adotar o modelo do Imposto sobre Valor Agregado.

Ressaltam-se, ainda, as limitações metodológicas. Por se tratar de uma pesquisa qualitativa, inviabilizou-se a realização de generalizações estatísticas como forma de validação dos dados. Contudo, a presente pesquisa abre possibilidades para futuros artigos, no âmbito das ciências contábeis, estudando as taxas de evasão e elisão fiscal possibilitadas pelas exceções da TEC, ou no âmbito dos estudos econométricos, verificando as problemáticas do Mercosul que impossibilitam uma UEM.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Jair Cabral de. **A reforma da tributação internacional da renda e seus reflexos sobre a política tributária brasileira**. 2021. 158 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Direito, Centro de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021.

ARAÚJO, Artur Patriota. **Mercosul como Zona Monetária Ótima**. 2021. 43 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Economia Monetária, Escola de Economia e Gestão, Universidade do Minho, Braga, 2021.

BATISTA, Luenderaugusto de Jesus. **Dificuldades enfrentadas pelo Mercosul para atingir o patamar de mercado comum, sob a ótica jurídica**. 2021. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Direito e Negócios Internacionais, Universidad Europea del Atlántico, Unai, 2021.

BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2016.

BRASIL. **Decreto nº 350, de 21 de novembro de 1991**. Promulga o Tratado para a Constituição de um Mercado Comum entre a República Argentina, a República Federativa do Brasil, a República do Paraguai e a República Oriental do Uruguai (Tratado Mercosul). Brasília, DF, 21 nov. 1991. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1990-1994/d0350.htm.

BRASIL. **Decreto nº 8058, de 26 de julho de 2013**. Regulamenta os procedimentos administrativos relativos à investigação e à aplicação de medidas antidumping; e altera o Anexo II ao Decreto nº 7.096, de 4 de fevereiro de 2010 [...]. Brasília, DF: Presidência da República, 26 jul. 2013. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/decreto/d8058.htm.

BRASIL. **Emenda Constitucional nº 132, de 20 de dezembro de 2023**. Altera o Sistema Tributário Nacional. Brasília, DF: Presidência da República, 2023. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/emendas/emc/emc132.htm.

CALIXTRE, André Bojikian; DESIDERÁ NETO, Walter Antonio. Desafios para a consolidação da união aduaneira no Mercosul. **Boletim de Economia e Política Internacional**, [S. l.], n. 8, p. 41-48, out./dez. 2011.

DELGADO, Joedson; NUNES, Fernanda. Reforma Tributária como Catalisador da Harmonização Tributária no Mercosul: a construção de um interesse sul-americano. **Caderno Virtual**, Brasília, v. 1, n. 59, 2024. Disponível em: <https://www.portaldeperiodicos.idp.edu.br/cadernovirtual/article/view/7921>.

DOMINGOS, Cristiano Manuel; FERNANDO, Miguel. Teoria das zonas monetárias ótimas: uma análise da viabilidade de uma moeda única no quadro da sadc. **Zenodo**, [S. l.], p. 373-387, 24 nov. 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/ZENODO.14212214>.

FERNANDES, Francisca Martinho Violante. **A união económica e monetária como zona monetária ótima**: falhas políticas, consequências económicas. 2021. 39 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Economia, Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra, Coimbra, 2021.

FERRARI FILHO, Fernando; PAULA, Luiz Fernando de. Será consistente a proposta de criação de uma união monetária no Mercosul? **Brazilian Journal of Political Economy**, São Paulo, v. 22, n. 2, p. 374-383, abr./jun. 2002. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0101-31572002-1007>.

FERRO, J. V. Mercosul: origens, objetivos, mecanismos e a promessa incumprida na liberalização comercial. **Revista Data Venia**, [S. l.], v. 17, n. 2, p. 69-86, 2024. Disponível em: <https://revistas.belasartes.br/datavenia/article/view/527>.

FLORÊNCIO, Sergio Abreu e Lima. Trajetória do Mercosul e mudança de paradigmas e de posições da política externa brasileira: começo virtuoso e crise recente - possíveis interpretações. **Ipea**: texto para discussão, Brasília. p. 1-58, ago. 2015.

FRANÇA, N. da S.; ROBERTO, J. C. A.; ALMEIDA, V. da S. O planejamento tributário, evasão fiscal, elusão fiscal, elisão fiscal. **Cuadernos de Educación y Desarrollo**, [S. l.], v. 16, n. 6, p. e4349, 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.55905/cuadv16n6-010>.

GALVÃO, Maria Cristiane Barbosa; PLUYE, Pierre; RICARTE, Ivan Luiz Marques. Métodos de pesquisa mistos e revisões de literatura mistas: conceitos, construção e critérios de avaliação. **Incid**: Revista de Ciência da Informação e Documentação, Ribeirão Preto, v. 8, n. 2, p. 4-24, 4 out. 2017. Universidade de São Paulo. Agência de Bibliotecas e Coleções Digitais. DOI: <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2178-2075.v8i2p4-24>.

ISHII, Karlin Saori. **Área monetária ótima para o Brasil**: análise das diferenças regionais. 2008. 148 f. (Tese de doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.11606/t.11.2009.tde-10022009-145019>.

KUME, Honório; PIANI, Guida. Mercosul: o dilema entre união aduaneira e área de livre-comércio. **Revista de Economia Política**, [S. l.], v. 25, n. 4, p. 370-390, dez. 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0101-31572005000400004>.

LIMA, Hesdras Marques de Araújo. Planejamento tributário: elisão e evasão fiscal, uma análise conceitual no âmbito fiscal do Brasil. **Revista Científica BSSP**: RCBSSP, S.L, v. 2, n. 2, p. 1-23, dez. 2020. Disponível em: https://app.periodikos.com.br/journal/rcbssp/article/604ba7f8a953953cdc6d6137?utm_source.

MAGALHÃES JÚNIOR, Carlos Alberto de Oliveira; BATISTA, Michel Corci. **Metodologia da Pesquisa em Educação e Ensino de Ciências**. 2. ed. Ponta Grossa: Atena Editora, 2023.

MARIANO, Marcelo Passini; RAMANZINI JÚNIOR, Haroldo; VIGEVANI, Tullo. O Brasil e o Mercosul: atores domésticos e oscilações da política externa nos últimos 30 anos. **Lua Nova**: Revista de Cultura e Política, [S. l.], n. 112, p. 15-54, jan./abr. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-015054/112>.

MELLO, Pedro Carvalho de. Considerações sobre a moeda única no Mercosul. **Revista Estudos e Negócios Academics**, [S. l.], v. 3, n. 6, p. 52-65, 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.58941/26760460/v3.n6.139>.

MERCOSUL. **Países**. Montevideu: MERCOSUL, [s. d.]. Disponível em: <https://www.mercosur.int/pt-br/sobre-o-mercotel/paises>.

MENDONÇA, Helder Ferreira de; SILVA, Anabel da. Moeda única no Mercosul. **Brazilian Journal of Political Economy**, [S. l.], v. 24, n. 1, p. 121-136, jan./mar. 2004. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0101-31572004-1631>.

MÜLLER, Jonatan Pozzobon. Integração regional e coesão social no Mercosul: uma análise à luz da teoria da dependência. **Plural**, São Paulo, v. 18, n. 1, p. 11- 43, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2176-8099.pcsa.2011.74520>.

MUNDELL, Robert A. A theory of optimum currency areas. **The American Economic Review**, Nashville, v. 51, n. 4, p. 657-665, 1961.

NEDUZIAK, Luiz Carlos Ribeiro. Teoria das Áreas Monetárias Ótimas: uma análise de cluster e redes neurais artificiais para o Mercosul. **Revista de Economia**, v. 39, n. 68, p. 24, 2018. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/economia/article/view/67884>.

ORLANDINI, Eduardo. Harmonização da legislação tributária entre os países fundadores do Mercosul. *In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE DIREITO E CONTEMPORANEIDADE: MÍDIAS E DIREITOS DA SOCIEDADE EM REDE*, 7, 2024, Santa Maria. **Anais** [...]. Santa Maria, UFSM, 2024. p. 1-18.

RAMOS, Pablo Alessandro de Guimarães. **Harmonização tributária**: uma análise comparativa entre a União Europeia e as dificuldades vivenciadas pelo Mercosul no que concerne à tributação indireta sobre o consumo. 2024. 96 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Direito, Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2024.

RIBEIRO, Maria de Fátima. O euro e as perspectivas de implantação de uma moeda única no MERCOSUL. **Scientia Iuris**, [S. l.], v. 2, n. 3, p. 64-89, set. 1999.

SAMPAIO, Tuane Bazanella. **Metodologia da pesquisa**. Santa Maria: UAB/CTE/UFSM, 2022.

SAWAYA, Rubens Rogério. Dependência estrutural e reprimarização da América Latina: aportes de ruy mauro marini. **Reoriente**: estudos sobre marxismo, dependência e sistemas-mundo, [S. l.], v. 2, n. 2, p. 192-215, 2023. <http://dx.doi.org/10.54833/issn2764-104x.v2i2p192-215>.

SILVA, M. M.; OLIVEIRA, G. S. de; SILVA, G. O. da. A pesquisa bibliográfica nos estudos científicos de natureza qualitativos. **Revista Prisma**, v. 2, n. 1, p. 91-103, 25 dez. 2021.

SOARES FILHO, José. MERCOSUL: surgimento, estrutura, direitos sociais, relação com a Unasul, perspectivas de sua evolução. **Revista CEJ**, Brasília, v. 13, n. 46, p. 21-38, jul./set. 2009.

SOUSA, Leonardo Picancio de; TOMAZ, Lucas Henrique; COLALTO JUNIOR, Edson Company. Análise do impacto gerado na criação de uma moeda comum para o Mercosul. **Revista do Encontro de Gestão e Tecnologia**, [S. l.], v. 1, n. 02, p. 8-16, 2024. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10909736>.

SOUSA, Sônia Maria Fontinele de. **Nomenclatura comum do Mercosul/Sistema Harmonizado**. 2015. 21 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciências Contábeis, Faculdade Nossa Senhora Aparecida, Aparecida de Goiânia, 2015.

VASCONCELOS, Raphael Carvalho de; TEBALDI, Bernardo de Moura. Moeda única e moeda comum: compreendendo a proposta de uma moeda regional no Mercosul. **Rev. Secr. Trib. Perm. Revis.**, [S. l.], v. 12, n. 21, p. 1-22, 20 maio 2024. Tribunal Permanente de Revisão do MERCOSUL. DOI: <http://dx.doi.org/10.16890/rstpr.a12.n21.e536>.

VIEIRA, L. P. Globalização, integração regional e tributação do consumo de mercadorias e serviços no Mercosul. **REVISTA DA AGU**, [S. l.], v. 10, n. 29, 2011. DOI: 10.25109/2525-328X.v.10. n.29.2011.151.

WASSERMAN, Claudia. A formação do Estado Nacional na América Latina: as emancipações políticas e o intrincado ordenamento dos novos países. **História da América Latina**: cinco séculos (temas e problemas), p. 177-214, 2010.