

HENRIQUE DE ANDRADE CENACHI

**EFEITO DA REABILITAÇÃO DE ÁREAS DE MINERAÇÃO DE BAUXITA NA
INFILTRAÇÃO E NA REPELÊNCIA DO SOLO À ÁGUA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Herly Carlos Teixeira Dias

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2023**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da
Universidade Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

C395e
2023
Cenachi, Henrique de Andrade, 1992-
Efeito da reabilitação de áreas de mineração de bauxita na
infiltração e na repelência do solo à água / Henrique de Andrade
Cenachi. - Viçosa, MG, 2023.
1 dissertação eletrônica (76 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Herly Carlos Teixeira Dias.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Engenharia Florestal, 2023.

Referências bibliográficas: f. 67-76.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2023.694>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Hidrologia florestal. 2. Bacias hidrográficas - Manejo. 3.
Bauxita - Minas e mineração. I. Dias, Herly Carlos Teixeira, 1965-. II.
Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia
Florestal. Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal. III. Título.

GFDC adapt. CDD 22. ed. 634.9116

Bibliotecário(a) responsável: Bruna Silva CRB-6/2552


HENRIQUE DE ANDRADE CENACHI


EFEITO DA REABILITAÇÃO DE ÁREAS DE MINERAÇÃO DE BAUXITA NA
INFILTRAÇÃO E NA REPELÊNCIA DO SOLO À ÁGUA

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 07 de julho de 2023.

Assentimento:


Henrique de Andrade Cenachi
Autor


Herly Carlos Teixeira Dias
Orientador

AGRADECIMENTOS

A Deus.

Aos meus pais João Bosco e Maria de Fátima, aos meus irmãos Aline, Humberto e Flávio, as minhas sobrinhas Maria Luiza, Ana Vitória, Isadora e Ana Clara pela compreensão e apoio.

Aos meus amigos, Eleidimar Reginaldo, Flankley Soares, Adriana Rocha e tantos outros que de alguma forma contribuíram para a realização desse trabalho. E um agradecimento especial ao Diego Nicomedes pela sua amizade e compreensão ao longo dessa jornada. Seu apoio foi inestimável.

Ao Laboratório de Hidrologia Florestal – LHF.

Ao estagiário Bernado Lino pelo apoio nas coletas. Ao Lucas Silveira pelas explicações. Ao “Machado” pelo apoio, a Bruna Queiroz e aos demais colegas de pós-graduação.

Agradeço ao Professor Herly Carlos Teixeira Dias por sua orientação e amizade, que foram contribuições exemplares para a minha formação.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Florestal pela oportunidade de realizar o Mestrado.

A companhia Brasileira de Alumínio (CBA), pelo apoio financeiro e disponibilização das áreas para a realização das coletas de dados. Meu agradecimento em especial a Juliana Paiva pelo auxílio ao longo do desenvolvimento deste trabalho, e ao Paulo Cordeiro por sua colaboração significativa.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

“A ciência nunca resolve um problema sem criar pelo menos outros dez”.

(George Bernard Shaw)

RESUMO

CENACHI, Henrique de Andrade, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2023. **Efeito da reabilitação de áreas de mineração de Bauxita na infiltração e na repelência do solo à água.** Orientador: Herly Carlos Teixeira Dias.

O Brasil, como o terceiro maior produtor de bauxita do mundo, ocupa uma posição de destaque na indústria de mineração. No entanto, surgem questionamentos da sociedade sobre os potenciais impactos negativos da mineração nos processos hidrológicos, dado o considerável revolvimento do solo envolvido nessa atividade. O objetivo principal deste estudo é avaliar os efeitos da reabilitação de áreas mineradas de bauxita pela Companhia Brasileira de Alumínio (CBA) na infiltração e na repelência do solo em relação à água. Foram selecionadas seis áreas, sendo três delas áreas reabilitadas (área 0610, 0630 e 0123), e as outras três áreas foram designadas como áreas testemunhas. Essas áreas estão localizadas no município de São Sebastião da Vargem Alegre, na região da Zona da Mata mineira, no Brasil. Nessas áreas, foram coletadas informações relacionadas à infiltração e à repelência do solo usando um infiltrômetro MiniDisk, bem como dados sobre a resistência mecânica do solo à penetração, utilizando um Penetrolog. Para a análise estatística dos dados, foi aplicado o teste Mann-Whitney, utilizando o software RStudio 4.2.3. Também foi calculada a correlação de Spearman e realizada uma análise de componentes principais (PCA). Na área reabilitada, observou-se uma capacidade de infiltração (C_i) e uma velocidade de infiltração (V_i) substancialmente maior, atingindo valores de 309 mm/h e 298 mm/h, respectivamente. Em contraste, na área testemunha, esses valores foram significativamente menores, registrando 148 mm/h para C_i e 129 mm/h para V_i . Essas diferenças entre a área reabilitada e testemunha foi estatisticamente significantes ($p \leq 0,05$). Na área reabilitada, a repelência foi de 1,48%, enquanto na área testemunha, esse valor alcançou 6,22%. Essa divergência também foi estatisticamente significativa ($p\text{-valor} = 0,012$). A resistência mecânica do solo à penetração (RMP) apresentou uma profundidade média de 42 cm na área reabilitada, enquanto na área testemunha essa profundidade foi de 26 cm. Essa maior resistência na área reabilitada pode ser resultado da introdução de material grosseiro no perfil do

solo durante o processo de reabilitação. Nas análises de correlação de Spearman, foi observado que na área testemunha, as correlações entre C_i e V_i e R foram de $-0,37$, enquanto na área reabilitada, essas correlações se mostraram mais acentuadas, com valores de $-0,73$. Concluiu-se que a área reabilitada apresentou as melhores condições hidrológicas, com maiores valores de V_i e C_i , conseqüentemente menor R em comparação com a área testemunha. A área reabilitada apresentou maior compactação do solo. A correlação de Spearman confirmou a relação inversa entre as variáveis hidrológicas e a repelência.

Palavras-chave: Hidrologia florestal. Manejo de bacias hidrográficas. Variáveis hidrológicas.

ABSTRACT

CENACHI, Henrique de Andrade, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2023. **Effect of the rehabilitation of Bauxite mining areas on the infiltration and repellency of the soil to water.** Adviser: Herly Carlos Teixeira Dias.

As the third largest producer of bauxite in the world, Brazil occupies a prominent position in the mining industry. However, society is questioning the potential negative impacts of mining on hydrological processes, given the considerable soil disturbance involved in this activity. The main objective of this study is to evaluate the effects of rehabilitating areas mined for bauxite by Companhia Brasileira de Alumínio (CBA) on infiltration and soil repellency in relation to water. Six areas were selected, three of which were rehabilitated areas (area 0610, 0630 and 0123), and the other three areas were designated as witness areas. These areas are located in the municipality of São Sebastião da Vargem Alegre, in the Zona da Mata region of Minas Gerais, Brazil. In these areas, information related to infiltration and soil repellency was collected using a MiniDisk infiltrometer, as well as data on the soil's mechanical resistance to penetration using a Penetrolog. For the statistical analysis of the data, the Mann-Whitney test was applied using the RStudio 4.2.3 software. Spearman's correlation was also calculated and a principal component analysis (PCA) was carried out. In the rehabilitated area, a substantially higher infiltration capacity (C_i) and infiltration velocity (V_i) were observed, reaching values of 309 mm/h and 298 mm/h, respectively. In contrast, in the control area, these values were significantly lower, registering 148 mm/h for C_i and 129 mm/h for V_i . These differences between the rehabilitated area and the control area were statistically significant ($p \leq 0.05$). In the rehabilitated area, repellency was 1.48%, while in the control area, this value reached 6.22%. This divergence was also statistically significant (p -value = 0.012). The soil's mechanical resistance to penetration (RMP) showed an average depth of 42 cm in the rehabilitated area, while in the control area this depth was 26 cm. This greater resistance in the rehabilitated area may be the result of the introduction of coarse material into the soil profile during the rehabilitation process. Spearman's correlation analysis showed that in the control area, the

correlations between C_i and V_i and R were -0.37 , while in the rehabilitated area, these correlations were more pronounced, with values of -0.73 . It was concluded that the rehabilitated area presented the best hydrological conditions, with higher values of V_i and C_i , and consequently lower R compared to the control area. The rehabilitated area showed greater soil compaction. Spearman's correlation confirmed the inverse relationship between hydrological variables and repellency.

Keywords: Forest hydrology. Watershed management. Hydrological variables.

LISTA DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1- Área de estudos, área 0123, 0610 e 0630, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2023.....	21
Figura 2 - Escala temporal do processo de lavra e reabilitação ambiental das áreas reabilitadas 0610, 0123 e 0630, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais.....	22
Figura 3 - Área 0610 reabilitada, imagem aérea retirada de Drone, DJI Mavic Mini, em maio de 2023, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2023.....	23
Figura 4 - Área 0630 reabilitada, imagem aérea retirada de Drone, DJI Mavic Mini, em junho de 2023, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2023.....	24
Figura 5 - Área 0123 reabilitada, com ênfase no local de coleta, imagem aérea retirada de Drone, DJI Mavic Mini, em junho de 2023, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2023.....	24
Figura 6 - Aparelho infiltrômetro MiniDisk usado nas medições de infiltração e repelência do solo à água, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2022.	26
Figura 7 – Planilha utilizada para o cálculo da condutividade hidráulica, infiltração acumulada e sortividade, disponibilizada pelo fabricante Meter Group, MiniDisk.	27
Figura 8 – Exemplo de cálculo da velocidade (V_i) e capacidade de infiltração (C_i) em mm/h para um único ponto de repetição.	29
Figura 9 - Planilha para cálculo da Repelência do solo à água com base nos dados de sortividade da água (S_w) e do etanol (S_e).	29
Figura 10 - Medição do grau de compactação do solo utilizando o aparelho penetrológ, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2022.	30
Figura 11 - Programa Compactação do solo disponibilizado pelo fabricante Falker, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2022.....	31
Figura 12 - Coleta de solos utilizando-se trado do tipo Holandês (a) em área reabilitada e amostras em latas identificadas e lacradas (b) prontas para pesagem do peso úmido, Laboratório de Hidrologia Florestal - LHF/UFV.....	32
Figura 13 - Balança (modelo BK8000 da Gehaka) para pesagem de amostras para a determinação de umidade do solo, Laboratório de Hidrologia Florestal - LHF/UFV.	33

Figura 14 - Estufa para secagem de solo a 105°C (a) e dessecador para resfriamento das amostras de solo (b), Laboratório de Hidrologia Florestal - LHF/UFV.....	34
Figura 15 - Comportamento da curva de velocidade de infiltração da água no solo em área reabilitada pela CBA e testemunha, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2022.....	38
Figura 16 - Comparação de valores médios da repelência entre área reabilitada e testemunha, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2022.....	41
Figura 17 - Comportamento da curva de repelência do solo à água em área reabilitada e testemunha, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2022.....	42
Figura 18 - Resistência mecânica do solo a penetração (kPa) em profundidade (cm) para a área reabilitada 0123, sendo: P1, P2, P3, P4 e P5 repetições, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2022.....	49
Figura 19 - Resistência mecânica do solo a penetração (kPa) em profundidade (cm) para a área testemunha 0123, sendo: P1, P2, P3, P4 e P5, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2022.....	50
Figura 20 - Resistência mecânica do solo a penetração (kPa) em profundidade (cm) para a área reabilitada 0610, sendo repetições P1, P2, P3, P4 e P5, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2022.....	51
Figura 21 - Resistência mecânica do solo a penetração (kPa) em profundidade (cm) para a área testemunha a área 0610, sendo: P1, P2, P3, P4 e P5 repetições, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2022.....	52
Figura 22 - Resistência mecânica do solo a penetração (kPa) em profundidade (cm) para a área reabilitada 0630, sendo: P1, P2, P3, P4 e P5 repetições, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2022.....	53
Figura 23 - Resistência mecânica do solo a penetração (kPa) em profundidade (cm) para a área testemunha 0630, sendo: P1, P2, P3, P4 e P5 repetições, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2022.....	54
Figura 24 - Plotagem das correlações não-paramétricas de Spearman entre 27 variáveis para área testemunha, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2022.....	56
Figura 25 - Plotagem das correlações não-paramétricas de Spearman entre 27 variáveis para área reabilitada, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2022.....	57
Figura 26 - Plotagem das correlações não-paramétricas de Spearman significativas entre 27 variáveis para área testemunha, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2022.....	58

Figura 27 - Plotagem das correlações não-paramétricas de Spearman significativas entre 27 variáveis para área reabilitada, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2022.	59
Figura 28 - Coeficiente de determinação entre as variáveis matéria orgânica e repelência para a área reabilitada e testemunha, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2022.....	62
Figura 29 - Coeficiente de determinação entre as variáveis velocidade e capacidade de infiltração e repelência para a área reabilitada e testemunha, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2022.	63
Figura 30 - Coeficiente de determinação entre as variáveis capacidade e velocidade de Infiltração e repelência para a área testemunha, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2022.....	63
Figura 31 - Análise de componentes principais para as variáveis estudadas em área testemunha, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2022.....	64
Figura 32 - Análise de componentes principais para as variáveis estudadas em área reabilitada, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2022.....	65

LISTA DE TABELAS

Páginas

Tabela 1 - Resultado da análise estatística para as variáveis velocidade de infiltração (Vi), capacidade de infiltração (Ci), condutividade hidráulica (Ch) e umidade (U) para a área testemunha e reabilitada, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2022.....	35
Tabela 2 - Valores de repelência (%) obtidos na área 0123 reabilitada e testemunha para as repetições P1, P2, P3, P4 e P5 com tempo variando de 0 a 330s, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2022.....	39
Tabela 3 - Valores de repelência (%) obtidos na área 0610 reabilitada e testemunha para as repetições P1, P2, P3, P4 e P5 com tempo variando de 0 a 330s, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2022.....	40
Tabela 4 - Valores de repelência (%) obtidos na área 0630 reabilitada e testemunha para as repetições P1, P2, P3, P4 e P5 com tempo variando de 0 a 330s, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2022.....	40
Tabela 5 - Resultados médios e análise estatística para análise física do solo da área testemunha e reabilitada, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2022.....	43
Tabela 6 - Resultados médios e análise estatística para a análise química do solo das áreas testemunha e reabilitada, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2022.....	44
Tabela 7 - Resultados encontrados para a resistência mecânica do solo a penetração (RMP) para as áreas testemunha e reabilitada, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2022.....	47

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	15
2.1. OBJETIVO GERAL	15
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	16
3.1. INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO	16
3.2. REPELÊNCIA DO SOLO A ÁGUA.....	18
4. MATERIAL E MÉTODOS	20
4.1. ÁREA DE ESTUDOS	20
4.2. CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA, VELOCIDADE E CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO, E REPELÊNCIA DO SOLO A ÁGUA	25
4.3. RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO A PENETRAÇÃO (RMP).....	30
4.4. ANÁLISE FÍSICA E QUÍMICA DO SOLO.....	32
4.5. ANÁLISES ESTATÍSTICA.....	34
5. RESULTADO E DISCUSSÃO	35
5.1. VELOCIDADE E CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO, CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA E REPELÊNCIA DO SOLO A ÁGUA	35
5.2. ANÁLISE FÍSICA E QUÍMICA	43
5.3. RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO A PENETRAÇÃO (RMP).....	46
5.4. COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO E ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA) ..	55
6. CONCLUSÃO	66
7. REFERÊNCIAS	67

1. INTRODUÇÃO

Devido ao seu extenso território, o Brasil, possui destaque no cenário global, tanto em reservas quanto em produção mineral (IBRAM, 2020). As reservas mundiais de bauxita totalizam 27,9 bilhões de toneladas, as principais estão localizadas em Guiné, com 7,4 bilhões de toneladas e na Austrália, com 6,2 bilhões de toneladas, Brasil registra o terceiro lugar com 2,7 bilhões de toneladas (SUMÁRIO MINERAL, 2018). As áreas de Mineração de Bauxita no Brasil são ricas em rochas de coloração avermelhada (SAMPAIO, ANDRADE E DUTRA, 2005). Para que a extração de bauxita seja economicamente viável para as empresas, é necessário que o minério contenha, no mínimo, 30% de Al_2O_3 em sua composição (ABAL, 2017). Conforme o autor mencionado anteriormente, as reservas brasileiras estão entre as maiores do mundo e se destacam pela excelente qualidade, apresentando teores de Al_2O_3 superiores a 40%.

A mineração de Bauxita diferentemente de outros minérios ocorre a céu aberto, ao ar livre, envolvendo a retirada da vegetação, decapagem, escavação do minério e transporte do material (CUGULA, et al., 2021). O processo de mineração provoca a movimentação de grandes quantidades de volume de solo, geralmente o material de interesse se encontra em camadas mais profundas e não somente na parte superior da área de interesse (ALBA, 2010). No processo de extração, o revolvimento e armazenamento do solo podem influenciar nos nutrientes, biota e matéria orgânica contidas no solo (GRANT et al., 2007) assim como interferir na estrutura do solo e afetar os processos hidrológicos (SILVEIRA, 2017 e FREITAS, 2018).

A água e o solo são os bens mais preciosos que temos nos ecossistemas. O solo representa a face de contato com a água das chuvas, facilitando ou dificultando o escoamento superficial das águas precipitadas (DE SOUSA; DE PAULA, 2019). À medida em que o manejo do solo, nas diversas atividades humanas, elimina a cobertura vegetal, sua superfície fica mais exposta à ação do impacto das gotas de chuva e do escoamento superficial (ALBUQUERQUE et al., 2002). Segundo os autores supracitados, tanto o impacto das gotas de chuva quanto o escoamento superficial contribuem para modificar as condições físicas da superfície do solo, alterando a rugosidade superficial, a porosidade e a diminuição da infiltração.

O conhecimento do processo de infiltração é de suma importância para o correto manejo do solo e da água por estarem intimamente ligados a ocorrência de

escoamento superficial, responsável por inúmeros problemas como erosões e inundações (BRANDÃO et al., 2012).

Diversos são os fenômenos que diminuem a infiltração da água no solo, entre elas temos a hidrofobicidade, um problema ambiental, que provoca a repelência do solo a água dificultando o seu molhamento (VOGELMANN et al., 2015). Este fenômeno leva à redução na capacidade de infiltração de água no solo, aumento do fluxo superficial, erosão acelerada e padrões de infiltração não uniformes (MAIA et al., 2005).

Essa pesquisa justifica-se pelo fato de que a atividade de mineração provoca intenso revolvimento do solo, proporcionando mudanças significativas em sua estrutura e conseqüentemente podendo ou não provocar repelência e diminuição na infiltração da água da chuva. Esses testes possibilitaram conhecer a área e responder questões relacionadas à mineração e as suas conseqüências para o solo.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Esta pesquisa tem como objetivo avaliar o efeito da reabilitação de áreas de mineração de bauxita na infiltração e na repelência do solo à água nas áreas da Companhia Brasileira de Alumínio – CBA na unidade de Mirai/MG.

2.2. Objetivos específicos

- Determinar a condutividade hidráulica, a velocidade média de infiltração e a capacidade média de infiltração do solo nas áreas estudadas;
- Avaliar a repelência do solo à água nas áreas em questão;
- Realizar análises das características físicas e químicas do solo, buscando estabelecer correlações entre essas variáveis e os resultados hidrológicos, bem como a repelência do solo à água;
- Comparar os resultados obtidos entre a área minerada e reabilitada e a área testemunha, com o propósito de identificar qual das áreas apresentou condições mais favoráveis para a infiltração de água e a redução da repelência do solo.

- Realizar uma análise de correlação entre as variáveis estudadas, que incluem análise química, física, teor de matéria orgânica e resistência mecânica do solo, a fim de determinar qual delas apresenta a associação mais relevante com a infiltração de água e a repelência do solo.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Infiltração de água no solo

A escassez hídrica já afeta mais de 40% da população mundial (CANTELLE et al., 2018). Além do problema com a escassez, Brandão et al., (2012), chamam a atenção para o uso incorreto dos recursos hídricos. De acordo com os autores, o uso incorreto e o seu mau gerenciamento provocam prejuízos significativos no contexto social e ambiental provenientes da diminuição da qualidade e quantidade hídrica.

Conforme descrito por Balbinot et al., (2008), dos elementos físicos que interferem na composição da paisagem, a água é o mais importante, contribuindo para a manutenção da fauna e flora. Existe uma relação estreita entre as alterações na cobertura vegetal e os impactos gerados nos recursos hídricos (OLIVEIRA, 2021), o solo exposto contribui para a diminuição da infiltração e o aumento do escoamento superficial, resultando em problemas erosivos e o carreamento de inúmeros sedimentos para os cursos hídricos. Para explicar os vários processos, como erosão, escoamento superficial e recarga de aquíferos subterrâneos, é fundamental compreender a infiltração da água no solo (SETIAWAN et al., 2019). Conhecer a infiltração também é importante para diferentes projetos como recuperação de áreas degradadas e sistemas de irrigações (VERECKEN et al., 2019).

Infiltração é o processo pelo qual a água atravessa a superfície do solo, movendo-se no sentido vertical devido a presença de poros vazios no solo sob a ação da gravidade (POTT; DE MARIA, 2003; BRANDÃO et al., 2012; PINTO et al., 2017; CORDEIRO et al., 2021) até atingir uma barreira impermeável formando os lençóis freáticos (KLEIN; KLEIN, 2014). A infiltração é dependente das propriedades do solo, das características da precipitação, taxas de umidade, cobertura e tipo de vegetação e manejo do solo (BERTOL et al., 2015; VERECKEN et al., 2019; CORDEIRO et al., 2021). O trabalho de Vidaletti et al., (2021) explora como a cobertura do solo, a declividade e a precipitação afetam a infiltração de água no solo. Os autores

concluíram que a vegetação e palhada no solo obteve grande influência na proteção e prevenção de selamentos superficiais possibilitando uma maior infiltração reduzindo o escoamento superficial, além de que em ambientes de alta declividade sobre chuvas de maiores intensidades sugeriram a necessidade de utilização de práticas conservacionistas de solo e água.

Segundo Silva-Neto e Schimidt (2021), a infiltração é importante para a formação de nascentes e outros mananciais, demonstrando estreita relação com as características do terreno e com suas formas de uso e práticas de manejo. Quando não há infiltração, a água residual proporciona o escoamento superficial provocando perdas significativas como solo, matéria orgânica e microrganismos (BARROS et al., 2014; TANG et al., 2019; VIDALETTI et al., 2021).

A velocidade de infiltração é a velocidade com que a água atravessa a superfície do solo por unidade de tempo, expressa em lâmina/tempo, volume/unidade de área na unidade de tempo (BRANDÃO et al. 2012; PINTO et al. 2017). Já a capacidade de infiltração é determinada pelo uso e ocupação do solo (MINOSSO et al., 2017), sendo a quantidade que um solo sob determinada condição pode absorver água, expressa por mm/h e cm/h, sendo observada quando a intensidade de precipitação excede a capacidade do solo em absorver a água (PINTO et al. 2017; SPLETOZER, 2018). Segundo Cordeiro et al., (2021), quando o solo não está saturado, a dinâmica da água é influenciada pelo potencial matricial que influencia na velocidade com que a água se movimenta no perfil do solo.

Quando o solo recebe água, seja através da precipitação ou irrigação, o solo aumenta seu teor de umidade gradualmente, conseqüentemente a capacidade de infiltração diminui. Quando a intensidade de precipitação é menor que a capacidade de infiltração, a velocidade de infiltração é igual a própria intensidade de precipitação, conseqüentemente não ocorre escoamento superficial (BRANDÃO et al., 2012). Segundo os autores supracitados, quando a intensidade de precipitação supera a capacidade de infiltração implica-se que a velocidade de infiltração é igual a capacidade de infiltração, conseqüentemente ocorre o surgimento do escoamento superficial.

Após a aplicação de água no solo (precipitação) ou da irrigação, a velocidade de infiltração é máxima no início principalmente se o solo está seco e vai decaindo com o tempo até se tornar constante (CORDEIRO et al., 2021). Como a entrada de água decai com o tempo, à medida que se cessa o fornecimento de água, quando a

infiltração assume um valor constante no tempo, temos a velocidade de infiltração básica (VIB) ou taxa de infiltração básica (Tie) (POTT; DE MARIA, 2003; Brandão et al., 2012). Ao infiltrar, a água vai umedecendo as camadas do solo no sentido de cima para baixo, alterando o teor de umidade (BRANDÃO et al., 2012).

Existem vários métodos de determinação da infiltração de água no solo. Pode-se utilizar o infiltrômetro de anéis concêntricos (BRANDÃO et al., 2012, MINOSSO et al., 2017), infiltrômetro de MiniDisk (ALAGNA et al., 2019; NAIK; PEKKAT, 2022) e simuladores de chuva (BRANDÃO et al., 2012).

3.2. Repelência do solo a água

A hidrofobicidade ou repelência do solo a água já é bastante conhecida e documentada (MAIMON et al., 2017) podendo ser encontrada em diversos locais sob diversas condições de clima e texturas de solo (RYE; SMETTEM, 2018).

A repelência ocorre em decorrência das forças de coesão e adesão, as forças de coesão das moléculas de água são mais fortes do que as forças de adesão entre as moléculas de água e as partículas do solo, proporcionando o acúmulo de água na superfície (KIDRON et al., 1999; LOPES, 2017). Os compostos considerados hidrofóbicos presentes no solo podem ser apolares e polares. Os compostos apolares possuem hidrocarbonetos de cadeia longa com estrutura alifática, sem cargas positivas e negativas, quase insolúveis e apresentam caráter hidrofóbico. Os compostos polares, possuem estrutura anfifílica, com cadeia de hidrocarboneto, com grupo funcional terminal com cargas positiva ou negativa apresentando caráter hidrofílico (DOERR et al., 2000). Quando os grupos hidrofóbicos estiverem apontado externamente, há um aumento na repelência, já quando orientados um para o outro ou internamente, a repelência pode decair (VOGELMANN et al., 2017).

A repelência do solo à água pode ser entendida como a dificuldade do solo em absorver água (THOMAZ, 2008; SIMKOVIC et al., 2023), podendo o solo resistir ao umedecimento por períodos que variam de segundos, horas, dias e até semanas (MAO et al., 2019). A repelência do solo à água está associada ao recobrimento das partículas do solo por substâncias orgânicas hidrofóbicas que interagem de forma complexa com a arquitetura porosa e partículas minerais dificultando o molhamento do solo (VOGELMANN, 2014; MAO et al., 2019). Podendo variar no perfil do solo, apresentando alterações tanto a curto prazo quanto em períodos sazonais (DOERR;

THOMAS, 2000; BRITO et al., 2022) afetando drasticamente as funções do solo (HERMANSEN et al., 2019).

A repelência do solo à água, conforme observado por SIMKOVIC et al., (2023), possui efeitos variados que influenciam o comportamento hidrológico. Isso se manifesta na redução da infiltração, resultando em um aumento do escoamento superficial, o que, por sua vez, traz implicações significativas para a produtividade agrícola, como apontado por MOURA (2018). Além disso, a repelência do solo altera a forma como a água penetra e se desloca pelo solo, conforme destacado por HEWELKE et al., (2020).

De acordo com Jaramillo (2006), Vogelmann (2014) e Vogelmann et al., (2015), vários fatores desempenham um papel crucial na origem e na existência da repelência do solo, incluindo a presença de vegetação (matéria orgânica), composição granulométrica, atividades de fungos e bactérias, incêndios florestais (temperatura) e níveis de umidade do solo.

A vegetação local favorece o aparecimento de compostos hidrofóbicos que recobrem as partículas do solo (RIBAS, 2018). A elevada quantidade de hidrofobicidade presente sob copas de árvores indicam que os insumos orgânicos da serrapilheira são o principal responsável pelo aumento nos níveis de hidrofobicidade no solo (ZAVALA et al., 2014). Em seu trabalho, Zavala et al., (2014), estudou a hidrofobicidade sob três tipos de florestas, os autores concluíram que sob *Eucalyptus* e *Pinus* ocorreram um aumento na severidade de repelência em relação a Azinheiras, as amostras coletadas em ambientes de *Pinus* apresentaram mais de 90% de repelência. Os solos são formados por misturas complexas com alta gama de componentes orgânicos (UDDIN et al., 2019). Os lipídios são um dos principais compostos orgânicos hidrofóbicos liberados pelas plantas no solo (JIMÉNEZ-MORILLO et al., 2022) assim como ceras resinas e óleos (DOERR et al., 2000).

A perda de matéria orgânica e o aumento da densidade diminuem a capacidade de armazenamento de água dos solos queimados (LI et al., 2021). Após incêndios florestais ocorre um aumento significativo da repelência de água no solo (KEESSTRA, et al., 2017). O calor liberado pelo fogo migra da superfície para as camadas mais profundas, sendo que os efeitos do fogo nas propriedades do solo diminuem com a profundidade (LUCAS-BORJA et al., 2022). Durante a queima, as substâncias hidrofóbicas cimentam-se na camada subsuperficial do solo (Hester et al., 1997). Os incêndios florestais volatilizam os compostos hidrofóbicos, que podem ser

condensados nos horizontes mais profundos ou perder para a atmosfera (KEESSTRA, et al., 2017). Em seu trabalho, Keesstra, et al., (2017), encontraram valores baixos a insignificante de repelência na superfície do solo quando queimado duas vezes ou em locais previamente queimados, a repelência média é menor do que em áreas não queimadas. DEBANO (2000), salienta que a repelência após fogo pode ser encontrada como uma camada discreta com espessura variável e continua na superfície do solo ou alguns centímetros abaixo. Segundo Fox et al. (2007), o calor provocado pelos incêndios volatiliza e condensa as substâncias hidrofóbicas na superfície formando uma camada repelente. O conhecimento sobre o efeito do fogo na repelência ou hidrofobicidade do solo é incompleto e contraditório (WU et al., 2020) já que alguns autores afirmam que a repelência sobre efeito do fogo ocorre na superfície enquanto outros afirmam que ocorrem em camadas mais profundas.

A umidade, segundo Doerr et al., (2006), afeta o grau de repelência, solos secos podem apresentar altos níveis de repelência em comparação a solos úmidos que podem apresentar taxa de repelência menor. Em condições secas, o solo pode se tornar hidrofóbico em decorrência das pequenas áreas de solos onde a matéria orgânica e as substâncias hidrofóbicas acumulam (KEESSTRA, et al., 2017). Brito et al., (2022), abordam em seu trabalho a influência da sazonalidade das chuvas na repelência do solo a água em florestas tropicais ribeirinhas, concluindo que há maior repelência no solo nos meses secos diminuindo a infiltração em comparação aos meses chuvosos que possui uma menor repelência já que os solos estão bem úmidos. No trabalho de Hermansen et al., (2019), no qual avaliam a influência do teor de carbono orgânico e umidade na repelência do solo à água, concluiu-se que em cerca de 92% das amostras de solos analisadas eram repelentes a água em algum grau.

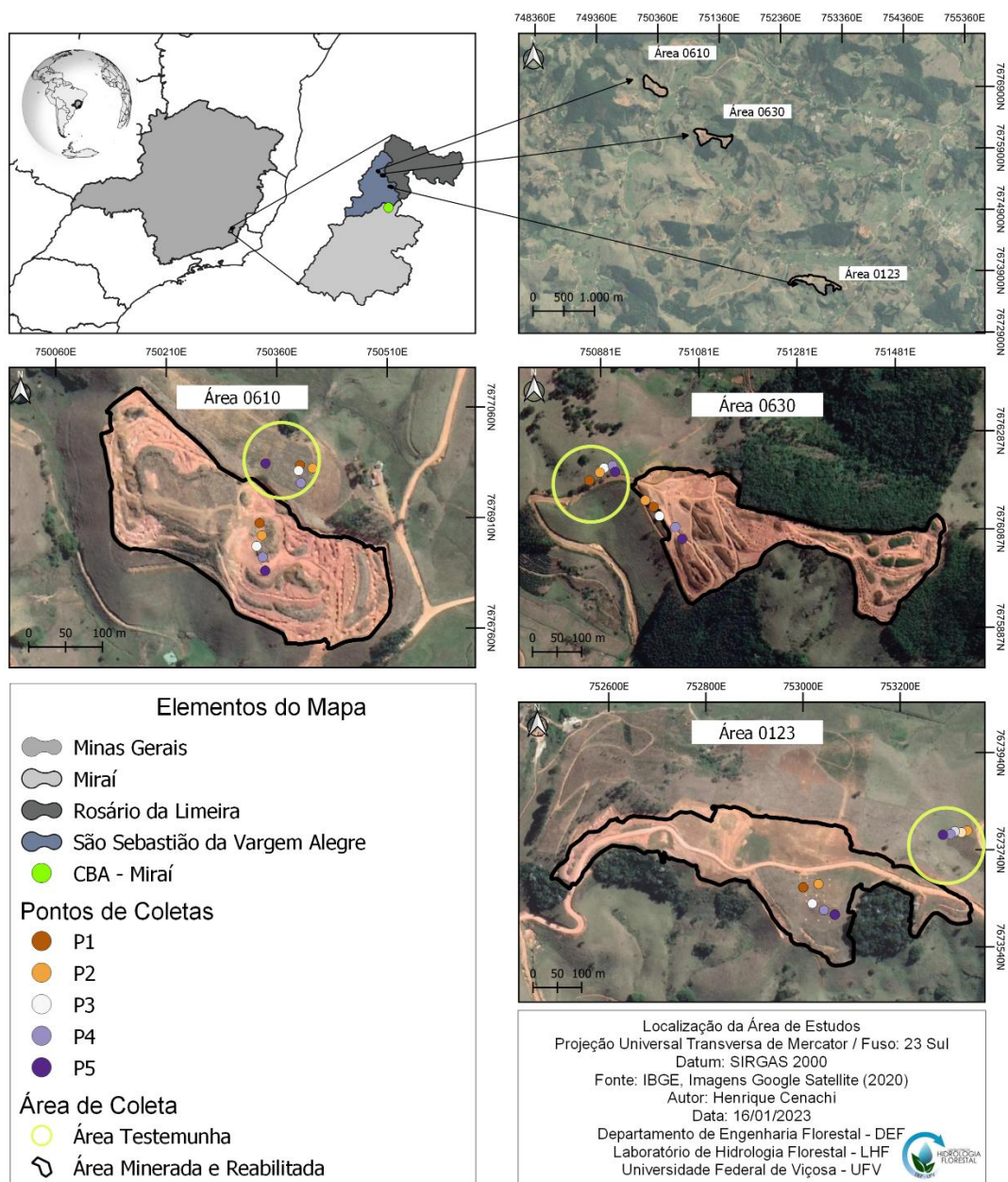
4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Área de Estudos

O estudo foi realizado em três áreas mineradas e reabilitadas pela empresa CBA - Companhia Brasileira de Alumínio, localizadas na unidade de Mirai/MG. Os códigos de reconhecimento dessas áreas são: 0610, 0630 e 0123. Essas áreas (Figura 1) estão situadas no município de São Sebastião da Vargem Alegre/MG.

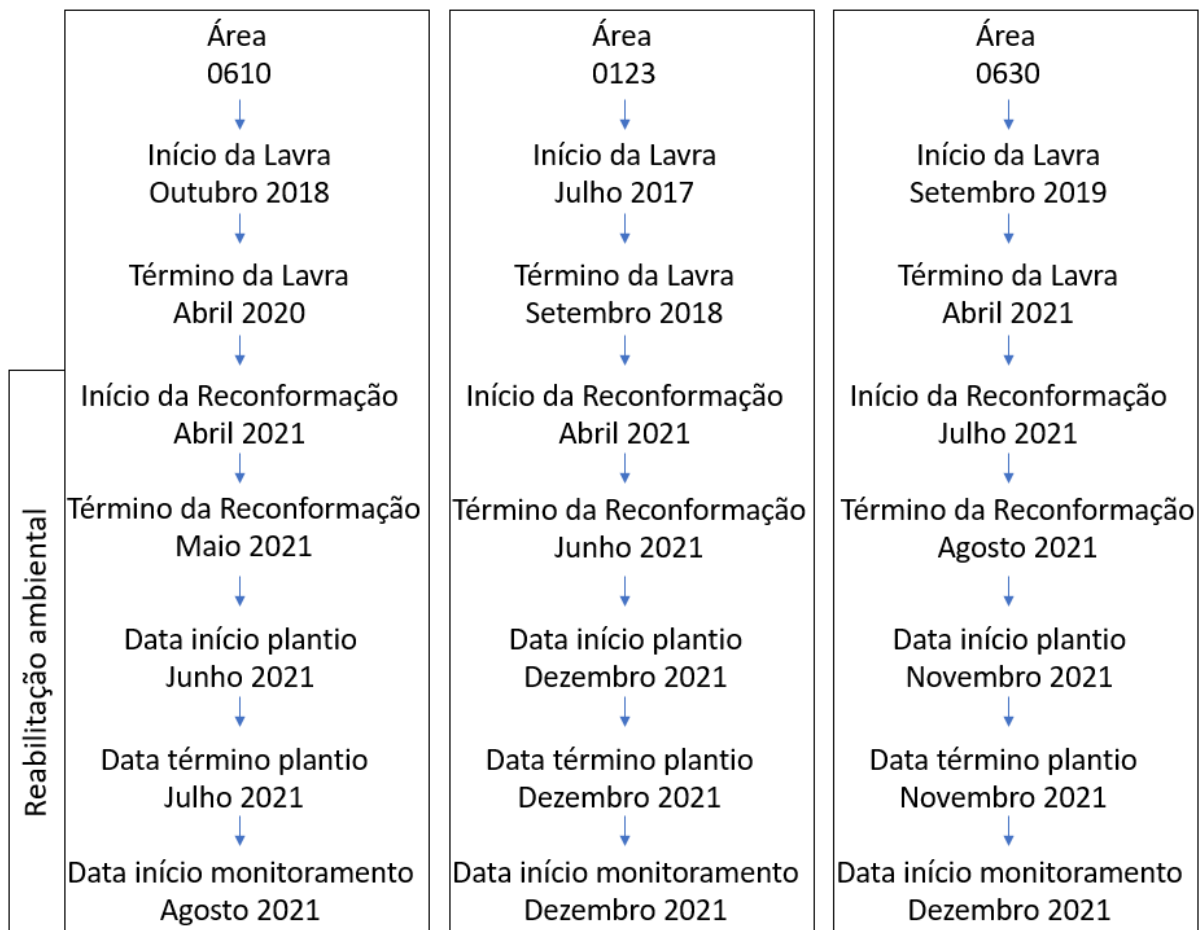
Na Figura 2, contêm a escala temporal do processo de início da lavra até o início do monitoramento para cada área estudada. O processo de lavra inicia-se no decapeamento, retirando-se a vegetação, o *topsoil* (camada fértil) e camadas de solos estéreis (solos sem minério). O *topsoil* e solos estéreis são armazenados em leiras para futura utilização no processo de reabilitação ambiental da área. São construídas estruturas de drenagem no local afim de minimizar os danos provocados pelo escoamento superficial já que não há mais vegetação para a proteção do solo.

Figura 1- Área de estudos, área 0123, 0610 e 0630, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2023.



Após, é iniciada a retirada do minério por máquinas, o material é transportado por caminhões até a unidade de beneficiamento da CBA em Miraí. Esse processo de lavra possui variação dependendo da área e da quantidade de minério encontrado. Após a finalização da lavra, dá-se início a reabilitação ambiental através da reconformação topográfica e retorno do *topsoil* reservado, estabelecendo os contornos do terreno. Esse *topsoil* contém sementes, microrganismos e nutrientes que irão acelerar o processo de reabilitação da área. É realizado uma subsolagem com ripper longo/único de 1 metro para a quebra de compactação do solo. Concomitantemente é feita a adubação orgânica e mineral e logo então é realizado plantio de sementes. Após o plantio começa o monitoramento, realizada até a devolução da área ao superficiário, dono do terreno.

Figura 2 - Escala temporal do processo de lavra e reabilitação ambiental das áreas reabilitadas 0610, 0123 e 0630, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais.



Fonte: CBA, 2023

As coletas foram realizadas de maio a outubro de 2022 e para efeito de comparação, foram selecionadas áreas de coletas em locais que foram mineradas e reabilitadas (RE), chamadas de 0610RE (Figura 3), 0630RE (Figura 4) e 0123RE (Figura 5) e áreas testemunhas (TE), locais próximos as áreas RE na qual não foi minerado identificadas como 0610TE, 0630TE e 0123TE (Figura 1). Em todas as áreas, tanto RE e TE, a vegetação presente foi a braquiária, com exceção para a área 0610TE, que continha capim gordura como vegetação predominante. O solo nas áreas estudadas é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico (Borges, 2013), com uma média anual de precipitação de 1336 mm e temperatura média anual de 19°C (ALVAREZ et al., 2013).

Foram feitas coletas de dados de infiltração, repelência, amostras de solos e de umidade e de resistência mecânica do solo a penetração em pontos aleatórios na área.

Figura 3 - Área 0610 reabilitada, imagem aérea retirada de Drone, DJI Mavic Mini, em maio de 2023, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2023.



Fonte: CBA, 2023

Figura 4 - Área 0630 reabilitada, imagem aérea retirada de Drone, DJI Mavic Mini, em junho de 2023, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2023.



Fonte: CBA, 2023

Figura 5 - Área 0123 reabilitada, com ênfase no local de coleta, imagem aérea retirada de Drone, DJI Mavic Mini, em junho de 2023, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2023.



Fonte: CBA, 2023

Para determinar a taxa de infiltração e a repelência do solo, utilizou-se o Infiltrômetro de tensão MiniDisk. Em seguida, os dados de infiltração foram empregados no cálculo da condutividade hidráulica (Ch), da velocidade de infiltração (Vi) e da capacidade de infiltração (Ci). Para a caracterização do solo, foram conduzidas análises químicas e físicas em laboratório. Uma parte das amostras foi enviada ao laboratório de rotina da UFV para análise química e física. As demais amostras foram usadas para determinar a umidade do solo nas instalações do próprio LHF/UFV. Para coletar dados de compactação do solo, utilizou-se o penetrômetro PenetroLOG (PLG1020 v. 1.13) da Falker.

4.2. Condutividade Hidráulica, Velocidade e Capacidade de Infiltração, e Repelência do Solo a Água

O infiltrômetro de MiniDisk é um infiltrômetro de tensão de mini disco poroso que realiza as medições em meio insaturado (PAVÃO, 2017). Infiltrômetros de tensão, segundo Chávez et al., (2014), permitem medir o fluxo de água no solo eliminando o fluxo preferencial comum em condições saturadas. A infiltração sob tensão, os macroporos do solo não são preenchidos, atuando nos microporos (SHENGA, 2019). Possui vantagens por ser compacto, de fácil transporte e utilizar pouca quantidade de água (METERGROUP, 2023).

Para usar o MiniDisk, o primeiro passo é a determinação do local de coleta, a área foi limpa permitindo o contato da placa porosa diretamente com o solo. Para se evitar um possível mal contato foi aplicada pequena quantidade de areia fina com o objetivo de nivelar o solo (Figura 6).

Figura 6 - Aparelho infiltrômetro MiniDisk usado nas medições de infiltração e repelência do solo à água, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2022.



Fonte: O autor, 2022

O aparelho foi ajustado para a sucção 2 de acordo com as orientações do próprio fabricante. Para o teste de infiltração, a câmara superior e inferior foram preenchidas por água, já para o teste de repelência do solo a água foi colocado água na câmara superior e etanol a 90% na câmara inferior. Segundo Vogelmann et al., (2017), o etanol possui baixa viscosidade e tensão superficial, apresentando grande capacidade de penetrar nos espaços porosos do solo, apresentando um melhor molhamento em relação a água. O etanol é uma substância apolar, não sendo afetada pela hidrofobicidade do solo (RIBAS, 2018).

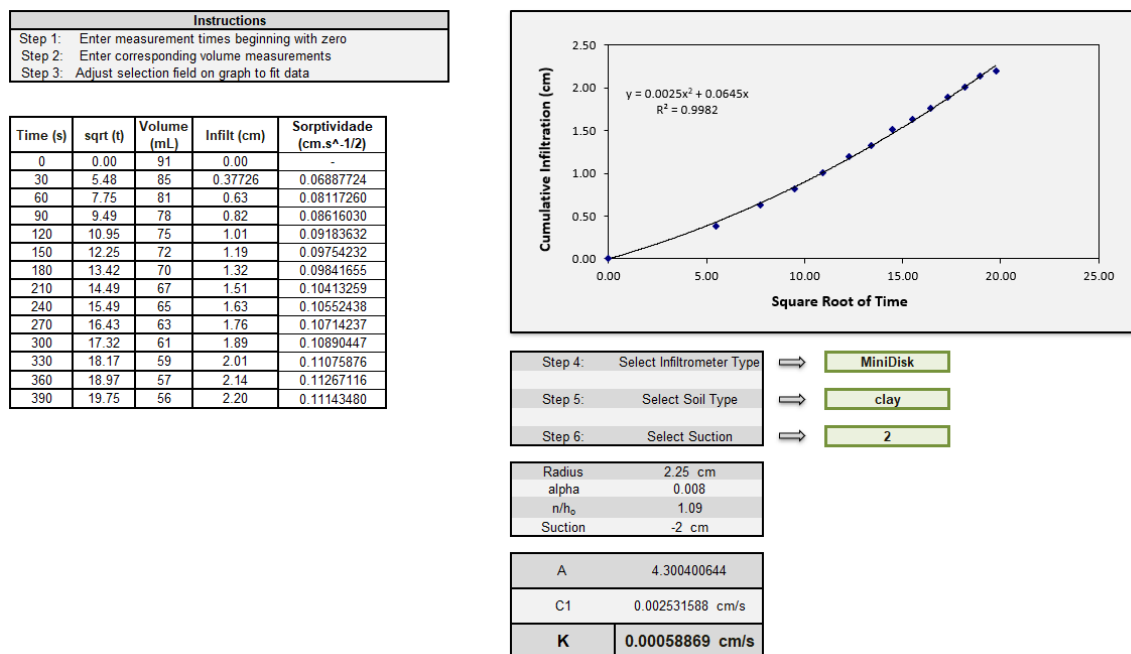
Foi construída uma planilha no Excel para a anotação dos valores do experimento, tanto para a infiltração quanto a repelência para cada ponto analisado. Com o MiniDisk calibrado foi anotado o ml da câmara inferior no tempo 0 (zero). As medições dos ml foram anotadas a cada 30 segundos após o contato da placa porosa com o solo.

A água contida na câmara inferior decaiu de acordo com a umidade devido ao potencial matricial presente no solo. Solos mais úmidos próximos à saturação, observa-se o decaimento lento, ao contrário de um solo seco, insaturado, o decaimento será mais rápido.

Os valores foram anotados até quando ocorresse 3 intervalos de valores iguais de ml em sequência a cada 30 segundos ou ter infiltrado no mínimo 15 a 20ml conforme orientação do fabricante Metergroup.

Para a determinação da condutividade hidráulica, infiltração, os dados coletados em ml no infiltrômetro Minidisk foram inseridos na planilha disponibilizada pelo fabricante (Figura 7) ([New-Minidisk-Infiltrometer-Macro.xlsx \(live.com\)](#)). Para cada ponto, foi necessário preencher duas planilhas, uma com dados de infiltração utilizando água nas duas câmaras no infiltrômetro MiniDisk e uma outra com dados da infiltração com álcool na câmara inferior e água na superior. No tempo correspondente, a cada 30s começando de 0, (Step 1, Figura 7), os valores do volume infiltrado em ml (Step 2, Figura 7) foram inseridos na planilha. Após o preenchimento destes dados foi configurado qual o tipo de solo (step 4, Figura 7) e a sucção utilizada nos testes em campo (Step 6, Figura 7), sendo utilizado na pesquisa a sucção 2.

Figura 7 – Planilha utilizada para o cálculo da condutividade hidráulica, infiltração acumulada e sortividade, disponibilizada pelo fabricante Meter Group, MiniDisk.



Fonte: Planilha Metergroup. Com dados do autor, 2023

Na figura 7, Sqrt(t) é a raiz quadrada do tempo (Time(s)). Infilt (cm) é a infiltração, no tempo 0 a infiltração é nula. No time (s) 30 s é calculada por $(\text{volume1} - \text{volume2}) / (\pi \cdot r^2)$, sendo r, o raio em cm do disco poroso do Minidisk, no trabalho foi utilizado $r = 2,25\text{cm}$, no time(s) de 60s é calculada por $(\text{volume1} - \text{volume3}) / (\pi \cdot r^2)$ e assim por diante mantendo o volume1 fixo.

Para a determinação da repelência do solo (R) a água foi necessária a determinação da sortividade da água e do etanol (ALAGNA et al., 2019). A sortividade não é disponibilizada diretamente na planilha pelo fabricante, para a facilitação dos cálculos, a mesma foi inserida.

A sortividade do etanol é calculada pela fórmula $I = S_e \sqrt{t}$ na qual I é a infiltração (infiltr (cm)), S_e a sortividade do etanol e t é raiz quadrada do tempo (sqrt (t)). Já a sortividade da água é calculada pela fórmula $I = S_w \sqrt{t}$ na qual I é a infiltração (infiltr (cm)), S_w a sortividade da água e t é raiz quadrada do tempo (sqrt (t)) (ZHANG, 1997).

Após a configuração foi retornado os cálculos de condutividade hidráulica (k) em cm/s posteriormente transformada em mm/h, (Apenas na planilha do fabricante foi usado K para se referir a condutividade hidráulica, na pesquisa foi usado Ch).

Na Figura 8, tem-se os resultados obtidos na planilha anterior para time(s)(1), volume(ml)(2), infiltr(cm)(3). Em (4) foi transformado (1) em horas (time(s)/3600), em (5) foi feito o acúmulo do time(h). Em (6) foi feita a transformação de (3) em mm através de (Infiltr(cm)*10). Em (7) foi feito o acúmulo de (6) para cada tempo. Em (8), foi calculado a velocidade de infiltração (V_i) para cada tempo, através da fórmula $V_i = \text{Infiltr(mm)}/\text{time(h)}$, ou seja, $V_i = (6) / (4)$. Já a Capacidade de infiltração (C_i) para cada tempo é calculada por $\text{Infiltr acumulada (mm)}/\text{time acumulado (h)}$, ou seja, $V_i = (7) / (5)$. Esse procedimento foi realizado para todas as repetições de cada área, P1, P2, P3, P4 e P5 das 6 áreas analisadas.

Como os valores de V_i , com a utilização do Minidisk, não se tornou constante no tempo, utilizamos a média para determinar a V_i para cada repetição assim como C_i .

Figura 8 – Exemplo de cálculo da velocidade (Vi) e capacidade de infiltração (Ci) em mm/h para um único ponto de repetição.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Time (s)	Volume (ml)	Infilt(cm)	Time (h)	Time Acumulado (h)	(I) Infiltr (mm)	(I) Infiltr acumulada (mm)	(Vi) Velocidade de infiltração (mm/h)	(Ci) Capacidade de Infiltração (mm/h)
0	91	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000000	0.00
30	85	0.377256161	0.008	0.008	3.773	3.773	452.707394	452.71
60	81	0.628760269	0.017	0.025	6.288	10.060	377.256161	402.41
90	78	0.81738835	0.025	0.050	8.174	18.234	326.955340	364.68
120	75	1.00601643	0.033	0.083	10.060	28.294	301.804929	339.53
150	72	1.194644511	0.042	0.125	11.946	40.241	286.714683	321.93
180	70	1.320396565	0.050	0.175	13.204	53.445	264.079313	305.40
210	67	1.509024646	0.058	0.233	15.090	68.535	258.689939	293.72
240	65	1.634776699	0.067	0.300	16.348	84.883	245.216505	282.94
270	63	1.760528753	0.075	0.375	17.605	102.488	234.737167	273.30
300	61	1.886280807	0.083	0.458	18.863	121.351	226.353697	264.77
330	59	2.012032861	0.092	0.550	20.120	141.471	219.494494	257.22
360	57	2.137784915	0.100	0.650	21.378	162.849	213.778491	250.54
390	56	2.200660942	0.108	0.758	22.007	184.856	203.137933	243.77
						Média	257.923289	289.492881

Fonte: O autor, 2023

De posse dos resultados da sortividade da água e do álcool (Figura 9) em cada período, utilizou-se a equação $R = 1,95 \cdot (S_e/S_w)$ para a determinação da repelência (%) (TILLMAN et al. 1989). Na Figura 9 (a) foram apresentados os valores das sortividades e em Figura 9 (b) os cálculos utilizando a equação da repelência para cada tempo e cada ponto.

Figura 9 - Planilha para cálculo da Repelência do solo à água com base nos dados de sortividade da água (S_w) e do etanol (S_e).

(a)										(b)						
t (s)	P1		P2		P3		P4		P5		Tempo (s)	Área				
	Sw	Se	Sw	Se	Sw	Se	Sw	Se	Sw	Se		P1	P2	P3	P4	P5
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-
30	0.0689	0.0574	0.0115	0.0459	0.0344	0.023	0.0344	0.0459	0.0459	0.023	30	1.63	7.80	1.30	2.60	-
60	0.0812	0.0568	0.0244	0.0487	0.0487	0.0325	0.0406	0.0568	0.0649	0.0325	60	1.37	3.90	1.30	2.73	-
90	0.0862	0.0596	0.0331	0.0464	0.0596	0.0398	0.0464	0.0596	0.0729	0.0398	90	1.35	2.73	1.30	2.51	1.06
120	0.0918	0.0574	0.0344	0.0517	0.0631	0.0402	0.0517	0.0631	0.0746	0.0402	120	1.22	2.93	1.24	2.38	1.05
150	0.0975	0.0616	0.0359	0.0565	0.0719	0.0462	0.0513	0.0719	0.0821	0.0462	150	1.23	3.06	1.25	2.73	1.10
180	0.0984	0.0609	0.0422	0.0562	0.0797	0.0516	0.0562	0.0703	0.0844	0.0516	180	1.21	2.60	1.26	2.44	1.19
210	0.1041	0.0607	0.0434	0.0607	0.0824	0.0521	0.0607	0.0738	0.0911	0.0521	210	1.14	2.73	1.23	2.37	1.11
240	0.1055	0.0649	0.0446	0.0609	0.0893	0.0528	0.0609	0.0852	0.0933	0.0568	240	1.20	2.66	1.15	2.73	1.19
270	0.1071	0.0651	0.0497	0.0612	0.0918	0.0574	0.0651	0.088	0.0957	0.0574	270	1.18	2.40	1.22	2.64	1.17
300	0.1089	0.0653	0.0508	0.0617	0.098	0.0581	0.0653	0.0908	0.098	0.0617	300	1.17	2.37	1.16	2.71	1.23
330	0.1108	0.0658	0.0519	0.0658	0.1004	0.0588	0.0692	0.0935	0.1038	0.0623	330	1.16	2.47	1.14	2.63	1.17
											Valor Médio	1.26	3.24	1.23	2.59	1.14

Média geal repelência	1.89 %
-----------------------	--------

Fonte: O autor, 2023

4.3. Resistência mecânica do solo a penetração (RMP)

Para a realização da análise de compactação do solo, foi utilizado o aparelho penetroLOG (PLG1020 v. 1.13) da Falker, (Figura 10), que é um medidor eletrônico capaz de medir a resistência à penetração do solo e indicar quais áreas sofrem de compactação excessiva (PENETROLOG, 2023).

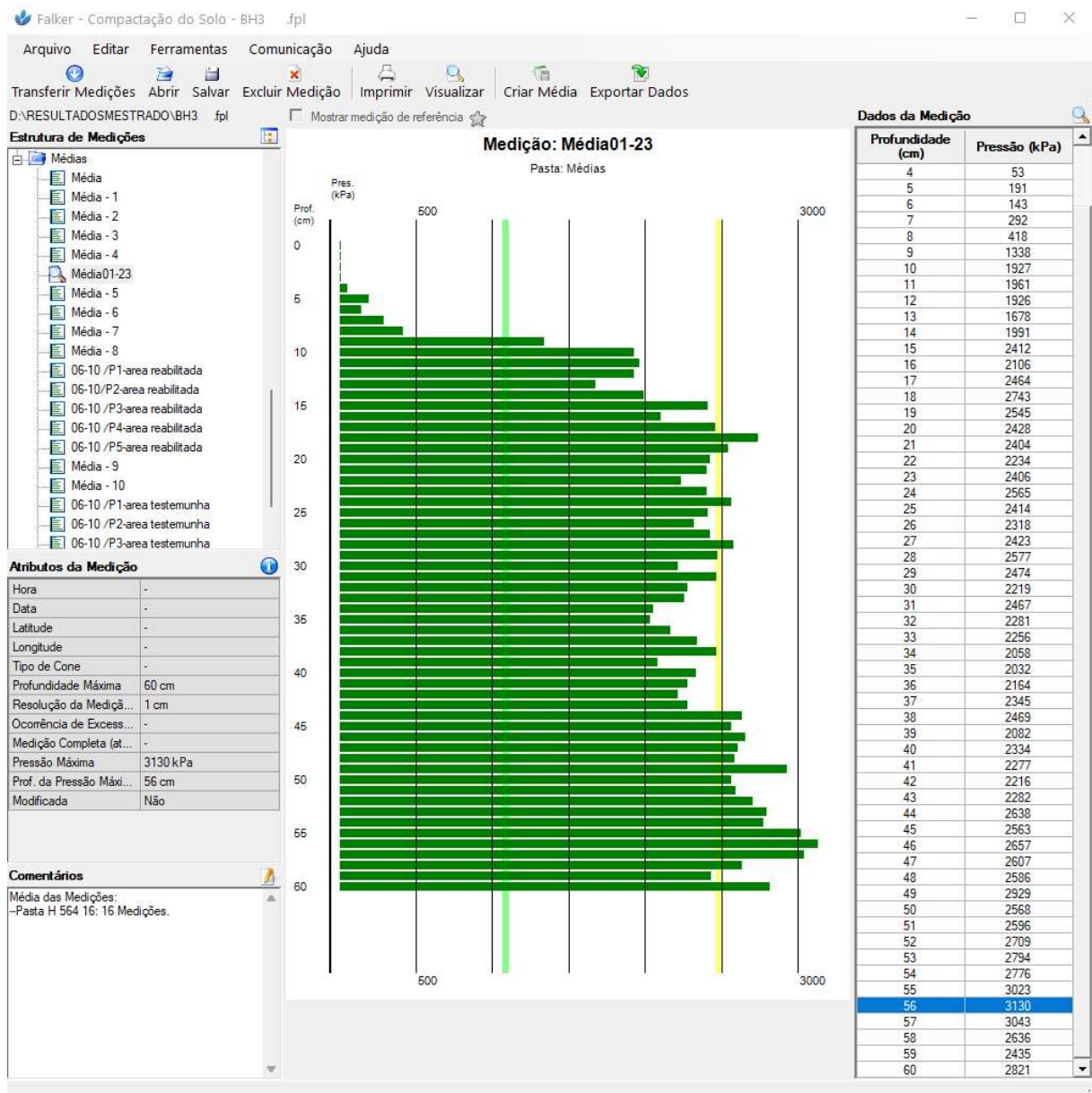
Figura 10 - Medição do grau de compactação do solo utilizando o aparelho penetrológ, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2022.



Fonte: O autor, 2022

O aparelho é constituído por uma placa metálica, de uma haste e do aparelho propriamente dito na qual a profundidade é ajustada de acordo com a preferência de 20, 40, 60 cm, sendo que nas medições foi utilizado a profundidade de 60cm. Logo que o equipamento era montado, a haste era introduzida pelo orifício presente na placa metálica que já se encontrava em contato com o solo. O aparelho era pressionado contra o solo, à medida que a haste estava sendo introduzida, a velocidade era mantida constante em 30mm/s, o aparelho foi realizando as medições de forma automática e salvando em sua memória interna. Posteriormente, os dados referentes ao penetrômetro Falker foram extraídos da memória digital e analisados no software disponibilizado pelo fabricante (Figura 11). Para cada ponto foi realizado no mínimo duas medições para que fosse utilizado a média entre eles.

Figura 11 - Programa Compactação do solo disponibilizado pelo fabricante Falker, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2022.



Análise aleatória de um ponto com ênfase para a profundidade de pressão máxima de 56 cm com 3130Kpa.

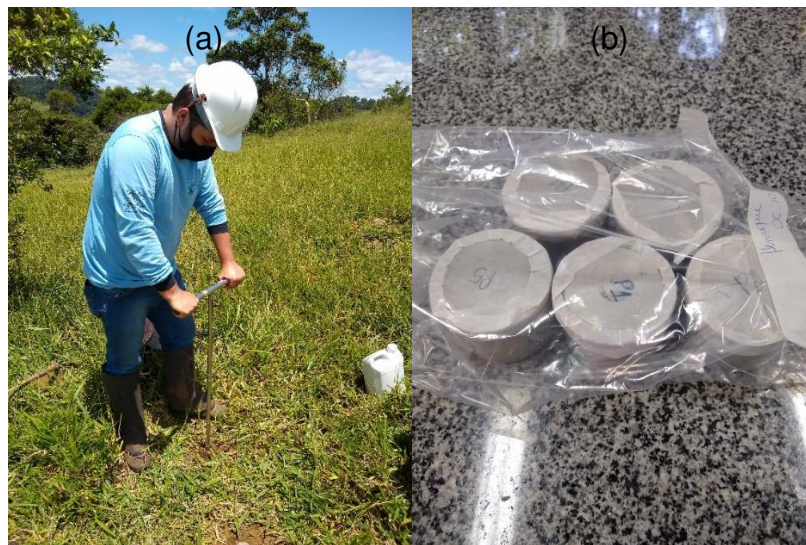
Fonte: Aplicativo Falker – Compactação do solo. Com dados do autor, 2023.

4.4. Análise Física e Química do solo

Para a coleta de solo utilizada na determinação da umidade, nas análises física e química, foram utilizados trado do tipo holandês (Figura 12 a), e as amostras de solo foram retiradas a uma profundidade de 0-20 cm. Para a realização da análise física e escanear identificados e posteriormente encaminhadas ao laboratório de rotina da UFV no Departamento de Solos (DPS) para a determinação da textura, matéria orgânica e porosidade.

Já para a determinação da umidade, com a ajuda de uma espátula, a amostra de solo foi condicionada rapidamente em latas com pesos conhecidos e numeradas e lacradas com fita crepe com o objetivo de se evitar perdas de umidade. As amostras colhidas no campo foram levadas ao LHF/UFV (Figura 12 b).

Figura 12 - Coleta de solos utilizando-se trado do tipo Holandês (a) em área reabilitada e amostras em latas identificadas e lacradas (b) prontas para pesagem do peso úmido, Laboratório de Hidrologia Florestal - LHF/UFV.



Fonte: O autor, 2022

Em uma balança semianalítica, modelo BK8000 da Gehaka, as latas contendo solo foram pesadas e seus valores em gramas anotadas em planilhas (Figura 13).

Figura 13 - Balança (modelo BK8000 da Gehaka) para pesagem de amostras para a determinação de umidade do solo, Laboratório de Hidrologia Florestal - LHF/UFV.



Fonte: O autor, 2022

Após pesadas, as latas já abertas contendo amostras úmidas foram colocadas em uma estufa a uma temperatura a 105°C, ficando nestas condições por 5 dias (Figura 14 a). Após este período as amostras foram retiradas e colocadas no dessecador para resfriar (Figura 14 b). A seguir, pesadas novamente para se obter o peso seco. Para a determinação do teor de umidade foi utilizado a seguinte fórmula (ABNT NBR 6457:2016).

$$U = \frac{M_1 - M_2}{M_2 - M_3} \times 100$$

Onde

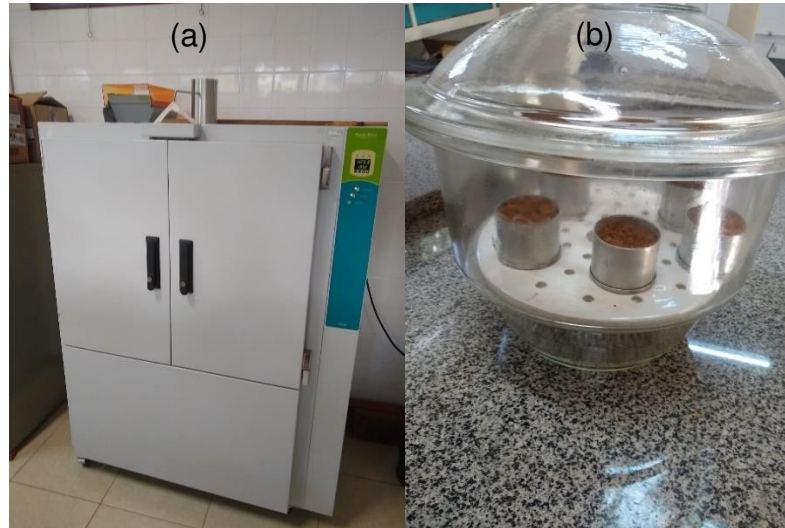
U: Teor de umidade, expresso em porcentagem (%);

M₁: Massa do solo úmido mais a massa do recipiente, expressa em gramas (g);

M₂: Massa do solo seco mais a massa do recipiente, expressa em gramas (g);

M₃: Massa do recipiente, expressa em gramas (g).

Figura 14 - Estufa para secagem de solo a 105°C (a) e dessecador para resfriamento das amostras de solo (b), Laboratório de Hidrologia Florestal - LHF/UFV.



Fonte: O autor, 2022

4.5. Análises estatística

Os dados foram processados no software Excel® e, posteriormente, as análises estatísticas e gráficos foram gerados no ambiente RStudio 4.2.3, com o auxílio dos pacotes "corrplot" e "ggcorrplot".

Para avaliar a normalidade dos dados, foi realizado o teste de Shapiro-Wilk. Uma vez que os dados não atenderam aos pressupostos de normalidade, optou-se por utilizar o teste de Mann-Whitney, que é um teste de hipótese não paramétrico, para efetuar a comparação entre os conjuntos de dados.

Análise de correlação de Spearman e análise de componentes principais (PCA) foram aplicados ao conjunto de dados para avaliar as relações e identificar as associações mais significativas entre as variáveis. Essas análises permitiram identificar as variáveis que exercem maior influência e explicam tanto a repelência (R) quanto as variáveis hidrológicas.

As variáveis utilizadas na correlação de Spearman e PCA foram: pH em água (pH₂O), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), alumínio (Al³⁺), H + Al, soma de bases trocáveis (SB), capacidade de troca catiônica efetiva (t), capacidade de troca catiônica (T), índice de saturação por bases (V), índice de saturação por alumínio (m), matéria orgânica (MO), fósforo remanescente (P-rem), teor de areia grossa (Agr), teor de areia fina (Afi), teor de silte (Si), teor de argila (Ar),

densidade de partículas (Dp), densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), condutividade hidráulica (Ch), capacidade de infiltração (Ci), velocidade de infiltração (Vi), umidade (U), resistência mecânica do solo a penetração (RMP). Para a realização da análise foi utilizados dados médios das medições, obtendo informações para área reabilitada e área testemunha de forma geral.

5. RESULTADO E DISCUSSÃO

Para uma melhor compreensão, os resultados da parte hidrológica, análise de solos e umidade foram apresentados como média geral, tanto para a área reabilitada quanto para a área testemunha, sem a apresentação de resultados individuais para as áreas 0610, 0630 e 0123. Já os dados de repelência e compactação foram apresentados como média geral, mas também de forma individual para 0610, 0630 e 0123, a fim de elucidar a variabilidade desses parâmetros no solo.

5.1. Velocidade e Capacidade de Infiltração, Condutividade Hidráulica e Repelência do Solo a Água

Os resultados obtidos para as variáveis velocidade de infiltração (Vi), capacidade de infiltração (Ci), condutividade hidráulica (Ch) e umidade (U) e suas respectivas análises estatísticas podem ser observados na tabela 1.

Tabela 1 - Resultado da análise estatística para as variáveis velocidade de infiltração (Vi), capacidade de infiltração (Ci), condutividade hidráulica (Ch) e umidade (U) para a área testemunha e reabilitada, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2022.

Variável	Unidade	n	Área								U	p-valor
			Testemunha				Reabilitada					
			mínimo	máximo	média	desvio padrão	mínimo	máximo	média	desvio padrão		
Vi		15	22.35	378.56	129.38	90.21	87.33	968.26	293.88	247.18	176	0.0075
Ci	mm/h	15	25.30	432.10	147.53	102.08	95.47	995.47	308.78	253.40	174	0.0099
Ch		15	0.52	29.69	9.19	9.35	6.70	168.48	48.44	46.19	197	0.0002
U	%	15	19.31	50.78	31.91	9.95	16.22	37.74	23.27	5.69	61	0.0329

U = teste estatístico de Mann-Whitney.

As médias da condutividade hidráulica, velocidade de infiltração e da capacidade de infiltração foram diferentes entre as áreas RE e TE com maiores valores observados em área reabilitada.

Foram observadas diferenças estatisticamente significativas ($p \leq 0,05$) nas variáveis V_i (velocidade de infiltração), C_i (capacidade de infiltração), Ch (condutividade hidráulica) e U (umidade) entre as áreas testemunha e reabilitada.

A condutividade hidráulica teve um aumento de 427% de TE para RE. Velocidade de infiltração um aumento de 130%. Já a capacidade de infiltração obteve 109% de aumento.

A condutividade hidráulica demonstrou que o solo em área reabilitada possui grande capacidade de movimentação de água, sendo essa variável dependente de outras propriedades, como a distribuição dos tamanhos dos poros, textura e densidade do solo (MACEDO et al., 2017). Essa maior movimentação de água no solo ocorre devido ao fato que no processo de reabilitação ocorre a incorporação de cascalho no solo, proporcionando maior quantidade de espaços vazios que irão facilitar a sua movimentação (SILVEIRA, 2017). A macroporosidade e as ligações entre eles são afetadas pela compactação, à medida que a compactação aumenta as linhas de fluxo tentem a passar pelos microporos em trajetos tortuosos consequentemente a condutividade diminui (DE ABREU, 2020).

A infiltração é dependente das propriedades do solo, das características da precipitação, taxas de umidade, cobertura e tipo de vegetação e do manejo do solo (BERTOL et al., 2015; VEREECKEN et al., 2019). Em área reabilitada, a infiltração foi maior devido ao manejo da reabilitação. A infiltração de água no solo varia significativamente com o tipo de solo e seu manejo (BERTOL et al., 2015), sendo que quando não há infiltração, a água não infiltrada possibilita o surgimento de escoamento superficial que pode provocar erosões no solo (TANG et al., 2019). Conforme apresentado por Borges (2013), o solo na área é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico. Os latossolos são solos em avançado estágio de intemperização, normalmente profundos e são fortemente a bem drenados (EMBRAPA, 2018), possuem estrutura granular, com ótima porosidade total, possuindo boa infiltração, apresentando baixo potencial de escoamento superficial (SARTORI et al., 2005). O manejo tem grande influência na infiltração, o revolvimento do solo aumenta a entrada de água no perfil em consequência da maior rugosidade na superfície diminuindo o escoamento superficial (KLEIN; KLEIN, 2014). Em um trabalho realizado em áreas de mineração de bauxita, na mesma região da pesquisa, Silveira (2017) concluiu que as áreas reabilitadas possuíam a mesma capacidade de infiltração de antes da mineração. No trabalho desenvolvido por Brito et al., (2019) na

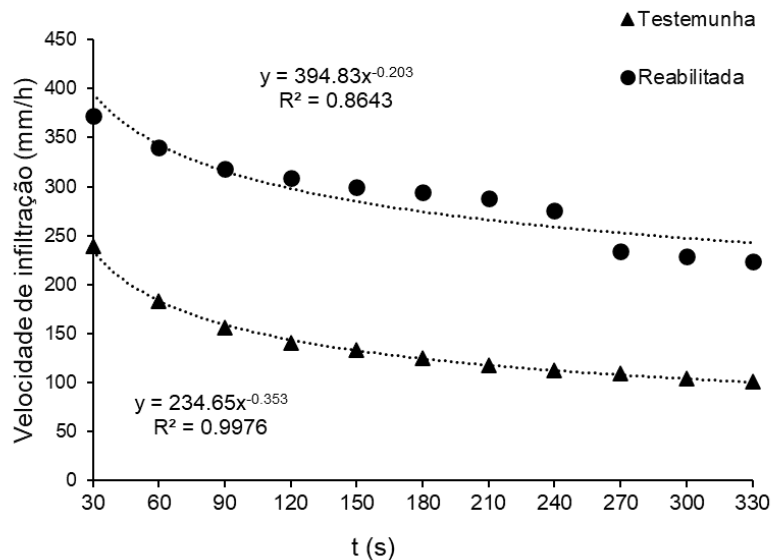
qual ele compara a capacidade de infiltração de água no solo em ambientes de pastagem e de floresta ripária utilizando o infiltrômetro Minidisk (sucção 0), concluíram que em ambientes naturais apresentaram a maior capacidade de infiltração média com 556,9 mm/h em comparação com pastagens com 242 mm/h. Os mesmos autores salientam que essa diminuição da capacidade de infiltração em pastagens é explicada pela compactação do pisoteio de animais. Esse fato corrobora com o presente trabalho, as áreas testemunhas são pastagens e a compactação mais próxima da superfície contribui para a diminuição da capacidade de infiltração.

No trabalho de Brito et al., (2022), desenvolvido em mata ciliar tropical, Distrito Federal (Brasil), utilizando o infiltrômetro Minidisk, encontraram uma capacidade média de infiltração de 419 mm/h nos meses chuvosos e 140,3 mm/h em meses secos, concluíram que na estação seca a mata ciliar desenvolveu repelência e na estação úmida a repelência foi insignificante.

O teor médio de umidade (0-20cm) encontrada na área testemunha foi de 32% e na área reabilitada foi de 24%, houve diferença significativa entre as áreas ($U = 61$, $p\text{-valor} = 0,032$). O teor de umidade no solo tem grande influência nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (MIELNIK et al., 2021). O teor de umidade favorece a introdução da haste do aparelho no solo interferindo diretamente nos valores finais da compactação. Solos com menor teor de umidade estão associados a maior repelência, solos com maior teor de umidade tende a ser menos repelente a água (SIMKOVIC et al. 2023). A área testemunha apresentou um maior teor de umidade, logo a repelência pode estar sendo influenciada, quando estiver mais seco, o solo pode apresentar um grau de repelência ainda maior do que o observado no momento das medições.

O comportamento da curva da velocidade de infiltração em área reabilitada partiu de um valor superior em comparação a área testemunha (Figura 15). Em área reabilitada, a velocidade inicial partiu de 372,23 mm/h em comparação com a área testemunha que foi de 238,93 mm/h.

Figura 15 - Comportamento da curva de velocidade de infiltração da água no solo em área reabilitada pela CBA e testemunha, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2022.



A repelência do solo a água, os resultados são apresentados de forma individual para cada área 0610, 0630 e 0123, TE e RE. Nas tabelas 3, 4 e 5 são informados os valores da taxa de repelência (R) para cada repetição P1, P2, P3, P4 e P5 relacionado ao tempo.

A repelência média foi diferente entre as áreas 0123, 0610, 0630, com maiores valores observados na área testemunha. Estatisticamente não houve diferença entre as médias de 0123 ($U = 1526$, $p\text{-valor} = 0,89$), já nas demais áreas 0610 ($U = 265$, $p\text{-valor} \leq 0,001$) e 0630 ($U = 42$, $p\text{-valor} \leq 0,001$) há evidências de diferenças entre as áreas.

Foi observado que a repelência possui uma distribuição desigual nas repetições e no tempo. Como há o recobrimento total ou parcial das partículas do solo e das paredes dos poros presentes no perfil do solo essas condições resultam em diferentes graus de hidrofobicidade (MATTOS et al., 2022), assim como mudanças no grau de hidrofobicidade por ser uma propriedade transitória podendo ocorrer em curtos espaços de tempo (LOZANO - BAEZ et al., 2020). No tempo zero não há dados de repelência já que o teste é realizado a cada 30 segundos sendo que a primeira

medição ocorreu no tempo $t = 30s$. Na tabela 2, área 0123, não é observado repelência para a repetição P5 na área RE, contribuindo para uma menor repelência na área.

Segundo Tillman et al. (1989), solos não hidrofóbicos apresentam valores de $R \leq 1$, já solo críticos de hidrofobicidade, o $R \geq 1,95$.

Tabela 2 - Valores de repelência (%) obtidos na área 0123 reabilitada e testemunha para as repetições P1, P2, P3, P4 e P5 com tempo variando de 0 a 330s, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2022.

Tempo (s)	Área RE					Área TE				
	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	1.95	1.95	1.46	1.95	0.84	3.12	1.95	0.98	1.46	1.17
60	1.95	1.30	1.95	1.46	0.65	3.90	1.73	0.98	1.39	1.22
90	2.51	1.30	2.28	1.76	0.69	4.39	1.95	0.98	1.30	1.17
120	2.60	1.24	2.51	1.79	0.65	5.36	1.80	1.08	1.24	1.30
150	2.48	1.20	2.68	1.81	0.62	5.63	1.82	1.06	1.30	1.17
180	2.40	1.17	2.82	1.82	0.61	5.85	1.84	1.14	1.25	1.26
210	2.34	1.15	2.73	1.95	0.59	6.63	1.85	1.20	1.30	1.23
240	2.44	1.13	2.84	1.95	0.58	6.38	1.86	1.25	1.26	1.27
270	2.38	1.11	2.76	2.05	0.57	7.09	1.87	1.22	1.23	1.19
300	2.34	1.10	2.81	2.15	0.58	7.15	1.95	1.26	1.27	1.30
330	2.30	1.09	2.85	2.13	0.58	7.80	1.95	1.30	1.24	1.28
Média	Área RE = 1.73%					Área RE = 2.26%				

O símbolo (-) foi atribuído ao tempo zero (0), as medições são anotadas após 30 segundos do início do teste a cada 30 segundos. Valores de $R \leq 1$ são solos não repelentes, $R \geq 1.95$ são solos extremamente repelentes.

Na tabela 3, área 0610, na área RE apenas a repetição P5 apresentou repelência, no geral a área 0610 não apresentou repelência (0,83%). Já na área TE, P3 e P5 apresentaram valores bem altos de repelência, elevando a média de repelência da área testemunha. A área TE apresentou valor de 9,63%, segundo Tillman et al., (1989) valores ≥ 1.95 são solos extremamente repelentes. Esses altos valores podem ser explicados pelo tipo de vegetação encontrada na área, capim gordura juntamente com a braquiária. O capim-gordura produz grande quantidade de biomassa, ao se decompor, contribui para uma elevada quantidade de matéria orgânica no solo (RODOVALHO, 2016). O capim gordura produz um óleo que é secretado por pelos glandulares (CHAGAS, 2001) esse óleo, no processo de decomposição da matéria orgânica, pode ter contribuído para o aumento da repelência do solo.

Tabela 3 - Valores de repelência (%) obtidos na área 0610 reabilitada e testemunha para as repetições P1, P2, P3, P4 e P5 com tempo variando de 0 a 330s, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2022.

Tempo (s)	Área RE					Área TE				
	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	0.65	0.56	0.28	0.65	3.25	1.95	0.98	31.20	0.59	16.99
60	0.49	0.60	0.29	0.56	1.95	2.60	0.98	19.50	0.75	18.48
90	0.56	0.69	0.30	0.35	1.95	2.34	1.17	25.35	0.80	17.31
120	0.50	0.57	0.26	0.42	1.79	2.60	0.98	33.15	0.84	16.18
150	0.55	0.59	0.27	0.33	1.82	2.44	1.11	27.30	0.94	15.19
180	0.57	0.53	0.28	0.44	1.84	2.60	1.22	23.40	0.98	14.86
210	0.59	0.57	0.29	0.39	1.85	2.73	1.13	27.30	1.01	14.50
240	0.60	0.58	0.33	0.34	1.86	2.44	1.06	30.23	1.03	14.13
270	0.59	0.56	-	0.34	1.87	2.60	1.14	33.15	1.05	13.77
300	0.60	0.58	-	0.32	1.88	2.51	1.13	29.64	1.07	13.43
330	0.62	0.60	-	0.38	1.82	2.60	1.11	31.98	1.09	13.10
Média	Área RE = 0.80%					Área RE = 9.63%				

O símbolo (-) foi atribuído ao tempo zero (0), as medições são anotadas após 30 segundos do início do teste a cada 30 segundos. No tempo 270 a 330s da Área RE-P3 foi atribuído o símbolo (-) em decorrência da finalização do teste em decorrência da rápida infiltração. Valores de $R \leq 1$ são solos não repelentes, $R \geq 1.95$ são solos extremamente repelentes.

Na tabela 4, área 0630, ambas as áreas apresentaram repelência. A área TE apresentou valor acima de 6,78%, configurando solos extremamente repelentes (Tillman et al., 1989).

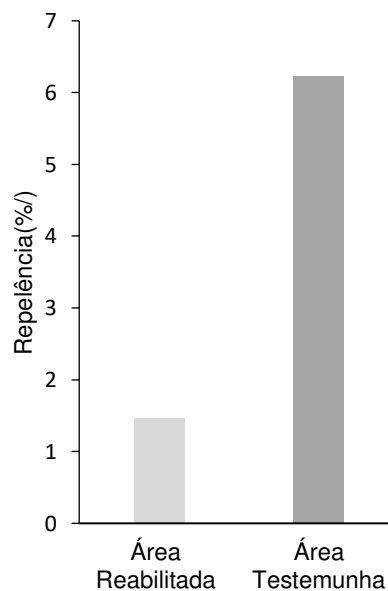
Tabela 4 - Valores de repelência (%) obtidos na área 0630 reabilitada e testemunha para as repetições P1, P2, P3, P4 e P5 com tempo variando de 0 a 330s, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2022.

Tempo (s)	Área RE					Área TE				
	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	1.63	7.80	1.30	2.60	0.98	4.88	6.83	10.14	6.50	3.90
60	1.37	3.90	1.30	2.73	0.98	5.85	7.15	7.37	6.24	3.90
90	1.35	2.73	1.30	2.51	1.06	4.88	6.83	7.45	6.13	4.33
120	1.22	2.93	1.24	2.38	1.05	5.07	6.63	7.80	6.34	4.61
150	1.23	3.06	1.25	2.73	1.10	4.46	6.50	8.06	6.50	4.88
180	1.21	2.60	1.26	2.44	1.19	4.63	7.80	8.26	6.38	5.40
210	1.14	2.73	1.23	2.37	1.11	5.12	7.52	8.42	7.09	5.46
240	1.20	2.66	1.15	2.73	1.19	5.20	8.36	9.24	7.15	5.85
270	1.18	2.40	1.22	2.64	1.17	5.63	8.04	9.29	7.20	6.42
300	1.17	2.37	1.16	2.71	1.23	6.07	8.78	10.21	7.80	7.11
330	1.16	2.47	1.14	2.63	1.17	6.36	8.95	10.17	8.40	7.37
Média	Área RE = 1.89%					Área RE = 6.78%				

O símbolo (-) foi atribuído ao tempo zero (0), as medições são anotadas após 30 segundos do início do teste a cada 30 segundos. Valores de $R \leq 1$ são solos não repelentes, $R \geq 1.95$ são solos extremamente repelentes.

A taxa de repelência média foi diferente entre as áreas RE e TE com maiores valores observados na área testemunha (Figura 16). Estatisticamente houve diferença significativa entre as médias da área testemunha e reabilitada ($U = 53$, $p\text{-valor} = 0,012$). A repelência na área RE foi de 1,48% e em TE foi de 6,22%, uma diminuição de 77% na repelência de TE para RE.

Figura 16 - Comparação de valores médios da repelência entre área reabilitada e testemunha, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2022.



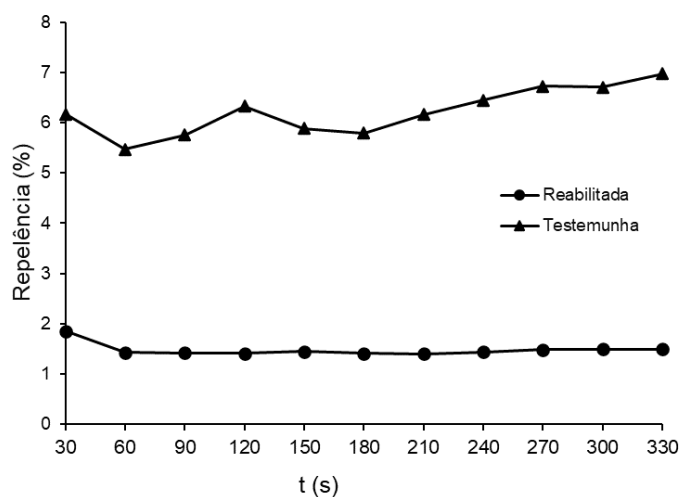
O fenômeno da repelência é um problema que deve ser levado em consideração já que influencia diretamente na infiltração de água no solo (Alagna et al., 2019). Locais onde ocorre uma maior taxa de repelência obtém-se uma diminuição na velocidade de infiltração de água no solo, por outro lado, quando a taxa de repelência diminui, a água é capaz de penetrar mais facilmente no solo, aumentando assim a velocidade de infiltração. Observou-se uma inversão nos valores de velocidade de infiltração, capacidade de infiltração e repelência em relação às áreas reabilitada e testemunha. Na área testemunha, foram registrados maiores valores de repelência, o que resultou em uma menor infiltração, enquanto na área reabilitada, a repelência foi menor, o que se traduziu em uma maior taxa de infiltração.

O fenômeno da repelência da água do solo causa a redução ou atraso da infiltração de água no solo (HEWELKE, et al., 2022). A hidrofobicidade é um fenômeno amplamente documentado, mas é difícil estabelecer uma distribuição do

fenômeno no solo devido a sua alta variabilidade (VOGELMANN, 2015). De acordo com Brito et al. (2022), a repelência do solo à água diminui durante as estações chuvosas, o que possibilita um aumento significativo na capacidade de infiltração. É importante ressaltar que o presente estudo foi conduzido em um período de baixa pluviosidade, sendo necessária uma pesquisa subsequente para confirmar a redução da repelência e o aumento na taxa de infiltração durante as estações chuvosas. Os autores supracitados concluíram em seu trabalho que o fenômeno da repelência é um processo reversível não persistindo além da estação seca. Não foram encontrados trabalhos que avaliam repelência em ambientes de mineração de bauxita, assim como o uso de infiltrômetro MiniDisk.

Na Figura 17, foi demonstrado o comportamento da curva de repelência do solo a água de forma de média geral. Em área testemunha, ocorreu uma variação da repelência ao longo do tempo com tendências de aumento. Já na área reabilitada a repelência se deu de forma uniforme e constante. Vogelmann et al., (2015) salientam que como a hidrofobicidade possui variação no perfil do solo, a mesma pode ser reduzida quando é feita a homogeneização dos compostos hidrofóbicos na área. De fato, o processo de mineração e reabilitação das áreas proporcionou a homogeneização da área reduzindo a repelência conforme demonstrado.

Figura 17 - Comportamento da curva de repelência do solo à água em área reabilitada e testemunha, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2022.



5.2. Análise Física e Química

Na análise física, foi observada uma diferença significativa na densidade do solo e na densidade de partículas entre as áreas, conforme apresentado na Tabela 5. Esse aumento nas densidades foi registrado na área reabilitada. No entanto, apesar desse aumento, não houve diferença significativa na porosidade total do solo. Esses resultados estão em consonância com os achados do estudo conduzido por Silveira et al. em 2017, onde também não foi observada diferença significativa na porosidade total do solo.

A porosidade, juntamente com a densidade do solo e de partícula, desempenha um papel fundamental na avaliação da qualidade física do solo, especialmente em relação aos efeitos da compactação. A alteração nas densidades do solo e de partículas na área reabilitada, sem afetar a porosidade total, sugere que houve uma redistribuição dos poros e uma compactação diferenciada ao longo do perfil do solo nessa área. Esse fenômeno pode ser resultado das práticas de reabilitação adotadas e pode impactar a capacidade do solo de lidar com questões hidrológicas, como a infiltração de água.

Tabela 5 - Resultados médios e análise estatística para análise física do solo da área testemunha e reabilitada, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2022.

Variável	Unidade	Testemunha			Reabilitada			U	p-valor
		n	média	desvio padrão	n	média	desvio padrão		
Areia Grossa		13	0.155	0.038	13	0.162	0.024	99.0	0.47260
Areia Fina		13	0.106	0.033	13	0.122	0.017	101.0	0.41170
Silte	dag kg ⁻¹	13	0.187	0.090	13	0.145	0.029	104.5	1.00000
Argila		13	0.551	0.067	13	0.572	0.029	119.0	0.08113
Densidade do solo		13	1.008	0.028	13	1.062	0.028	153.5	0.00042
Densidade de Partícula	Kg dm ⁻³	13	2.505	0.072	13	2.598	0.047	144.5	0.00208
Porosidade Total	dm ³ dm ⁻³	13	0.598	0.008	13	0.591	0.012	63.5	0.07923

O (n) é quantidade de pontos amostrados para cada variável. U = teste estatístico de Mann-Whitney.

No solo, o espaço poroso desempenha um papel crucial no desenvolvimento das plantas, uma vez que é através desse espaço que a água e o ar se deslocam em direção à rizosfera das plantas (DE JESUS et al., 2017). Essa característica está intrinsecamente ligada à compactação do solo.

Na análise química do solo (Tabela 6), foram identificadas diferenças estatísticas significativas ($p \leq 0,05$) em relação às variáveis Al^{3+} , $H + Al$, T (capacidade de troca catiônica a pH 7,0) e MO (matéria orgânica). A diminuição dessas variáveis (Al^{3+} , $H + Al$, T) na área reabilitada em comparação com a área

testemunha pode ter ocorrido durante o processo de calagem, que é frequentemente utilizado para corrigir a acidez do solo (CALGARO et al., 2008; SILVEIRA, 2017).

Tabela 6 - Resultados médios e análise estatística para a análise química do solo das áreas testemunha e reabilitada, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2022.

Variável ¹	Unidade	Testemunha			Reabilitada			U	p-valor
		n	média	desvio padrão	n	média	desvio padrão		
pH _{H₂O}		13	5.188	0.538	13	5.384	0.412	101.0	0.41180
P	mg/dm ³	13	3.762	7.272	13	14.798	26.373	94.5	0.62480
K		13	42.000	18.673	13	27.308	15.195	47.0	0.05764
Ca ²⁺	cmol _c /dm ³	13	1.648	1.955	13	1.169	0.690	94.0	0.64330
Mg ²⁺		13	0.620	0.638	13	0.217	0.243	71.5	0.51890
Al ³⁺		13	0.607	0.534	13	0.153	0.163	41.0	0.02637
H + Al		13	9.231	1.730	13	6.431	2.062	25.5	0.00267
SB		13	2.374	2.611	13	1.455	0.825	87	0.91830
t		13	2.981	2.207	13	1.608	0.712	59	0.19970
T		13	11.605	1.826	13	7.886	1.699	12	0.00005
V		13	18.315	19.905	13	19.692	12.752	100	0.44830
m	%	13	48.223	43.605	13	14.662	18.576	51.5	0.09354
MO	dag/Kg	13	7.597	1.298	13	4.414	1.353	4	0.00004
P-Rem	mg/L	13	9.115	3.441	13	7.977	2.423	67.5	0.39710

¹pH em água; P, K: Extrator Mehlich-1; Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺: Extrator: KCl - 1 mol/L; H + Al: Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0; SB: Soma de Bases Trocáveis; t: Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; T: Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V: Índice de Saturação por Bases; m: Índice de Saturação por Alumínio; MO: Mat. Orgânica = C.Org x 1,724 -Walkley-Black; P-rem: Fósforo Remanescente. O (n) é quantidade de pontos amostrados para cada variável. U = teste estatístico de Mann-Whitney.

Diversos solos no Brasil possuem características naturalmente ácidas, o que resulta em níveis prejudiciais de alumínio para as plantas. Isso não apenas restringe o potencial de crescimento das culturas, mas também dificulta a expansão das raízes (JUNIOR, 2018). Em altas concentrações no solo, o Al³⁺ pode ser tóxico para as plantas, interferindo na disponibilidade de nutrientes. A calagem é utilizada para a correção da acidez, consistindo na aplicação de carbonato de cálcio (CaCO₃) e magnésio (MgCO₃) que irão dissociar e reagir produzindo OH⁻. Como efeito positivo da calagem tem-se a substituição do Al³⁺ e H⁺ por Ca²⁺, Mg²⁺ no complexo sortivo do solo, proporcionando o aumento de Ca²⁺, Mg²⁺ favorecendo a elevação do pH (MARTINEZ et al., 2021).

Na área reabilitada foi aplicado o calcário dolomítico (PRNT min. 85%) no ano de 2021 (Figura 2), na dosagem de 3 toneladas por hectare. Essa aplicação foi realizada em toda a área durante os períodos mais secos do ano, idealmente de 2 a 3 meses antes da implantação da cultura. Quando aplicado na quantidade adequada, o uso de calcário aumenta o pH, eleva os teores de cálcio e magnésio no solo, o que,

por sua vez, reduz a atividade do alumínio, favorece o desenvolvimento das raízes e estimula a atividade microbiana (JUNIOR, 2018; BATISTA et al., 2018). Após aproximadamente dois anos da aplicação de calcário na área reabilitada, observou-se um aumento do pH H₂O e uma redução nos níveis de Al³⁺ e H+Al em comparação com a área testemunha.

Os valores de Ca²⁺ e Mg²⁺ foram mais baixos na área reabilitada em comparação com a área testemunha, resultando em uma soma de base (SB) menor. Não houve diferença estatisticamente significativa entre as áreas quanto a Ca²⁺, Mg²⁺ e SB. A redução dos íons de Ca²⁺ e Mg²⁺ pode ter sido influenciada pela lixiviação, um processo no qual os nutrientes do solo são transportados pelas águas da chuva, especialmente em regiões com alta pluviosidade, para camadas mais profundas do solo, resultando na perda desses elementos em superfície (RIOS et al., 2008; BATISTA et al., 2018; OLEGO et al., 2021). Devido à alta condutividade hidráulica da área, a lixiviação de Ca²⁺ e Mg²⁺ pode ter sido intensificada. Um ponto adicional a ser levado em conta é que a análise do solo se concentrou exclusivamente na camada de 0-20 cm. É importante reconhecer que os níveis de Ca²⁺ e Mg²⁺ podem estar em camadas mais profundas, especialmente nas proximidades das raízes das plantas. Devido a restrições financeiras, não foi possível realizar análises em camadas mais profundas do solo.

Além disso, as plantas absorvem nutrientes, incluindo cálcio e magnésio, do solo para o seu crescimento, o que pode diminuir a concentração desses nutrientes no solo (SILVA, 2010; BATISTA et al., 2018). No trabalho de Pauletti et al., (2014), no qual avaliaram o efeito da aplicação de calcário nos atributos químicos de um latossolo vermelho-amarelo distrófico típico, após 36 e 72 meses de aplicação, verificaram que na camada de 0-10, a 36 meses o teor de Ca²⁺ foi de 5,1 cmol_c dm⁻³, e a 72 meses encontraram 3,6 cmol_c dm⁻³. Já para Mg²⁺, na camada de 0-10, após 36 meses foi de 2,55 cmol_c dm⁻³ e após 72 meses 1,81 cmol_c dm⁻³. Esses resultados evidenciam uma redução de Ca²⁺ e Mg²⁺ ao longo do tempo.

A diminuição da soma de base (SB) teve impacto na capacidade de troca catiônica (CTC) efetiva (t) e na CTC a pH 7,0 (T), uma vez que a CTC leva em consideração a SB. Além disso, o índice de saturação por alumínio (m) foi significativamente menor na área reabilitada devido aos baixos níveis de Al³⁺, enquanto o índice de saturação por bases (V) apresentou um aumento leve na área reabilitada.

A matéria orgânica (MO) teve uma diminuição acentuada entre as áreas, uma diminuição de 42% de TE para RE. Esse fato ocorre em decorrência da mistura da matéria orgânica em uma maior quantidade de solo ou pela decomposição por microrganismos na pilha de top-soil durante o período de lavra (Silveira, 2017). A matéria orgânica atua nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, trazendo benefícios ao ambiente (MARTINEZ et al., 2021). A matéria orgânica desempenha um papel de extrema importância na capacidade produtiva dos solos e na recuperação de áreas degradadas (DE OLIVEIRA et al., 2011). De acordo com os autores mencionados, isso ocorre devido aos seus impactos positivos na disponibilidade de nutrientes, na capacidade de troca de cátions do solo, na complexação de elementos tóxicos e micronutrientes, na promoção da agregação do solo, na melhoria da infiltração e retenção de água, na facilitação da aeração e na estimulação da atividade da biomassa microbiana.

5.3. Resistência mecânica do solo a penetração (RMP)

A resistência do solo à penetração é uma propriedade que expressa o grau de compactação favorecendo ou não a penetração das raízes no solo (Silveira et al., 2010) assim como o favorecimento ou dificuldade de infiltração de água. A compactação do solo exerce influência na infiltração de água e no desenvolvimento das raízes das plantas. Neste estudo, observou-se que a resistência mecânica não afetou a taxa de infiltração, porém, é possível reduzi-la por meio da subsolagem e de uma disposição mais adequada dos materiais grosseiros durante o processo de reabilitação da área (SPLETOZER, 2022).

A profundidade de pressão máxima (cm) para a área reabilitada ficou em média nos 42 cm e na área testemunha ficou a 26 cm, bem superficial (Tabela 7). A pressão média (Kpa) da área reabilitada ficou bem acima da área testemunha, esse fato ocorre em decorrência da incorporação de cascalhos ao material utilizado na reabilitação juntamente com o *top-soil*, pois no momento da reabilitação é passado um subsolador Ripper de 1 metro na área para eliminar a compactação.

Tabela 7 - Resultados encontrados para a resistência mecânica do solo a penetração (RMP) para as áreas testemunha e reabilitada, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2022.

Área	Profundidade configurada do aparelho	Área					
		Reabilitada			Testemunha		
		Pressão Média (Kpa)	Pressão Máxima (Kpa)	Profundidade da pressão Máxima (cm).	Pressão Média (Kpa)	Pressão Máxima (Kpa)	Profundidade da pressão Máxima (cm)
0123	0-60	2063	3769	49	1096	1790	18
0610	0-60	1132	2811	36	1066	2240	41
0630	0-60	1720	3576	41	1442	2570	20
Média		1638	3385	42	1201	2200	26

Para cada repetição foram coletados de duas a três medições de resistência mecânica do solo, destas coletas foram extraídas as médias.

No momento das medições corriqueiramente a haste se chocava com algum cascalho dificultando a sua introdução conseqüentemente afetou na pressão média. Como a compactação é um fator limitante dos processos hidrológicos e a infiltração sendo um processo de superfície, a área reabilitada apresentou ótimas condições superficiais para a infiltração de água no solo.

Furquim et al., (2020), concluíram em seu trabalho que pastagens degradadas apresentaram os maiores valores de resistência do solo a penetração e menor velocidade de infiltração em comparação com os sistemas integrados (Integração lavoura-floresta, pecuária floresta, lavoura pecuária-floresta) que possuem preparo do solo.

No trabalho de Spletzer (2018), em seu estudo em áreas de mineração de Bauxita, a RMP em uma área antes da mineração foi de 1222,57 Kpa e em outra área na reabilitação inicial foi de 2615,83 Kpa, demonstrando valores próximos ao presente trabalho. Segundo Silveira (2017), o aumento da RMP em área reabilitada após mineração aumenta consideravelmente quando a haste do aparelho encontra um cascalho em comparação a um agregado de solo natural.

A compactação do solo constitui um tema de crescente importância em face do aumento da mecanização nas atividades agrícolas, que acarreta alteração no arranjo das partículas do solo, tornando-o mais denso (GOEDERT, 2002). Segundo o mesmo autor, os principais efeitos negativos da compactação do solo são o aumento da resistência mecânica ao crescimento radicular, redução da aeração e da disponibilidade de água e nutrientes, e, conseqüentemente, decréscimo na produtividade agrícola. Valores de RMP próximos a 2 Mpa (2000 Kpa) são considerados impedimentos ao crescimento radicular das plantas (CORTEZ et al., 2019) para Ohland et al. 2014, acima de 1500 a 4000 Kpa dependendo da espécie.

Como a área em estudo foi reabilitada com braquiária cujo sistema radicular é curto não há interferência pela compactação. Silva-Neto e Schimidt (2021), salientam que a compactação e o encrostamento superficial proporcionam aumento do escoamento, favorecendo a ocorrência de processos erosivos e diminuição da infiltração de água no solo. Segundo Garcia (2021), o encrostamento subsuperficial além de impedir a movimentação da água em profundidade impede o crescimento das raízes, como consequência em curtos períodos sem chuva pode proporcionar o agravamento do déficit hídrico.

Nas Figuras 18 a 23, é possível observar a resistência mecânica do solo à penetração (kPa) em relação à profundidade (cm) para cada área. Nota-se uma maior variabilidade em área reabilitada devido à presença de cascalhos, enquanto na área testemunha, existe um padrão mais uniforme.

Figura 18 - Resistência mecânica do solo a penetração (kPa) em profundidade (cm) para a área reabilitada 0123, sendo: P1, P2, P3, P4 e P5 repetições, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2022.

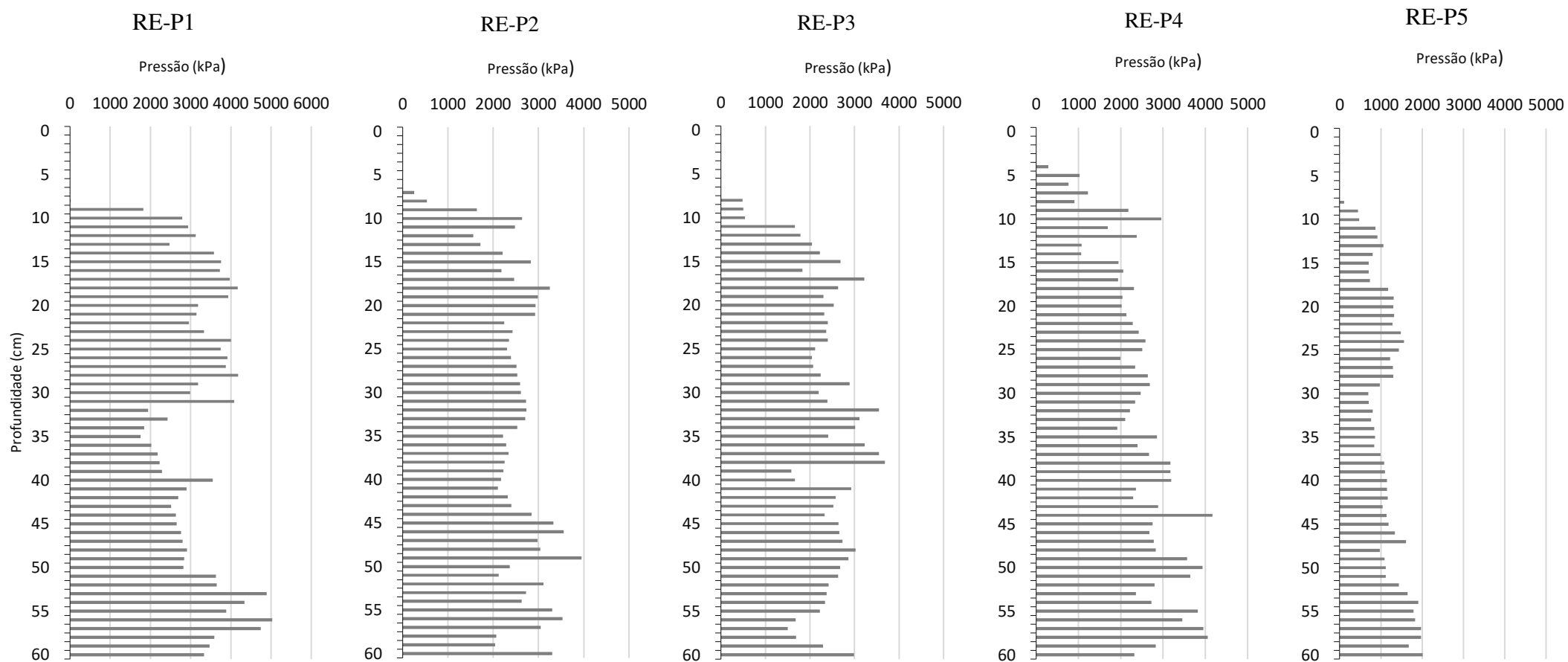


Figura 19 - Resistência mecânica do solo a penetração (kPa) em profundidade (cm) para a área testemunha 0123, sendo: P1, P2, P3, P4 e P5, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2022.

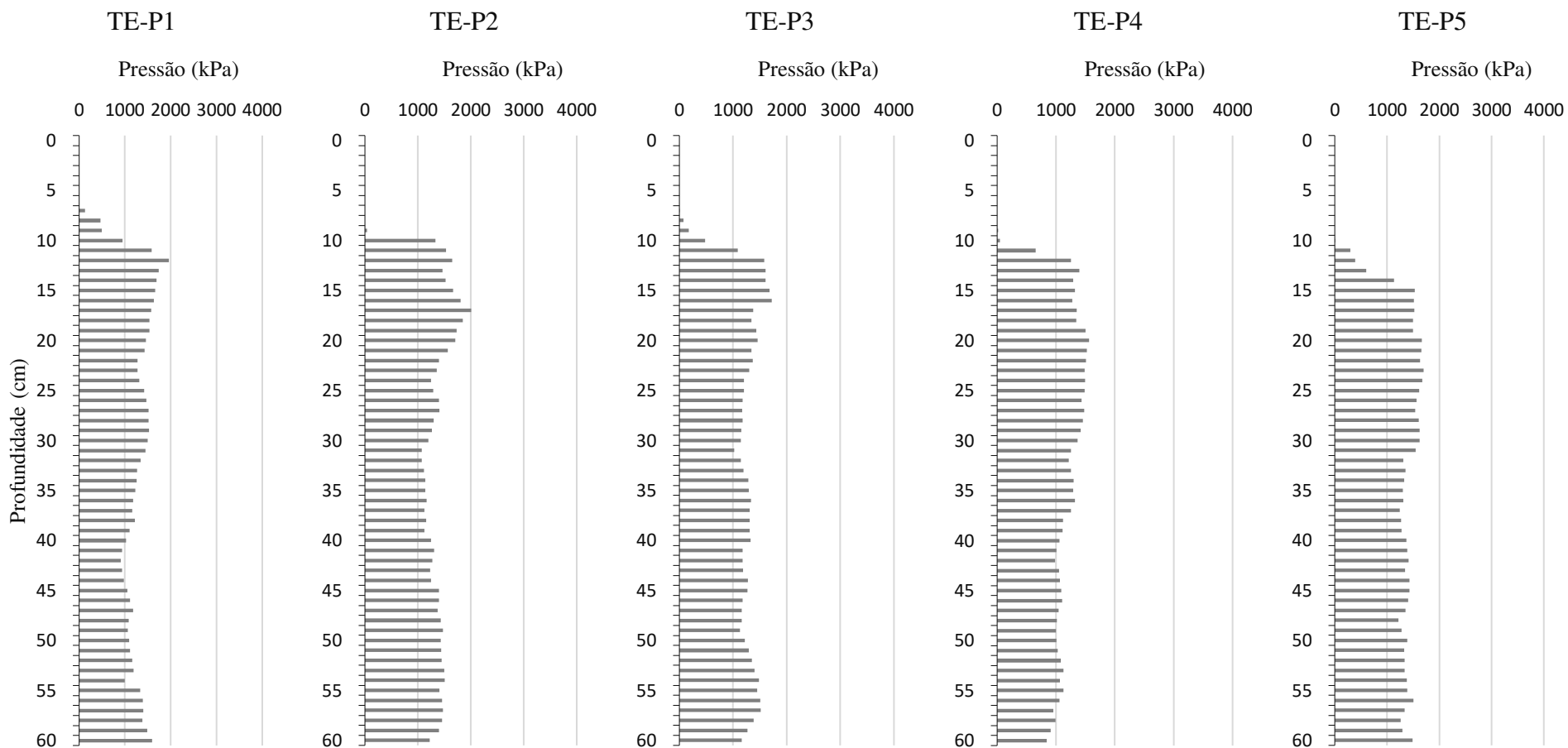
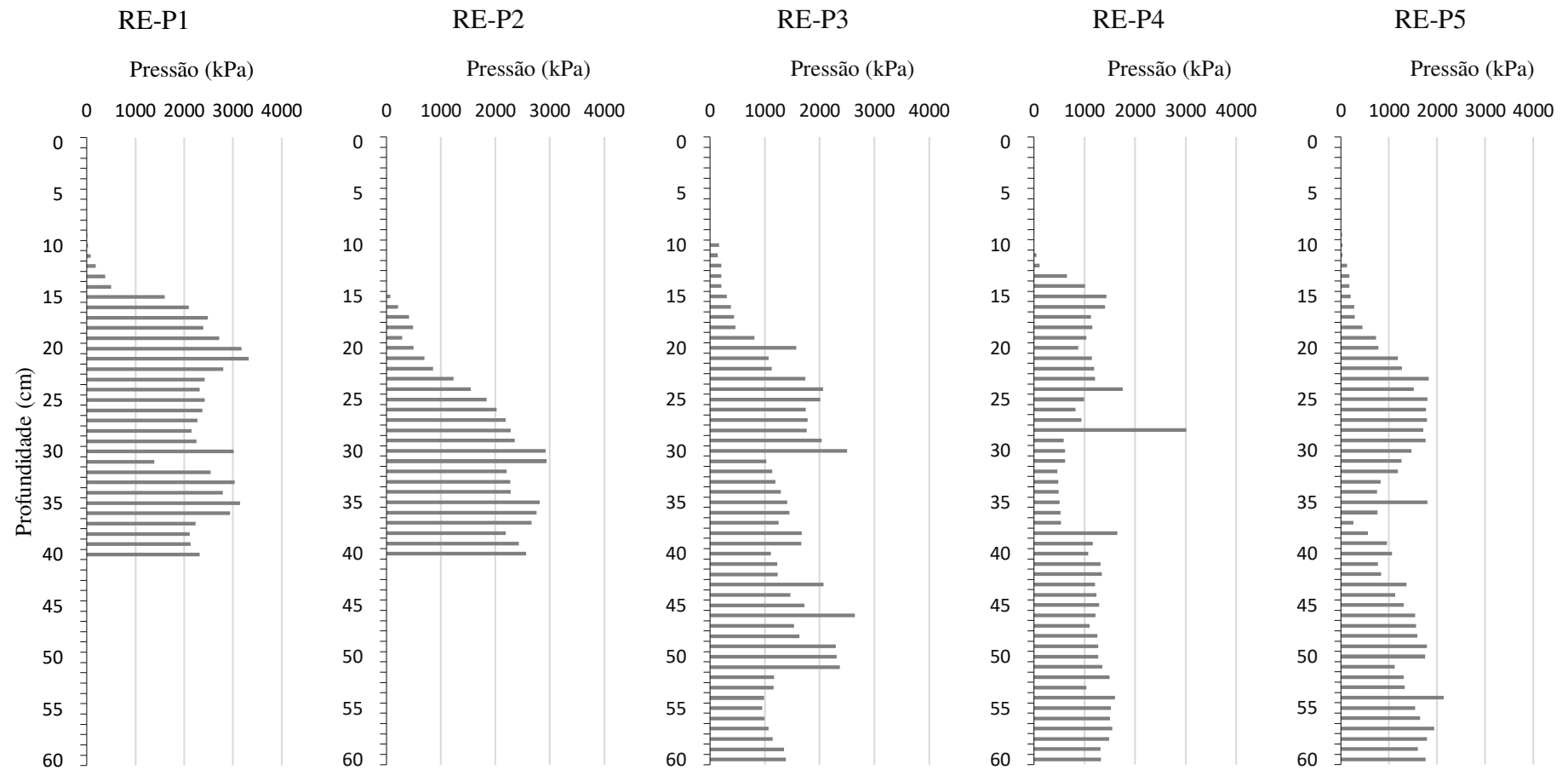


Figura 20 - Resistência mecânica do solo a penetração (kPa) em profundidade (cm) para a área reabilitada 0610, sendo repetições P1, P2, P3, P4 e P5, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2022.



Em P1 e P2, em decorrência da dificuldade na introdução da haste no solo foi considerado a profundidade máxima de 40 cm na leitura do aparelho, em P3, P4 e P5, 60 cm.

Figura 21 - Resistência mecânica do solo a penetração (kPa) em profundidade (cm) para a área testemunha a área 0610, sendo: P1, P2, P3, P4 e P5 repetições, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2022.

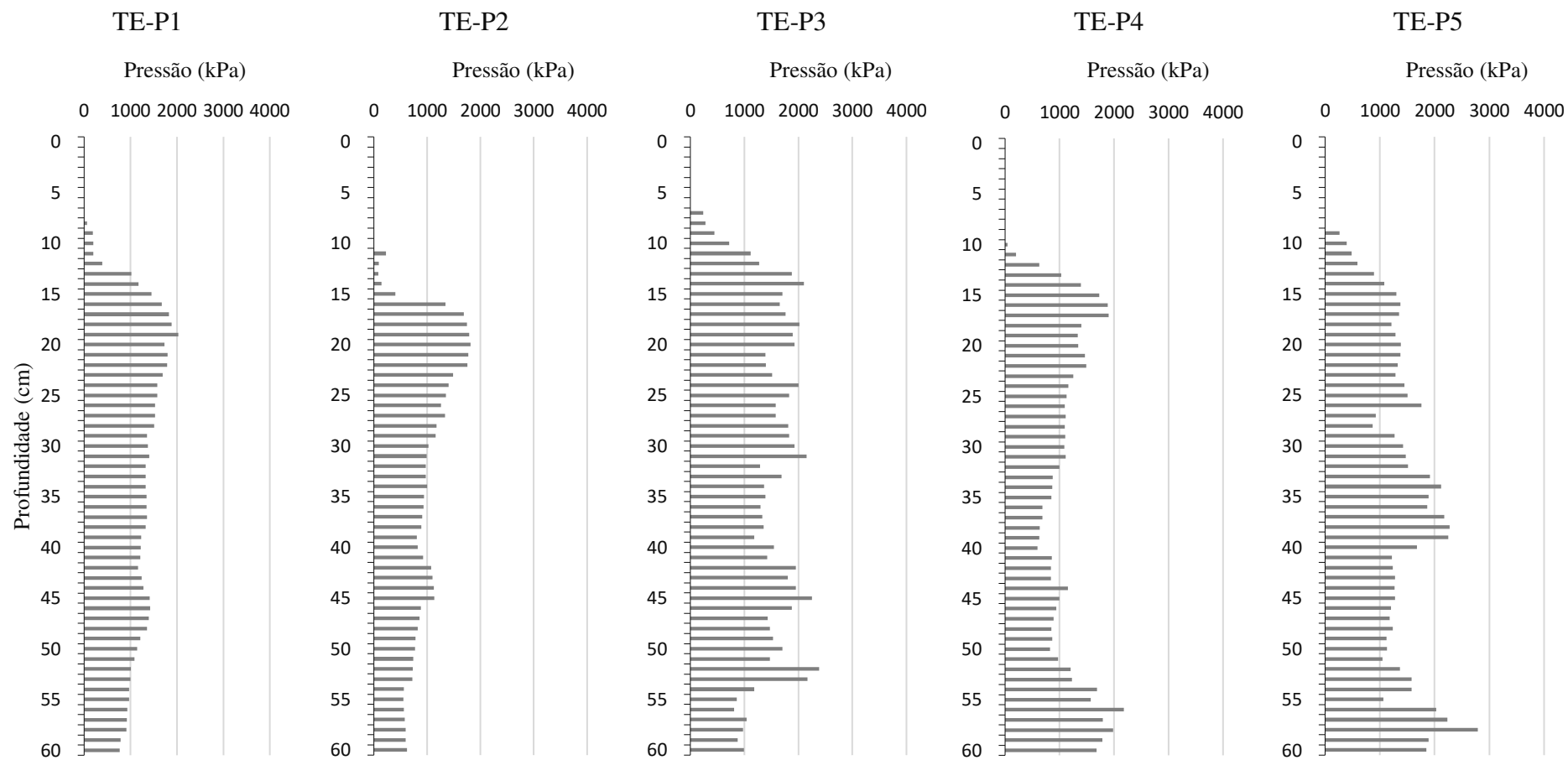


Figura 22 - Resistência mecânica do solo a penetração (kPa) em profundidade (cm) para a área reabilitada 0630, sendo: P1, P2, P3, P4 e P5 repetições, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2022.

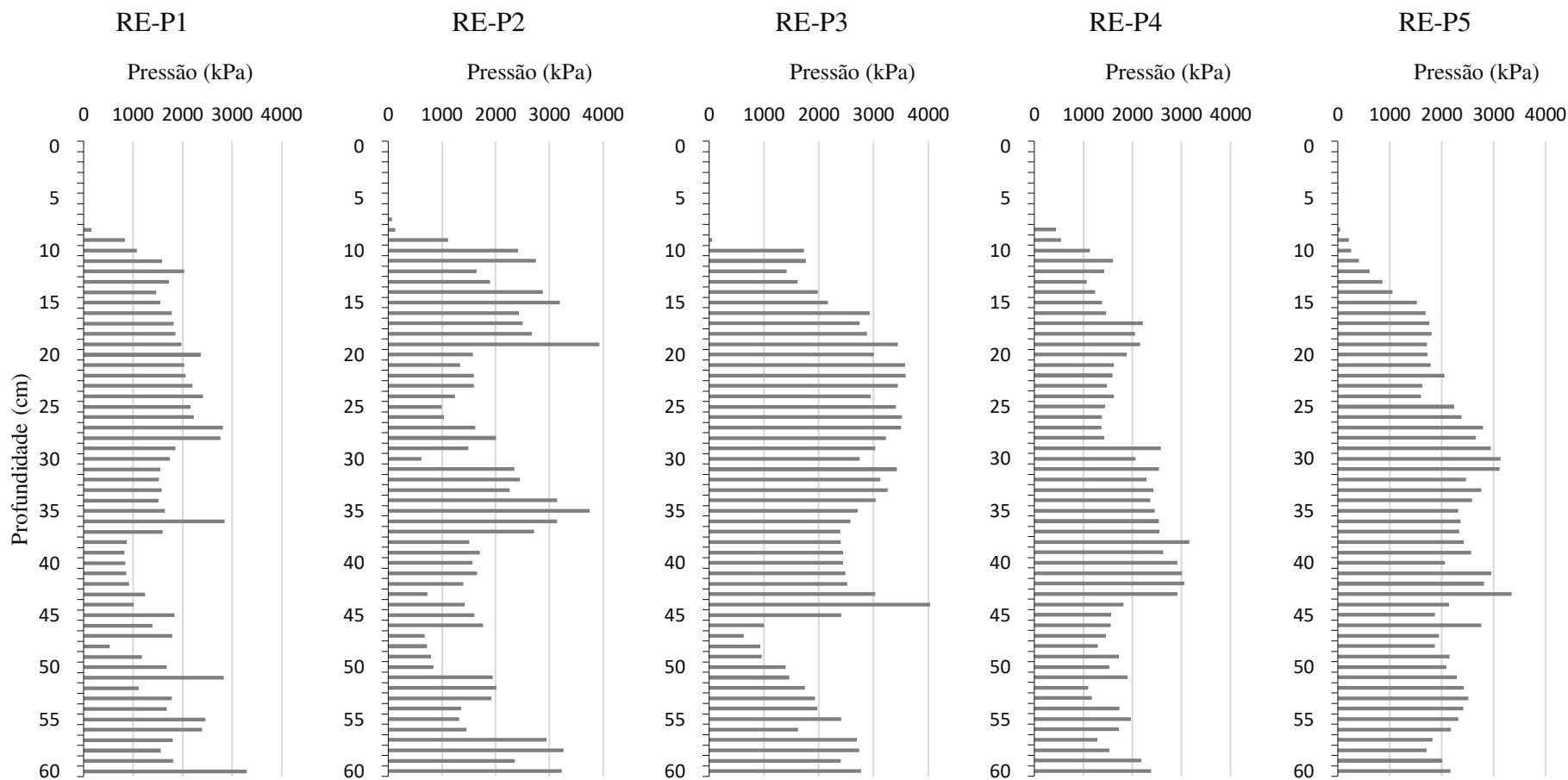
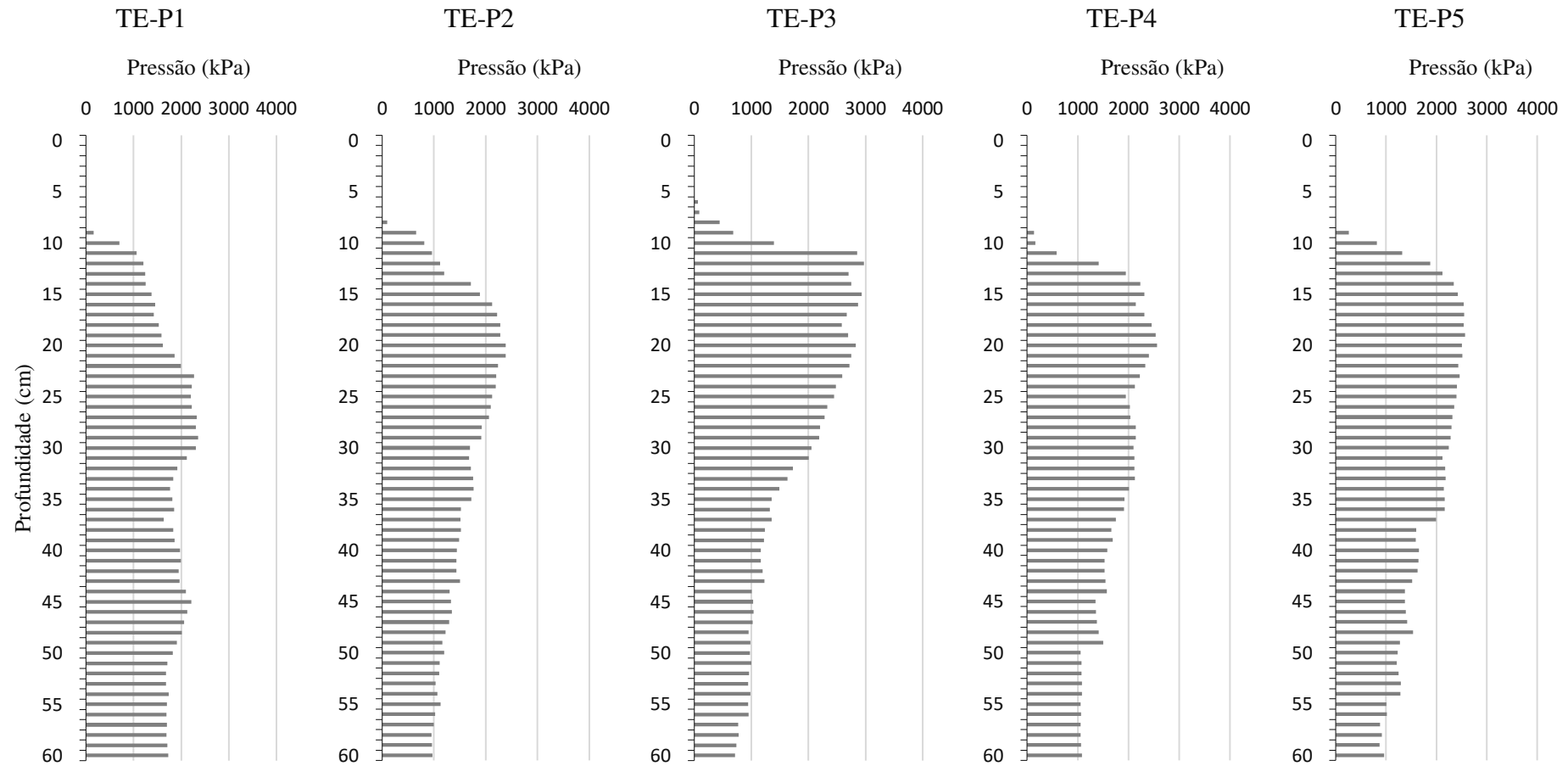


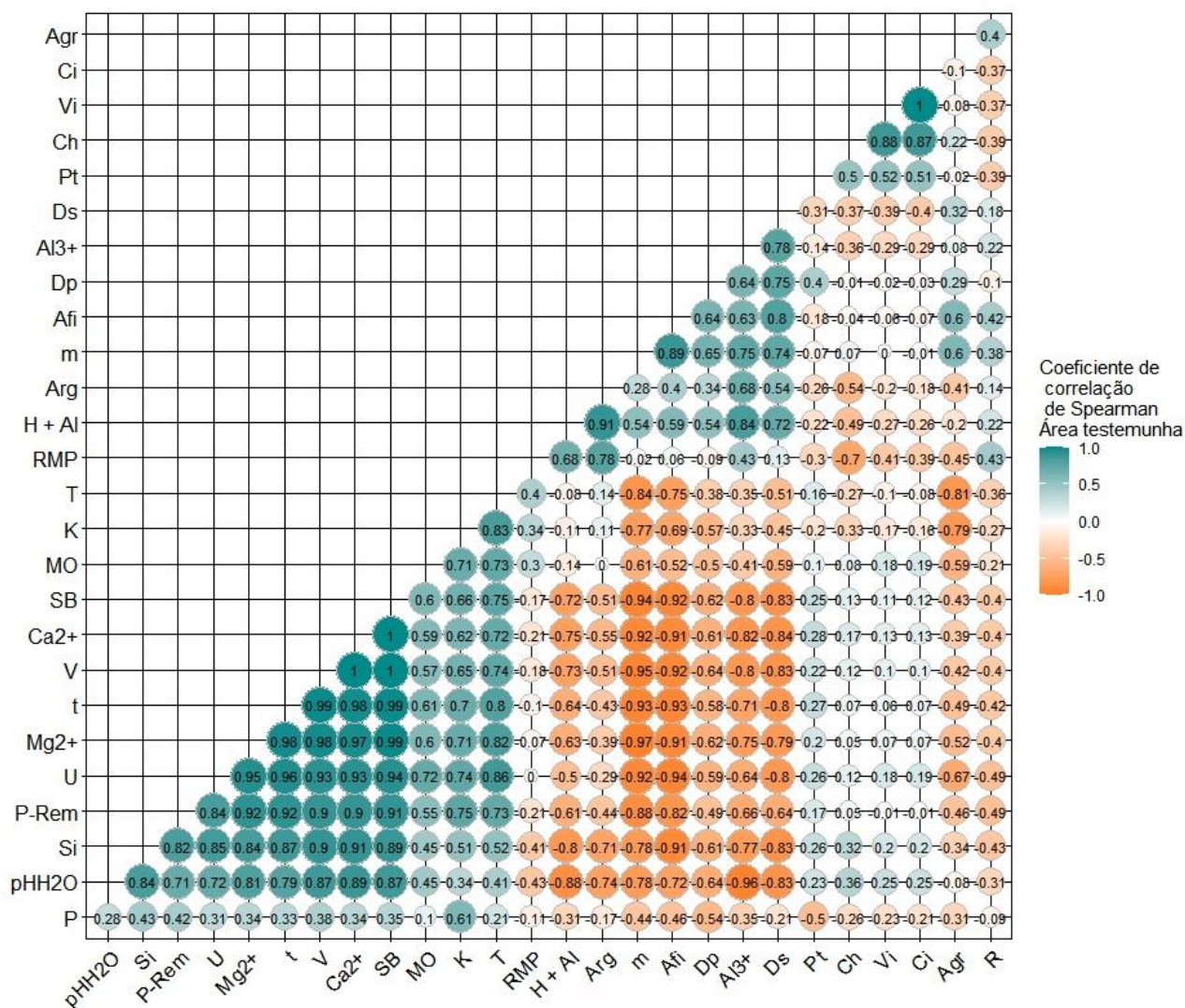
Figura 23 - Resistência mecânica do solo a penetração (kPa) em profundidade (cm) para a área testemunha 0630, sendo: P1, P2, P3, P4 e P5 repetições, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2022.



5.4. Coeficiente de correlação e análise de componentes principais (PCA)

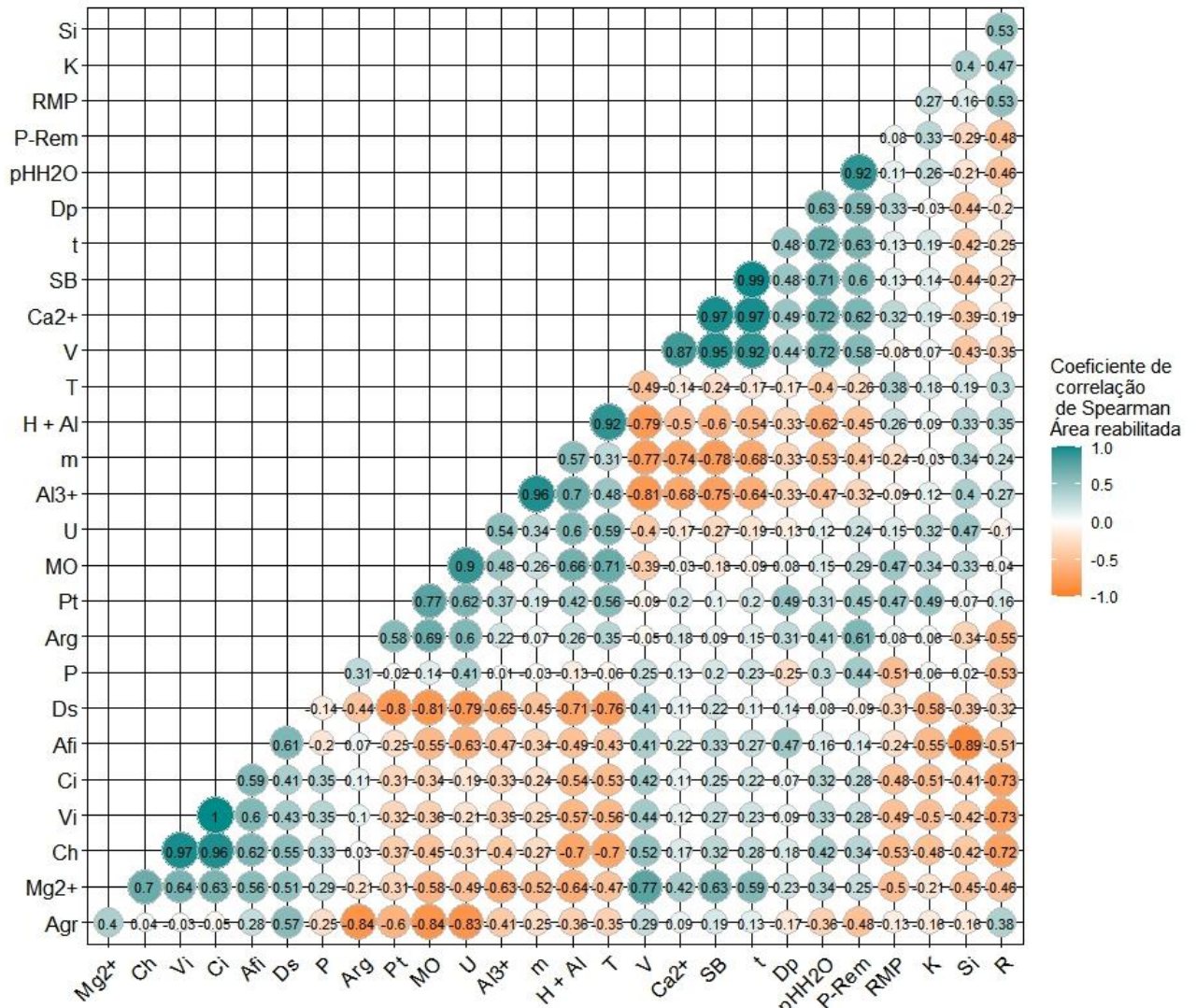
Na Figura 24 contém o coeficiente de correlação de Spearman para as associações das diversas variáveis estudadas na área testemunha e na Figura 25 para a área reabilitada. A correlação de Spearman indica a intensidade e a direção das associações monotômicas entre as variáveis, quando uma variável aumenta, a outra também aumenta ou diminui consistentemente, sem mudanças de direção (SOUSA, 2019). Essa associação pode ser positiva, quando o aumento de uma variável está associado ao aumento da outra variável, ou negativa, quando o aumento de uma variável está associado à diminuição da outra variável. O valor do coeficiente de correlação de Spearman pode variar de -1 a 1, e uma correlação de 0 indica ausência de associação monotônica entre as variáveis (ALVES, 2018).

Figura 24 - Plotagem das correlações não-paramétricas de Spearman entre 27 variáveis para área testemunha, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2022.



pH em água (pH₂O), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), alumínio (Al³⁺), H + Al, soma de bases trocáveis (SB), capacidade de troca catiônica efetiva (t), capacidade de troca catiônica (T), índice de saturação por bases (V), índice de saturação por alumínio (m), matéria orgânica (MO), fósforo remanescente (P-rem), teor de areia grossa (Agr), teor de areia fina (Afi), teor de silte (Si), teor de argila (Ar), densidade de partículas (Dp), densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), condutividade hidráulica (Ch), capacidade de infiltração (Ci), umidade (U), resistência mecânica do solo a penetração (RMP). Quanto maior o diâmetro dos círculos assim como a intensidade de cores, maior é a correlação entre as variáveis.

Figura 25 - Plotagem das correlações não-paramétricas de Spearman entre 27 variáveis para área reabilitada, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2022.



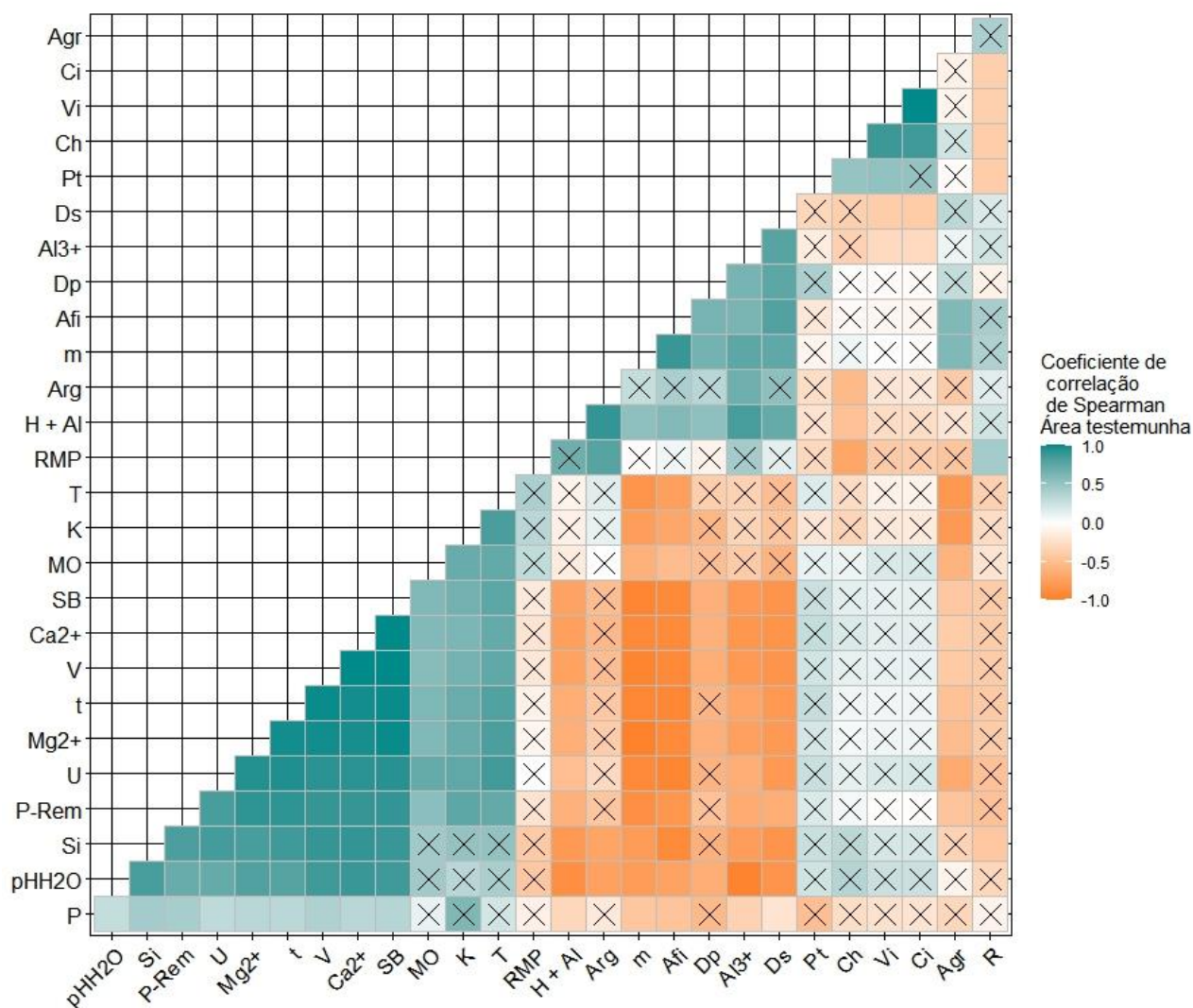
pH em água (pH₂O), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), alumínio (Al³⁺), H + Al, soma de bases trocáveis (SB), capacidade de troca catiônica efetiva (t), capacidade de troca catiônica (T), índice de saturação por bases (V), índice de saturação por alumínio (m), matéria orgânica (MO), fósforo remanescente (P-rem), teor de areia grossa (Agr), teor de areia fina (Afi), teor de silte (Si), teor de argila (Ar), densidade de partículas (Dp), densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), condutividade hidráulica (Ch), capacidade de infiltração (Ci), umidade (U), resistência mecânica do solo a penetração (RMP). Quanto maior o diâmetro dos círculos assim como a intensidade de cores, maior é a correlação entre as variáveis.

Na área testemunha, entre as variáveis matéria orgânica e repelência (MO e R), o coeficiente de correlação foi de -0,21, esse valor indica uma baixa correlação negativa entre as variáveis.

Como de esperado ocorreu uma correlação negativa entre a velocidade de infiltração e capacidade de infiltração com a repelência (Ci, Vi e R), -0,37, quando o valor de uma variável aumenta a outra diminui. Já na área reabilitada o coeficiente entre MO e R foi de 0,04. Já entre Vi, Ci e R, a correlação foi de -0,73.

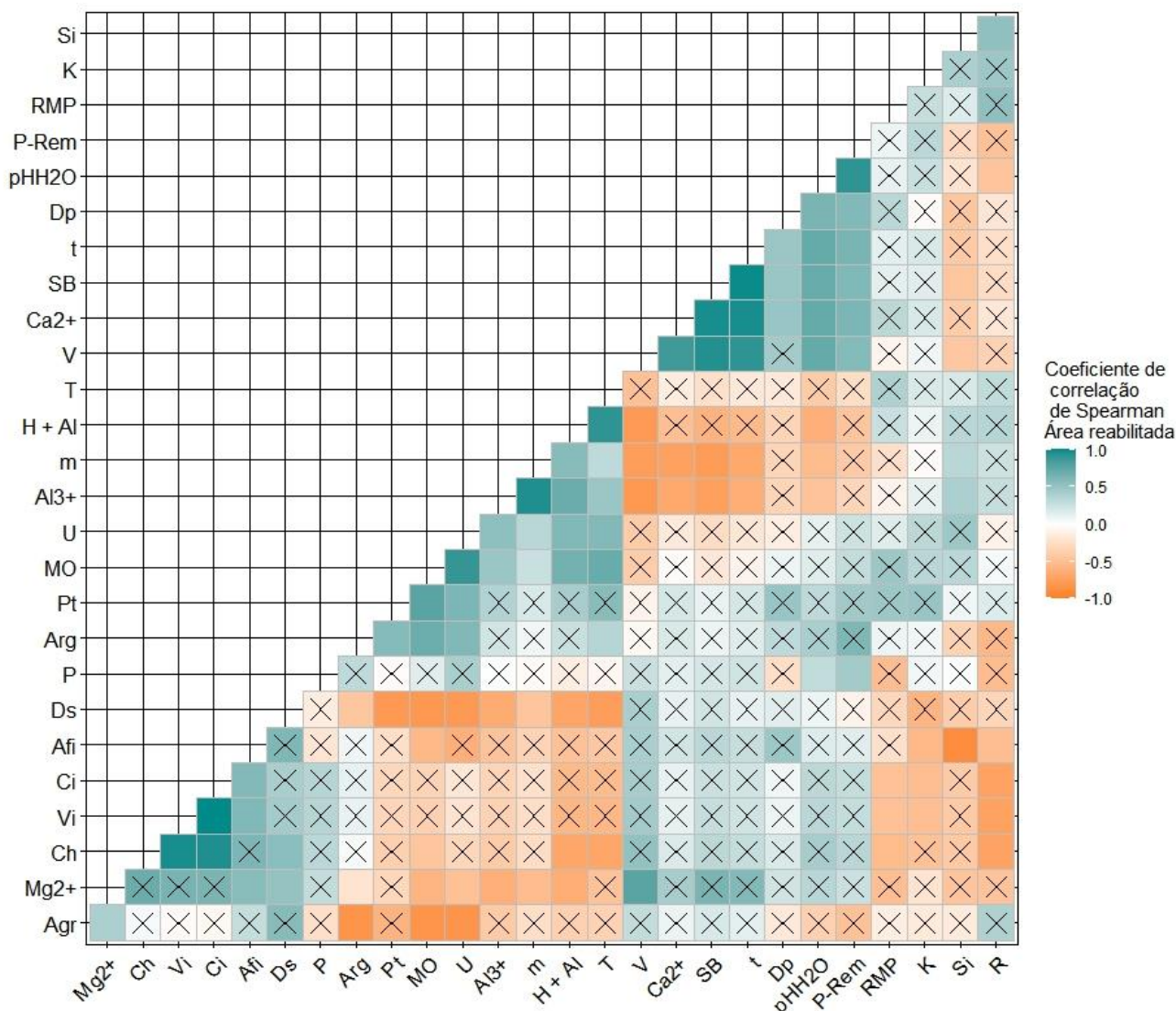
Na Figura 26, para a área testemunha e Figura 27 para área reabilitada, as correlações que não foram significativas ($p > 0,05$) estão assinaladas com X.

Figura 26 - Plotagem das correlações não-paramétricas de Spearman significativas entre 27 variáveis para área testemunha, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2022.



pH em água (pHH₂O), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), alumínio (Al³⁺), H + Al, soma de bases trocáveis (SB), capacidade de troca catiônica efetiva (t), capacidade de troca catiônica (T), índice de saturação por bases (V), índice de saturação por alumínio (m), matéria orgânica (MO), fósforo remanescente (P-rem), teor de areia grossa (Agr), teor de areia fina (Afi), teor de silte (Si), teor de argila (Ar), densidade de partículas (Dp), densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), condutividade hidráulica (Ch), capacidade de infiltração (Ci), umidade (U), resistência mecânica do solo a penetração (RMP).

Figura 27 - Plotagem das correlações não-paramétricas de Spearman significativas entre 27 variáveis para área reabilitada, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2022.



pH em água (pH₂O), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), alumínio (Al³⁺), H + Al, soma de bases trocáveis (SB), capacidade de troca catiônica efetiva (t), capacidade de troca catiônica (T), índice de saturação por bases (V), índice de saturação por alumínio (m), matéria orgânica (MO), fósforo remanescente (P-rem), teor de areia grossa (Agr), teor de areia fina (Afi), teor de silte (Si), teor de argila (Ar), densidade de partículas (Dp), densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), condutividade hidráulica (Ch), capacidade de infiltração (Ci), umidade (U), resistência mecânica do solo a penetração (RMP).

Tanto na área reabilitada e testemunha, a repelência (R) possuiu uma associação com as variáveis hidrológicas (Vi, Ci, Ch), como de esperado ocorreu uma correlação negativa, quando o valor de uma variável aumenta a outra diminui. Para a área reabilitada a correlação entre R e Vi, Ci foi de -0,73 e Ch foi de -0,72, uma correlação forte. Já em área testemunha o valor de correlação entre R e Vi, Ci e Ch foi de -0,37, -0,37 e -0,39 respectivamente. Em área reabilitada essa associação foi superior.

Na área reabilitada, entre as variáveis matéria orgânica e repelência (MO e R), o coeficiente de correlação foi de 0,04, esse valor indica uma baixa correlação entre as variáveis. Já na área testemunha o coeficiente de correlação entre MO e R foi de -0,21, não houve significância estatística em ambas as áreas.

As variáveis que mais se correlacionaram a repelência (R) na área testemunha e que foram significativos foram as variáveis hidrológicas, resistência mecânica do solo a penetração (RMP, 0,43), porosidade total (Pt, -0,39) e silte (Si, -0,43). Já as variáveis que mais se correlacionaram a repelência (R) na área reabilitada e que foram significativos foram as variáveis hidrológicas, areia fina (Afi, -0,51), pH₂O (-0,46) e silte (Si, 0,53).

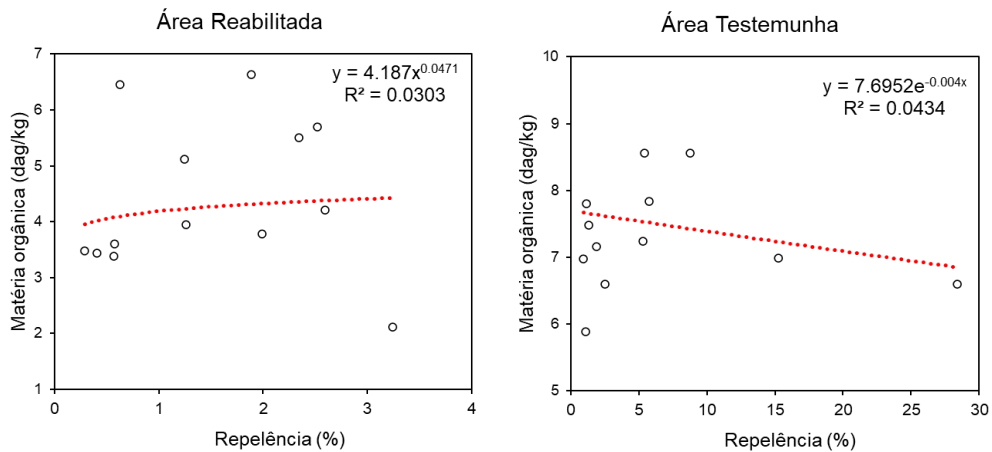
As variáveis que correlacionaram significativamente a velocidade de infiltração (Vi) na área testemunha foram Al³⁺ (-0,29), densidade do solo (Ds, -0,39), porosidade total (Pt, 0,52). Para capacidade de infiltração (Ci) as variáveis foram Al³⁺ (-0,29), densidade do solo (Ds, -0,4). Na área reabilitada, para velocidade de infiltração (Vi) foram: Área fina (Afi, 0,6), resistência mecânica do solo a penetração (RMP, -0,49) e K (-0,5). Para capacidade de infiltração foram: Areia fina (Afi, 0,59), resistência mecânica do solo a penetração (RMP, -0,48), K (-0,51) e repelência (R, -0,73).

Diversas variáveis influenciam na repelência e nos processos hidrológicos. A compactação do solo altera as propriedades do solo como a densidade e porosidade total, influenciando a infiltração de água (FERNANDES et al., 2022). O aumento na proporção de silte no solo reduz a infiltração já que dificilmente formará agregados, sendo responsável por entupimento dos poros quando deslocado para camadas inferiores (BRANDÃO et al., 2012). Segundo os autores supracitados, solos com textura grossa possuem maior quantidade de macroporos, aumentando a condutividade hidráulica e a infiltração de água no solo. No trabalho de Zavala et al., (2014) em ambientes de florestas, também foi encontrado uma correlação significativa entre a hidrofobicidade e os teores de areia, argila e densidade do solo. Porém Doerr et al. (2000), deixam claro que apesar de solos com texturas mais grossas apresentarem maior probabilidade de serem hidrofóbicos, solos com texturas mais finas, argilosos, podem apresentar repelência significativa. O pH pode ser um condicionante ao desenvolvimento de repelência da água no solo (ZAVALA et al., 2014). Os autores supracitados encontraram, em seu trabalho, uma correlação significativa para o pH e repelência que aumentou com a acidez do solo; no entanto, em outros trabalhos, essa correlação não foi observada (SCHNABEL et al., 2013).

O coeficiente de determinação entre a matéria orgânica e repelência foi muito pequeno, $R^2 = 0,0303$ em área reabilitada e $R^2 = 0,0434$ para área testemunha, o modelo conseguiu explicar apenas 3% e 4% dos valores observados respectivamente (Figura 28). A quantidade de matéria orgânica não é fator determinante da repelência do solo a água (VOGELMANN, et al., 2015). Porém ficou claro que há uma certa associação (-0,21) da matéria orgânica em área testemunha e 0,04 para área reabilitada em relação a repelência. Muitos trabalhos afirmam que entre a repelência e a matéria orgânica não há associação, já em outros essa associação fica evidente como no trabalho de Vogelmann et al., (2017), na qual duas classes de solos estudadas apresentaram altos teores de matéria orgânica assim como significativa repelência, já em outras duas classes de solos que continham pouco teor de matéria orgânica apresentaram baixa repelência. No trabalho Hermansen et al., (2019), eles obtiveram uma alta correlação entre a repelência e o conteúdo de carbono orgânico do solo.

O que foi possível observar, não ocorreu associação significativa com a quantidade de matéria orgânica, mas pode haver com a composição da matéria orgânica (JARAMILLO, 2006). Neste trabalho, não foi possível realizar análises da composição da matéria orgânica devido à falta de recursos financeiros. Será necessário considerar a realização dessas análises em futuros estudos, quando houver disponibilidade de recursos para tal. A composição da matéria orgânica é importante para uma compreensão abrangente da qualidade do solo e seus efeitos sobre a fertilidade e a sustentabilidade do ambiente. A matéria orgânica possui papel fundamental na agregação do solo (MATTOS et al., 2022), sendo que a ação cimentante na presença de compostos hidrofóbicos que se juntam aos agregados, favorecem a repelência diminuindo o poder de molhabilidade do solo (MORAIS, 2017). Quando não possuem esses compostos hidrofóbicos associados, a matéria orgânica proporciona o aumento na capacidade de retenção de água no solo (SILVA et al., 2002).

Figura 28 - Coeficiente de determinação entre as variáveis matéria orgânica e repelência para a área reabilitada e testemunha, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2022.



As associações entre a velocidade e capacidade de infiltração deram valores altos e significativos. Na Figura 29 pode ser observado os valores do coeficiente de determinação entre essas variáveis V_i e C_i com R . Na área reabilitada o coeficiente de determinação para C_i e V_i foram melhores (64% e 63% respectivamente) em comparação a área testemunha (32%). Na área testemunha foram plotados dois gráficos, o primeiro leva em consideração todos os pontos observados das áreas 0610TE, 0123TE e 0630TE, tendo assim um valor de R^2 baixo. No segundo gráfico foi retirado os dados de 0610TE, já que essa área apresenta uma vegetação diferente das demais (capim gordura). Foi observado que o capim gordura influenciou de forma diferente na repelência em relação a braquiária. A retirada elevou o coeficiente de determinação (Figura 30). Os resultados mostraram que o coeficiente de determinação da área reabilitada foi maior do que o da área testemunha indicando uma relação mais forte entre a repelência e a velocidade de infiltração na área reabilitada. Isso sugere que a repelência teve uma influência mais significativa na variação da velocidade de infiltração na área reabilitada em comparação com a área testemunha.

Figura 29 - Coeficiente de determinação entre as variáveis velocidade e capacidade de infiltração e repelência para a área reabilitada e testemunha, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2022.

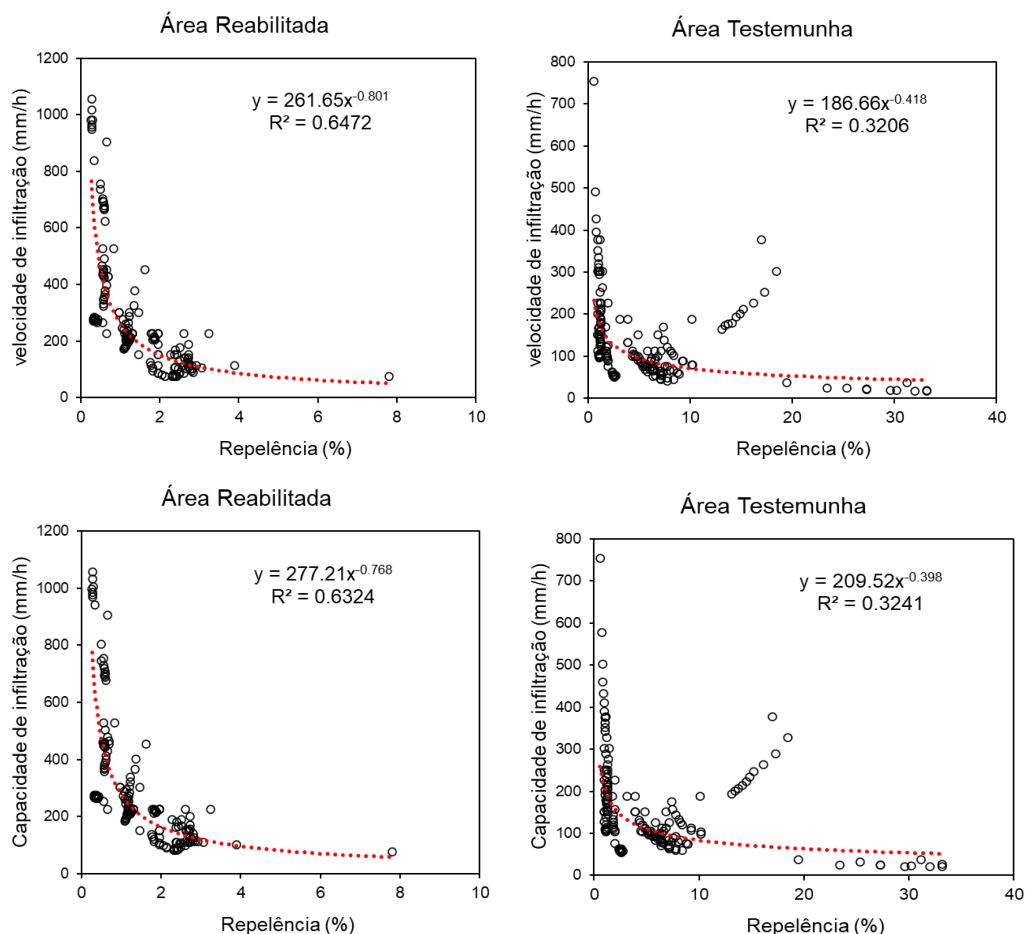
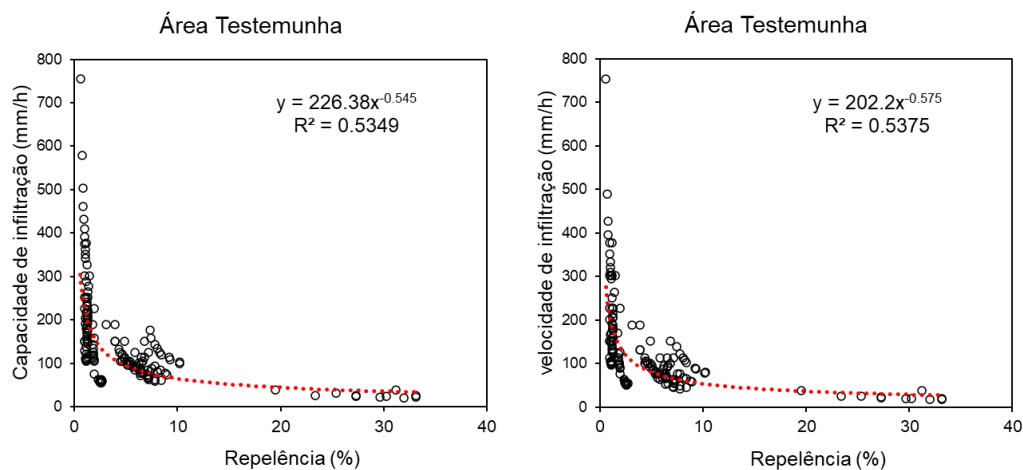
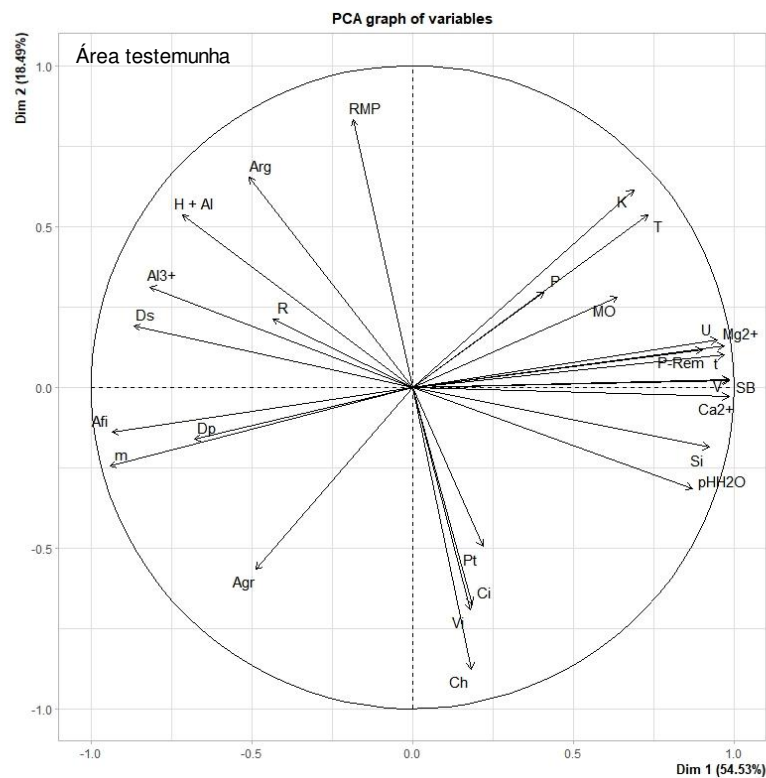


Figura 30 - Coeficiente de determinação entre as variáveis capacidade e velocidade de Infiltração e repelência para a área testemunha, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2022.



A análise de componentes principais - PCA dos fatores que se correlacionaram na área testemunha explicou 73,02% da variabilidade total nas duas primeiras dimensões, sendo que a dimensão 1 explicou 54,53%, Figura 31.

Figura 31 - Análise de componentes principais para as variáveis estudadas em área testemunha, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2022.

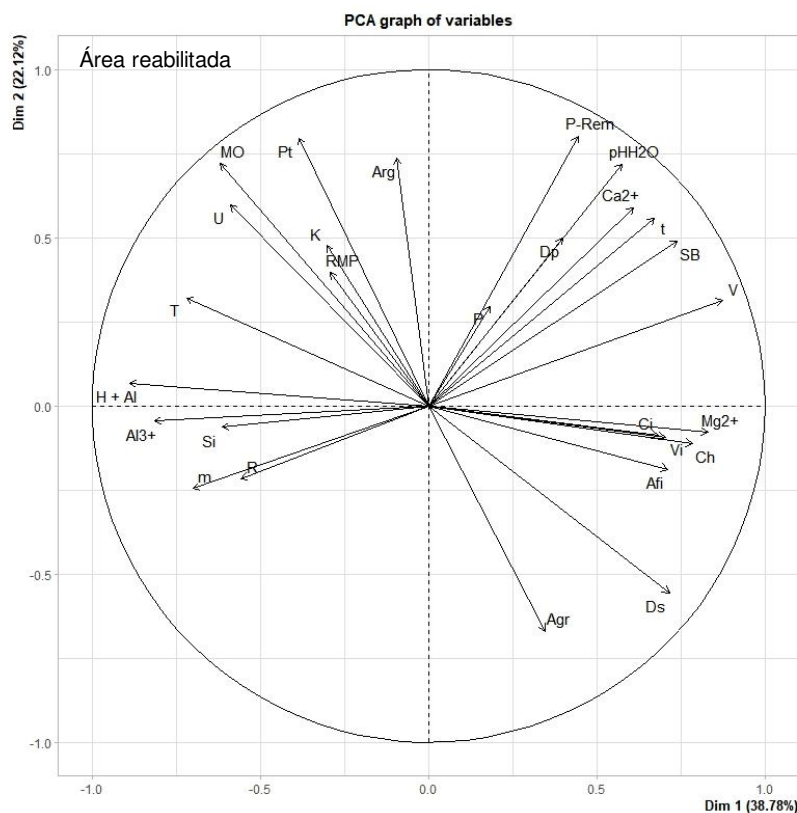


*pH em água (pH₂O), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), alumínio (Al³⁺), H + Al, soma de bases trocáveis (SB), capacidade de troca catiônica efetiva (t), capacidade de troca catiônica (T), índice de saturação por bases (V), índice de saturação por alumínio (m), matéria orgânica (MO), fósforo remanescente (P-rem), teor de areia grossa (Agr), teor de areia fina (Afi), teor de silte (Si), teor de argila (Ar), densidade de partículas (Dp), densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), condutividade hidráulica (Ch), capacidade de infiltração (Ci), umidade (U), resistência mecânica do solo a penetração (RMP).

As variáveis SB, V, Ca²⁺, Mg²⁺, t, U, Si, P-Rem, pHH₂O, T, K, MO se correlacionaram entre si positivamente e significativamente, já as variáveis DP, H+Al, Al³⁺, Ds, Afi e m se correlacionaram entre si e negativamente as outras variáveis positivas, ambas explicadas na dimensão 1. Na dimensão 2, as variáveis RMP, Arg, K, T e H+AL, se correlacionaram entre si positivamente e significativamente, já as variáveis Agr, Ci, Vi, Ch se correlacionaram entre si e negativamente as outras variáveis positivas. As demais variáveis foram explicadas em outras dimensões como a R, Pt e P.

Já a análise de componentes principais dos fatores que se associaram na área reabilitada explicou 60,9% da variabilidade total nas duas primeiras dimensões, sendo que a dimensão 1 explicou 38,78%, Figura 32.

Figura 32 - Análise de componentes principais para as variáveis estudadas em área reabilitada, no município de São Sebastião da Vargem Alegre, Minas Gerais, em 2022.



pH em água (pH₂O), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), alumínio (Al³⁺), H + Al, soma de bases trocáveis (SB), capacidade de troca catiônica efetiva (t), capacidade de troca catiônica (T), índice de saturação por bases (V), índice de saturação por alumínio (m), matéria orgânica (MO), fósforo remanescente (P-rem), teor de areia grossa (Agr), teor de areia fina (Afi), teor de silte (Si), teor de argila (Ar), densidade de partículas (Dp), densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), condutividade hidráulica (Ch), capacidade de infiltração (Ci), umidade (U), resistência mecânica do solo a penetração (RMP).

As variáveis V, Mg²⁺, Ch, SB, Ds, Afi, Vi, Ci, t, Ca²⁺, pHH₂O, se correlacionaram entre si positivamente e significativamente, já as variáveis R, U, Si, MO, m, T, Al³⁺, H+Al se correlacionaram entre si e negativamente as outras variáveis positivas, ambas explicadas na dimensão 1. Na dimensão 2, as variáveis P-Rem, Pt, Arg, MO, pHH₂O, U, Ca²⁺, t, se correlacionaram entre si positivamente e significativamente, já as variáveis Ds, Agr se correlacionaram entre si e negativamente as outras variáveis positivas. As demais variáveis foram explicadas em outras dimensões.

6. CONCLUSÃO

A área reabilitada pela Companhia Brasileira de Alumínio (CBA) demonstrou condições hidrológicas superiores, refletidas em maiores taxas de velocidade de infiltração, capacidade de infiltração e condutividade hidráulica. Isso evidencia o sucesso das práticas de reabilitação adotadas, as quais estão contribuindo positivamente para a melhoria da infiltração de água e a redução da repelência do solo. Esses resultados podem servir como um modelo exemplar e uma fonte de inspiração para a aplicação de técnicas similares em outras áreas sujeitas a intervenções, ilustrando como estratégias de reabilitação bem planejadas têm o potencial não apenas de recuperar a qualidade do solo, mas também de aprimorar sua capacidade de lidar com questões hidrológicas.

Na área testemunha, foi observada uma taxa de repelência mais elevada em comparação com a área reabilitada. A repelência do solo é um atributo dinâmico que pode ter múltiplas origens. A homogeneização da área contribuiu para a redução da taxa de repelência na área reabilitada.

A correlação de Spearman confirmou a relação inversa entre as variáveis hidrológicas e a repelência, ou seja, quando uma aumenta, a outra diminui, e vice-versa. Sugerem-se novos estudos para investigar a influência do capim gordura na repelência do solo.

Foi observada uma diminuição na quantidade de matéria orgânica na área reabilitada. Embora essa redução possa ter contribuído para a diminuição na repelência do solo, não foi confirmada estatisticamente. A análise de solo revelou baixas concentrações de soma de bases cerca de dois anos após a reabilitação, indicando a necessidade de um maior aporte de matéria orgânica na área reabilitada, bem como a possível aplicação de calagem. É fundamental estabelecer um monitoramento contínuo da fertilidade do solo para garantir sua adequada recuperação e sustentabilidade a longo prazo.

A área testemunha apresentou camadas mais densas, em média, a uma profundidade de 26 cm, enquanto na área reabilitada, essa camada ocorreu em média a 42 cm de profundidade. Apesar da maior compactação na área reabilitada, não se observou influência na capacidade e velocidade de infiltração. No entanto, recomenda-se uma avaliação detalhada da disposição e quantidade de material grosseiro na área reabilitada, caso seja necessário otimizar ainda mais o processo de recuperação.

Dado o potencial hídrico observado na área reabilitada, é altamente recomendável monitorar o nível de água subterrânea por meio da instalação de poços de monitoramento do lençol freático. Isso contribuirá para determinar se a compactação na área reabilitada, com camadas mais densas a 42 cm de profundidade, está afetando o movimento da água em direção à zona de saturação ou se há alguma camada de impedimento que está facilitando o escoamento subsuperficial e impedindo a recarga do lençol. Essas informações são essenciais para uma compreensão mais completa do comportamento hidrológico da área reabilitada e para o desenvolvimento de estratégias de manejo adequadas.

Considerando que a área foi reabilitada recentemente e não há presença de animais, é fundamental realizar um acompanhamento dos dados de infiltração e repelência após a introdução dos animais na área. Isso permitirá verificar o comportamento do solo em curto, médio e longo prazo na presença dos animais, bem como propor soluções caso ocorram mudanças significativas no solo devido à sua presença. Esse monitoramento contínuo é crucial para garantir a sustentabilidade e a eficácia das práticas de reabilitação a longo prazo.

7. REFERÊNCIAS

ABAL - **Bauxita no Brasil: Mineração Responsável e Competitividade**, p.12, 2017.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 6457:2016**. Amostras de solo. Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ALAGNA, V. et al. Alternative analysis of transient infiltration experiment to estimate soil water repellency. **Hydrological Processes**, v. 33, n. 4, p. 661-674, 2019.

ALBA, J. M. F. (Ed.). Recuperação de áreas mineradas. **Embrapa Informação Tecnológica**, 1 ed., p. 330, Brasília, DF, 2010.

ALBUQUERQUE, A. W.; NETO, F. L.; SRINIVASAN, V.S.; SANTOS, J. R. Manejo da cobertura do solo e de práticas conservacionistas nas perdas de solo e água em Sumé, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, p. 136-141, 2002.

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; DE MORAES, G.; LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ALVES, R. B. **Redução da influência de confundidores em modelos de aprendizado de máquina**. 78f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2018.

ALVES, R. B. **Redução da influência de confundidores em modelos de aprendizado de máquina**. 78f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2018.

BALBINOT, R. et al. O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas. **Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 4, n. 1, p. 131-149, 2008.

BARROS, C. A. P. et al. Estimativa da infiltração de água no solo na escala de bacia hidrográfica. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 38, p. 557-564, 2014.

BATISTA, M. A; INOUE, T. T; ESPER NETO, M; MUNIZ, A. S. Princípios de fertilidade do solo, adubação e nutrição mineral. In: BRANDÃO FILHO, J. U. T; FREITAS, P. S. L; BERIAN, L. O. S; GOTO, R. **Hortaliças-fruto** [online]. 1. ed. Maringá, PR: Ed. EDUEM, 2018, p. 113-162.

BERTOL I.; BARBOSA F. T.; BERTOL C.; LUCIANO R. V. Water infiltration in two cultivated soils in southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 2, p. 573-588, 2015.

BORGES, S. R. **Qualidade do solo em áreas em recuperação com forrageiras e cafeeiro pós-mineração de bauxita**. 111f, Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil, 2013.

BRANDÃO, V. S; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F; SILVA, D. D. **Infiltração da água no solo**. 3. ed, 3. reimpr. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2012. 120 p.

BRITO, G. Q. et al. Efeitos da conversão de floresta ripária em pastagem sobre as propriedades físico-hídricas do solo. **Espaço e Geografia**, v. 22, n. 1, p. 73-89, 2019.

BRITO, G. Q.; MURTA, J. R. M.; FILHO, S. F. M.; SALEMI, L. F. Can rainfall seasonality trigger soil water repellency in a tropical riparian forest? **Journal of Forestry Research**, v. 34, n. 3, p. 773-780, 2022.

CALGARO, H. F. et al. Adubação química e orgânica na recuperação da fertilidade de subsolo degradado e na micorrização do *Stryphnodendron polyphyllum*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1337-1347, 2008.

CANTELE, T. D.; LIMA, E. C.; BORGES, L. A. C. Panorama dos recursos hídricos no mundo e no Brasil. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 11, n. 4, p. 1259-1282, 2018.

CHAGAS, A. C. S. **Efeito acaricida de produtos naturais e sintéticos de plantas e solventes sobre Boophilus Microplus (canestrini, 1887) (acari: Ixodidae)**. 54f. Tese (Doutorado em Ciência Animal) Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2001.

CORDEIRO, D. G. et al. Análise do desempenho do modelo de Kostiakov na determinação da velocidade básica de infiltração em Plintossolo Pétrico concrecionário. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 11, n. 1, p. 135-142, 2021.

CORTEZ, J. W. et al. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em um sistema de semeadura direta. **Científica**, v. 47, n. 2, p. 175-182, 2019.

CUGULA, J. S. et al. Análise temporal da recuperação de área de mineração em Paragominas pela técnica de regeneração natural por meio de índices de vegetação. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 6, n. 4, p. 379-395, 2021.

DE ABREU, A. C. B. **Estudo de solos para aplicações em Geotecnia**. 57f. Dissertação (Mestrado em Geologia). Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2020.

DEBANO, L. F. The role of fire and soil heating on water repellency in wildland environments: a review. **Journal of hydrology**, v. 231, p. 195-206, 2000.

DE JESUS, M. C. et al. Permeabilidade ao ar e porosidade de solos na região semiárida. **Revista Engenharia na Agricultura-REVENG**, v. 25, n. 3, p. 230-239, 2017.

DE SOUSA, F. R. C.; DE PAULA, D. P. Análise de perda do solo por erosão na Bacia Hidrográfica do Rio Coreaú (Ceará-Brasil). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 20, n. 3, 2019.

DE OLIVEIRA, Edinete Maria; SOUTO, Jacob Silva. Mesofauna edáfica como indicadora de áreas degradadas. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 6, n. 1, p. 01-09, 2011.

DOERR, S. H. et al. Occurrence, prediction and hydrological effects of water repellency amongst major soil and land use types in a humid temperate climate. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 57, n. 5, p. 741-754, 2006.

DOERR, S. H.; SHAKESBY, R. A.; WALSH, R. P. D. Soil water repellency: it causes, characteristics and hydro-geomorphological significance. **Earth-Science Reviews**, Swansea, v. 51, n. 1, p. 33-65, 2000.

DOERR, S. H; THOMAS, A. D. The role of soil moisture in controlling water repellency: new evidence from forest soils in Portugal, **Journal of Hydrology**, v. 231-232, p. 134-147, 2000.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5.ed. – Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2018. 355p.

FERNANDES, B. B. et al. Efeito do tráfego agrícola na infiltração de água no solo. **Revista IRRIGA (Brazilian Journal of Irrigation & Drainage)**, v. 27, n. 2, 2022.

FREITAS, J. P. O. **Processos hidrológicos em área de mineração de bauxita na Zona da Mata de Minas Gerais**. 69 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2018.

FURQUIM, L. C. et al. Infiltração de água e resistência do solo à penetração em sistemas de cultivos integrados e em área de pastagem degradada. In: **Colloquium Agrariae**. v. 16, n. 5, p. 82-95, 2020.

GARCIA, D. O. **Produção de biomassa de plantas de cobertura e seu efeito sobre a estrutura do solo**. 44f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Agronomia) Universidade Federal da Fronteira Sul, Cerro Largo, Rio Grande do Sul, 2021.

GOEDERT, W. J.; SCHERMACK, M. J.; FREITAS, F. C. Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 2, p. 223-227, 2002.

GRANT, C. D.; WARD, S. C.; MORLEY, S. C. Return of ecosystem function to restored bauxite mines in Western Australia. **Restoration Ecology**, v. 15, p. S94-S103, 2007.

HERMANSEN, C. et al. Organic carbon content controls the severity of water repellency and the critical moisture level across New Zealand pasture soils. **Geoderma**, v. 338, p. 281-290, 2019.

HESTER, J.W., THUROW, T.L., TAYLOR JR., C.A. Hydrologic characteristics of vegetation types as affected by prescribe burning. **Journal Range Management, Denver**, v (50), n (2), p. 199-204, 1997.

HEWELKE, E. et al. Soil functional responses to natural ecosystem restoration of a pine forest peucedano-pinetum after a fire. **Forests**, v. 11, n. 3, p. 286, 2020.

HEWELKE, E. et al. Influence of soil moisture on hydrophobicity and water sorptivity of sandy soil no longer under agricultural use. **Catena**, v. 208, p. 105780, 2022.

IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração. 2020. **Informações Sobre a Economia Brasileira 2020**. Disponível em: <<<http://portaldaminerao.com.br/wp-content/uploads/2021/03/Economia-Mineral-Brasileira-IBRAM-2020.pdf>>> Acesso em: 10 de maio de 2023.

JARAMILLO, J. D. F. Repelencia al agua en suelos: una síntesis. **Revista Acadêmica Colombiana de Ciência, Medellín**, v. 30, n. 115, p. 215-232, 2006.

JIMÉNEZ-MORILLO, N. T. et al. Hydrophobicity of soils affected by fires: An assessment using molecular markers from ultra-high resolution mass spectrometry. **Science of The Total Environment**, v. 817, p. 152957, 2022.

JUNIOR, G. S. L. **Influência de relações cálcio/magnésio em calcários no rendimento de massa seca de culturas em casa-de-vegetação**. 54 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do solo). Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, Santa Catarina, 2018.

KEESSTRA, S. et al. The influence of fire history, plant species and post-fire management on soil water repellency in a Mediterranean catchment: the Mount Carmel range, Israel. **Catena**, v. 149, p. 857-866, 2017.

KIDRON, G. J.; YAALON, D. H.; VONSHAK, A. Two causes for runoff initiation on microbiotic crusts: hydrophobicity and pore clogging. **Soil Science**, v. 164, n. 1, p. 18-27, 1999.

KLEIN, C.; KLEIN, V. A. Influência do manejo do solo na infiltração de água. **Revista Monografias Ambientais**, p. 3915-3925, 2014.

LI, Qiwen et al. Post-fire impacts of vegetation burning on soil properties and water repellency in a pine forest, South Korea. **Forests**, v. 12, n. 6, p. 708, 2021.

LOPES, P. G. N. **Atributos hidrodinâmicos e hidrofobicidade em um Argissolo Vermelho-Amarelo sob mata atlântica secundária, pastagem degradada e leguminosas arbóreas**. 87f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, 2017.

LOZANO-BAEZ, S. E. et al. Assessing water infiltration and soil water repellency in Brazilian Atlantic Forest Soils. **Applied Sciences**, v. 10, n. 6, p. 1950, 2020.

LUCAS-BORJA, M. E. et al. Variability of hydraulic conductivity and water repellency of soils with fire severity in pine forests and reforested areas under Mediterranean conditions. **Ecohydrology**, v. 15, n. 8, p. e2472, 2022.

MACEDO, S. F. S. et al. Physical properties of soil structures identified by the Profil Cultural under two soil management systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, p. e0160503, 2017.

MAIA, C. B. F.; DEDECEK, R.; MALUCELLI, C. S. Identificação de Repelência à Água em Solos sob Plantios Florestais. **Comunicado técnico**, Embrapa. Colombo, PR, 2005.

MAIMON, A.; GROSS, A; ARYE, G. Greywater-induced soil hydrophobicity. **Chemosphere**, v. 184, p. 1012-1019, 2017.

MAO, J. et al. Understanding the mechanisms of soil water repellency from nanoscale to ecosystem scale: a review. **Journal of Soils and Sediments**, v. 19, p. 171-185, 2019.

MARTINEZ, H. E. P; LUCENA, J. J; MANGAS, I. B. (ed.). **Relações solo-planta: Bases para a nutrição e produção vegetal**. 1. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2021. 307 p.

MATTOS, B. S.; BERTOLINO, A. V. F. A.; BERTOLINO, L. C. A influência do fogo nas propriedades de um solo sob manejo de agricultura de corte e queima em ambiente serrano no bioma de Mata Atlântica. **Sociedade & Natureza**, v. 34, e63656, 2022.

METERGROUP. **Mini Disk – Condutividade Hidráulica Insaturada**, 2023. Disponível em :<< <https://metergroup.com.br/agraria/produtos/minidisk/>>> Acesso em 10/04/2023

MIELNIK, L. et al. Changes in the soil hydrophobicity and structure of humic substances in sandy soil taken out of cultivation. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 319, p. 107554, 2021.

MINOSSO, J.; ANTONELI, V.; DE FREITAS, A. R. Variabilidade sazonal da infiltração de água no solo em diferentes tipos de uso na região sudeste do Paraná. **Geographia Meridionalis**, v. 3, n. 1, p. 86-103, 2017.

MORAIS, F. A. **Gênese e classificação de horizontes subsuperficiais escurecidos em argissolos bruno-acinzentados do extremo sul do Brasil**. 361f. Tese (Doutorado em ciência do Solo). Universidade do Estado de Santa Catarina. Lages, Santa Catarina, 2017.

MOURA, A. S. **Hidrofobicidade em solos arenosos e argilosos sob diferentes usos na região semiárida de Pernambuco**. 55f. Dissertação (Mestrado em Produção Agrícola) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Garanhuns, Pernambuco, 2018.

NAIK, A. P.; PEKKAT, S. Time dependence of hydraulic parameters estimation from transient analysis of mini disc infiltrometer measurements. **European Journal of Soil Science**, v.73, n. 2, e13228, 2022.

OHLAND, T. et al. Influência da densidade do solo no desenvolvimento inicial do pinhão-mansão cultivado em Latossolo Vermelho eutroférico. **Revista Ceres**, v. 61, p. 622-630, 2014.

OLEGO M. Á.; QUIROGA, M. J.; MENDAÑA-CUERVO C.; CARA-JIMÉNEZ J.; LÓPEZ R.; GARZÓN-JIMENO E. Long-Term Effects of Calcium-Based Liming Materials on Soil Fertility Sustainability and Rye Production as Soil Quality Indicators on a Typic Palexerult. **Processes**. V.9, n. 7, e1181, 2021.

OLIVEIRA, Y. P. T. **Efeitos do manejo do solo em bacias hidrográficas: uma revisão de casos na amazônia oriental**. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Pesca). Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, Pará, 2021.

PAULETTI, V. et al. Efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 495-505, 2014.

PAVÃO, L. L. **Caracterização dos atributos Físico-Hídricos do solo da área de Acuri Pantanal Mato-Grossense**. 74f. Dissertação (mestrado em Física Ambiental). Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, Mato Grosso, 2017.

PENETROLOG - **Medidor Eletrônico de compactação do solo**. 2023. Disponível em:<< Falker - penetroLOG - Medidor Eletrônico de Compactação do Solo>>. Acesso em 10 de maio de 2023.

PINTO, N. L. S. et al., **Hidrologia básica**. 18. reimpr. ed. São Paulo, SP: Blucher, 2017. 278 p.

POTT, C. A.; DE MARIA, I. C. Comparação de métodos de campo para determinação da velocidade de infiltração básica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 19-27, 2003.

RIBAS, M. S. **Hidrofobicidade e sua interação com as propriedades hídricas do solo**. 42f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Garanhuns, 2018.

RIOS, L. C. et al. Lixiviação de cálcio, magnésio e potássio em colunas de um Latossolo Amarelo Distrófico textura média, de Luis Eduardo Magalhães-Ba, em resposta as doses de óxido de magnésio combinadas com gesso. In: Manejo e conservação da água no contexto e mudanças ambientais. **XVII REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA**. Rio de Janeiro, v. 10, p. 1-5, 2008.

RYE, C. F.; SMETTEM, K. R. J. Seasonal variation of subsurface flow pathway spread under a water repellent surface layer. **Geoderma**, v. 327, p. 1-12, 2018.

SAMPAIO, J. A., ANDRADE, M. C.; DUTRA, A. J. B. Bauxita. In: **Rochas e Minerais Industriais – Usos e Especificações**. LUZ, A. B.; LINS, F. A. F 1ª ed., CETEM/MCT, p. 279-304. 2005

SARTORI, A.; NETO, F.; GENOVEZ, A. M. Classificação hidrológica de solos brasileiros para a estimativa da chuva excedente com o método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, n. 4, p. 05-18, 2005.

SETIAWAN, O. et al. Infiltration characterization using principal component analysis and K-means cluster analysis on quaternary volcanic landscape at the southern flank of Rinjani Volcano, Lombok Island, Indonesia. **Physical Geography**, v. 41, n. 3, p. 217-237, 2019.

SCHNABEL, S.; PULIDO-FERNÁNDEZ, M.; LAVADO-CONTADOR, J. F. Soil water repellency in rangelands of Extremadura (Spain) and its relationship with land management. **Catena**, v. 103, p. 53-61, 2013.

SHENGA, J. A. H. **Efeito das características hidrológicas do solo e da época de sementeira no rendimento de duas variedades de Milho (Zea mays L.)**. 71f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrônômica). Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2019.

SILVA, E. J. **Subsolagem, calagem e adubação mineral em um Latossolo amarelo coeso de tabuleiro costeiro e Conseqüências em pastagem degradada de Brachiaria decumbens**. 87 f. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Ciências Agrárias) - Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, Bahia, 2010.

SILVA, et al. Vermicompostagem de lodo de esgoto urbano e bagaço de cana-de-açúcar. **Revista brasileira de engenharia agrícola ambiental - Agriambi**, v. 6, n. 3, p. 487-491, 2002.

SILVA-NETO, C. M.; SCHIMIDT, F. (Org.). **Meio ambiente e desenvolvimento sustentável**. 1. ed. Goiânia: Editora IFG, série Cognoscere: Cadernos Temáticos de Pesquisa do IFG, 2021. v. 1. 236p.

SILVEIRA, D. C. et al. Relação umidade versus resistência à penetração para um Argissolo Amarelo distrocoeso no recôncavo da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 34, p. 659-667, 2010.

SILVEIRA, L. J. **Escoamento superficial em áreas de mineração de bauxita, pré e pós lavra, na Zona da Mata Mineira**. 77 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2017.

SIMKOVIC, I., DLAPA P., SCHWARZINGER C. Elucidating the composition of organic matter in water-repellent forest soils using analytical pyrolysis combined with gas

chromatography–mass spectrometry (Py-GC–MS). **Organic Geochemistry**, v. 179, p. 104586, 2023.

SOUSA, A. Coeficiente de correlação de Pearson e coeficiente de correlação de Spearman: o que medem e em que situações devem ser utilizados? **Correio dos Açores**, p. 19-19, 2019.

SPLETOZER, A. G. **Avaliação do escoamento superficial em áreas de mineração de bauxita na Zona da Mata de Minas Gerais, Brasil**. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2018.

SPLETOZER, A. G. Monitoramento e predição do escoamento superficial em minas a céu aberto com foco na extração de bauxita. 108 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2022.

SUMÁRIO MINERAL, 2018. **Alumínio**. Disponível em: << <https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/sumario-mineral/pasta-sumario-brasileiro-mineral-2018/aluminio>>>. Acesso em: 13 de janeiro de 2023.

TANG, B. et al. Variations in soil infiltration capacity after vegetation restoration in the hilly and gully regions of the Loess Plateau, China. **Journal of Soils and Sediments**, v. 19, p. 1456-1466, 2019.

THOMAZ, E. L. Efeito da temperatura na repelência de água no solo: ensaios em laboratório. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 13, n. 3, p. 117-124, 2008.

TILLMAN, R. W. et al. Water repellency and its measurement using intrinsic sorptivity. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 27, n. 4, p. 637-644, 1989.

UDDIN, S. M. M.; HARPER, R. J.; HENRY, D. J. Contribution of binary organic layers to soil water repellency: a molecular level perspective. **The Journal of Physical Chemistry A**, v. 123, n. 34, p. 7518-7527, 2019.

VERECKEN, H. et al. Infiltration from the pedon to global grid scales: An overview and outlook for land surface modeling. **Vadose Zone Journal**, v. 18, n. 1, p. 1-53, 2019.

VIDALETTI, V. F. et al. Impacto da cobertura do solo, declividade e precipitação na infiltração de água no solo. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 17, p. e193101724562, 2021.

VOGELMANN, E. S. et al. Soil hydrophobicity: comparative study of usual determination methods. **Ciência Rural**, v. 45, n. 2, p. 260-266, 2015.

VOGELMANN, E. S. et al. Soil moisture influences sorptivity and water repellency of topsoil aggregates in native grasslands. **Geoderma**, v. 305, p. 374-381, 2017.

VOGELMANN, E. S.; PREVEDELLO, J.; REICHERT, J. M. Origem dos compostos hidrofóbicos e seus efeitos em florestas de Pinus e Eucalyptus. **Ciência Florestal**, v. 25, p. 1067-1079, 2015.

VOGELMANN, Eduardo Saldanha. **Relações da matéria orgânica com a hidrofobicidade do solo**. 126 f. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2014.

WU, Y. et al. Hydrophobicity of peat soils: Characterization of organic compound changes associated with heat-induced water repellency. **Science of the Total Environment**, v. 714, p. 136444, 2020.

ZAVALA, L. M. et al. Natural soil water repellency in different types of Mediterranean woodlands. **Geoderma**, v. 226, p. 170-178, 2014.

ZHANG, Renduo. Determination of soil sorptivity and hydraulic conductivity from the disk infiltrometer. **Soil Science Society of America Journal**, v. 61, n. 4, p. 1024-1030, 1997.