

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL (UFRGS)
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MINAS,
METALÚRGICA E DE MATERIAIS (PPGE3M)

ARTHUR CESA VENTURELLA

CRESCIMENTO DE *Lavandula dentata* EM TECNOSSOLOS DE REJEITO
DE CARVÃO MINERAL: ESTRATÉGIA PARA RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA COM
IMPACTO SOCIAL

Porto Alegre

2023

ARTHUR CESA VENTURELLA

CRESCIMENTO DE *Lavandula dentata* EM TECNOSSOLOS DE REJEITO
DE CARVÃO MINERAL: ESTRATÉGIA PARA RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA COM
IMPACTO SOCIAL

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGE3M) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Tecnologia Mineral, Ambiental e Metalurgia Extrativa, modalidade Acadêmica.

Orientador: Prof. Dr. Ivo André Homrich Schneider

Co-Orientador: Prof. Dr. Eduardo Miranda Ethur

Porto Alegre

2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Carlos André Bulhões Mendes

Vice-Reitora: Patricia Pranke

ESCOLA DE ENGENHARIA

Diretora: Carla Schwengber ten Caten

Vice-Diretor: Afonso Reguly

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MINAS,
METALÚRGICA E DE MATERIAIS

Coordenador: Rodrigo de Lemos Peroni

Vice-Coordenador: Annelise Kopp Alves

ARTHUR CESA VENTURELLA

CRESCIMENTO DE *Lavandula dentata* EM TECNOSSOLOS DE REJEITO
DE CARVÃO MINERAL: ESTRATÉGIA PARA RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA COM
IMPACTO SOCIAL

Esta dissertação foi analisada e julgada adequada para a obtenção do título de mestre em Tecnologia Mineral, Ambiental e Metalurgia Extrativa e aprovado em sua forma final pelo Orientador, Co-Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGE3M) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Ivo André Homrich Schneider, Doutor em Metalurgia Extrativa
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

Eduardo Miranda Ethur, Doutor em Química
Universidade do Vale do Taquari - Univates

BANCA EXAMINADORA:

Carlos Hoffmann Sampaio, Doutor em Processamento Mineral
Universitat Politècnica de Catalunya

Beatriz Alicia Firpo Vasquez, Doutora em Tecnologia Mineral, Ambiental e Metalurgia Extrativa

Jéssica Weiler, Doutora em Tecnologia Mineral, Ambiental e Metalurgia Extrativa
Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo

Dedico este trabalho a minha família, em especial aos meus pais pela dedicação e apoio constante.

AGRADECIMENTOS

Gratidão nos edifica, então não devemos economizar palavras.

Agradeço inicialmente, e imensamente, ao Professor Ivo André Homrich Schneider, que aceitou com humildade, respeito e muita compreensão o meu desafio de realizar esse projeto de mestrado, e me orientou brilhantemente com a sua visão crítica, paciência e dedicação. Agradeço ao Professor Eduardo Mirando Ethur pela orientação, parceria e por compartilhar da paixão pela biodiversidade e suas contribuições para a sociedade.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGE3M, pela oportunidade de realização de trabalhos em minha área de pesquisa.

A todos os meus professores, pelos conhecimentos a mim transmitidos durante estes anos, que possibilitaram chegar à realização deste trabalho.

Aos colegas do PPGE3M pelo auxílio nas tarefas desenvolvidas durante o curso e apoio na revisão deste trabalho.

Aos colegas do LTM – Laboratório de Tecnologia Mineral e Ambiental da UFRGS, em especial ao colega Eduardo Kercher de Oliveira pela parceria de longa data.

À comissão examinadora, Dr. Carlos Hoffmann Sampaio, Dr^a. Beatriz Firpo e Dr^a Jéssica Weiler pela disponibilidade em contribuir com este trabalho.

À minha família, minha base, que sempre me apoiou e incentivou para seguir estudando e buscando meus objetivos.

Agradeço imensamente pelo suporte de todos os parceiros, em especial à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa CAPES PROEX.

"Você não muda as coisas lutando contra a realidade atual. Para mudar algo é preciso construir um modelo novo que tornará o modelo atual obsoleto."

Buckminster Fuller

RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi avaliar o crescimento de *Lavandula dentata* em diferentes configurações de Tecnosolos produzidos a partir de rejeitos finos e grossos de carvão mineral da Mina de Moatize (Moçambique) e em um solo agrícola. Todos os substratos foram corrigidos com lodo de esgoto para obtenção de 3% de matéria orgânica e adubo químico para suprir a necessidade de nutrientes. Os estudos foram construídos em recipientes de 30 litros e realizados em triplicata para cada delineamento experimental. O plantio ocorreu em novembro de 2021, e todas as configurações permitiram um bom crescimento das plantas, embora o tratamento que utiliza apenas rejeito fino e lodo tenha sido o que apresentou desempenho mais próximo ao solo agrícola na produção de biomassa aérea. Em vias gerais, o tecido vegetal da *L. dentata*, em todos os substratos estudados, apresentou qualidade semelhante ao controle, com composição da biomassa dentro da faixa padrão estabelecida pela bibliografia. A produção chegou a 0,7% (m/m) de óleo essencial na biomassa seca, com características químicas semelhantes ao controle. Em suma, Tecnosolos com o rejeito de carvão de Moatize são uma alternativa, não apenas para dar um destino adequado aos resíduos, mas também proporcionar condições para a revegetação e a recuperação de áreas degradadas pela mineração de carvão, evitando o comissionamento de áreas de empréstimo de solo. Com o uso da *L. dentata*, minimiza-se o risco de contaminação da cadeia alimentar, pois seu uso é predominantemente como insumo aromático. O cultivo desta espécie nos Tecnosolos de carvão mineral demonstrou potencial como “gatilho ecológico” no processo de restauração com benefícios ambientais e socioeconômicos.

PALAVRAS-CHAVE: mineração de carvão, Restauração Ecológica, Tecnosolo, *Lavandula dentata*, Transição Justa.

ABSTRACT

The aim of this research was to evaluate the growth of *Lavandula dentata* in different configurations of technosols produced from fine and coarse tailings from the Moatize Coal Mine (Mozambique) and in an agricultural soil. All substrates were amended with sewage sludge to obtain 3% of organic matter and a chemical fertilizer to provide nutrients. The studies were built in 30-liter containers and performed in triplicate for each experimental group. Planting took place in November 2021 and all configurations allowed for good plant growth, although the treatment that uses only fine waste and sludge was the one that presented the closest performance to agricultural soil in terms of production of aerial biomass. The plant tissue of *L. dentata*, in all substrates studied, presented similar composition to the control, with biomass composition within the standard range established by the literature. Production reached 0.7% (m/m) of essential oil by plant dry biomass, with chemical characteristics similar to the control. In short, technosols composed with coal tailings from Moatize appear as an alternative, not only to provide a suitable destination for the tailings, but also to provide conditions for the revegetation and recovery of degraded areas by coal mining. The concept avoids the commissioning of nearby areas to supply soil for the restoration process. Also, *L. dentata* minimizes the risk of contamination of the food chain, since its use is predominantly as an aromatic ingredient. The cultivation of this species in coal technosols has potential as an “ecological trigger” in the restoration process with environmental and socioeconomic benefits.

KEYWORDS: coal mining, ecological restoration, technosols, *Lavandula dentata*, Just Transition.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<i>Figura 1 – (a) alteração topográfica com disposição de pilhas de rejeitos e estéreis, resultantes da utilização de draglines em lavras de superfície, área VI Itanema II em Urussanga-SC; (b) drenagem ácida com coloração alaranjada em contato com o rio Pio,.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 2 - Imagens da Mina de Moatize, Moçambique. (a) barragem, (b) taludes, (c) cava da mina,</i>	<i>18</i>
<i>Figura 3 - Localização da província de Tete,</i>	<i>18</i>
<i>Figura 4 - Continuum Restaurativo,</i>	<i>22</i>
<i>Figura 5 - Hierarquia de Mitigação na Mineração,</i>	<i>23</i>
<i>Figura 6 - Trajetória de recuperação de áreas mineradas,.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 7 – Estrutura química dos principais compostos químicos encontrados na Lavandula dentata, respectivamente: 1,8-cineol; cânfora e fenchol.</i>	<i>31</i>
<i>Figura 8 - Imagem mostrando de forma esquemática as configurações de Tecnossolos,.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 9 - Linha do tempo das culturas cultivadas nos Tecnossolos de carvão mineral,.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 10 - Amostragem de Tecnossolos e respectivos equipamentos utilizados,</i>	<i>36</i>
<i>Figura 11 - Imagens do experimento de L. dentata em Tecnossolo de rejeito de carvão mineral,.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 12 - Extração do óleo essencial de Lavandula dentata,.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 13 - Aparelho de Clevenger modificado, utilizado para a extração do óleo essencial.</i>	<i>39</i>
<i>Figura 14 - Cromatógrafo gasoso acoplado ao detector de massas utilizado para determinação dos componentes de óleos essenciais.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 15 - Resultados de crescimento vegetal de L. dentata nas diferentes configurações de Tecnossolos.</i>	<i>45</i>
<i>Figura 16 – Resultados da produção de biomassa aérea de L. dentata nos diferentes Tecnossolos,.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 17 – Benefícios ambientais do cultivo de L. dentata em Tecnossolo de carvão mineral. (a) sistema radicular promovendo o controle da erosão, (b) desenvolvimento de microbiota e (c) presença de insetos polinizadores.....</i>	<i>51</i>

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1 - Pesquisas relacionadas com a aplicação de Tecnosolos com rejeitos de carvão mineral.....</i>	<i>20</i>
<i>Tabela 2 - Lista de culturas aromáticas de alto valor agregado, incluindo as gramíneas mais tolerantes ao estresse e as herbáceas menos tolerantes ao estresse propostas para a fitorremediação sustentável de locais contaminados.</i>	<i>27</i>
<i>Tabela 3 - Porcentagem de rendimento do óleo essencial de Lavandula Dentata L. submetidos a estresse,</i>	<i>31</i>
<i>Tabela 4 - Características do rejeito grosso e fino empregadas na composição dos solos fabricados,.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabela 5 - Detalhamento da composição dos Tecnosolos por tipo de tratamento,</i>	<i>35</i>
<i>Tabela 6 - Valores médios da análise de pH, carbono orgânico, macronutrientes e capacidade de troca catiônica nos diferentes tipos de Tecnosolos.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabela 7 - Valores médios da análise de química de micronutrientes nos diferentes Tecnosolos.</i>	<i>44</i>
<i>Tabela 8 - Valores médios da biomassa aérea nas diferentes configurações de Tecnosolos,.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabela 9 - Resultados da análise de tecido vegetal da Lavandula dentata,</i>	<i>47</i>
<i>Tabela 10 - Valores de rendimento e produtividade,</i>	<i>48</i>
<i>Tabela 11 - Valores Médios dos compostos majoritários da caracterização dos O.E. de Lavandula dentata... </i>	<i>48</i>
<i>Tabela 12 - Valores médios de CHNS e COT.</i>	<i>49</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1. Degradação ambiental pela mineração.....	16
2.2. Tecnossolos.....	19
2.3. Restauração ecológica.....	20
2.4. Plantas Aromáticas e Medicinais Fitorremediadoras	27
2.5. <i>Lavandula dentata</i>	28
3. MATERIAIS E MÉTODOS	33
3.1. Rejeito de carvão mineral	33
3.2. Composição dos substratos.....	34
3.3. Análises do solo.....	36
3.4. Medições do crescimento vegetal.....	37
3.5. Análise do tecido vegetal	37
3.6.1. Determinação dos constituintes químicos	39
3.6.2 Índice de retenção de Kovats	40
3.7. Determinação CNHS e COT	41
3.8. Tratamento estatístico dos dados	41
4. RESULTADO E DISCUSSÃO	43
4.1. Análises do solo.....	43
4.2. Crescimento vegetal	45
4.3. Análises do tecido vegetal	47
4.5. Determinação CNHS e COT	49
4.5. Benefícios ambientais e socioeconômicos do crescimento da Lavanda em área da mineração em recuperação	49
5. CONCLUSÕES.....	52
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	54
7. REFERÊNCIAS	56
ANEXO I - ANÁLISE DO SOLO AGOSTO DE 2022.....	62
ANEXO II - ANÁLISE ELEMENTAR CHNS E COT	71
ANEXO III - ANÁLISE DO TECIDO VEGETAL	75
ANPÊNDICE I – CARACTERÍSTICAS DOS ÓLEO ESSENCIAL DE <i>Lavandula dentata</i>	1

1. INTRODUÇÃO

A sustentabilidade na mineração é um campo crescente de investigação científica e tecnológica em nível internacional (SÁNCHEZ, 1998; MMSD, 2002; FONSECA *et al.*, 2003; FRANKS, 2015; CCSI *et al.*, 2016; TOST *et al.*, 2018; IRP, 2019; EITI, 2019). Os aspectos mais relevantes estão relacionados a conservação dos recursos naturais, aproveitamento de materiais, aumento da eficiência energética e prevenção de desastres ambientais (GHOSE, 2003; HILSON, 2003; DRIUSSI e JANZ, 2006; REDDICK *et al.*, 2008; BENZAAZOUA *et al.*, 2008; CHIKKATUR *et al.*, 2009; MCLELLAN *et al.*, 2009; HESKETH *et al.*, 2010; FRANKS *et al.*, 2012).

A indústria do carvão mineral evoluiu muito na questão de responsabilidade ambiental, reduzindo os impactos do ciclo de produção como um todo. Esforços têm sido dirigidos para a recuperação de áreas degradadas, aproveitamento de resíduos, captura e armazenamento de carbono, tecnologias de combustão e tratamento de drenagem ácida de minas (LI *et al.* 2022; ARISTIZABAL-H *et al.*, 2023).

Tecnossolos (também denominados de antropossolos), de acordo com a classificação de solos da FAO (*Food and Agriculture Organization*), são solos artificiais derivados da mistura de materiais antrópicos (FAO-ISSS-ISRIC, 2006; FABBRI *et al.*, 2021) e são substratos cujas propriedades químicas, físicas e biológicas dependem grandemente de misturas adequadas de materiais (IUSS Working Group WRB, 2014).

A ênfase deste trabalho está na recuperação de áreas degradadas pela mineração sob o ponto de vista da restauração ecológica. Entende-se como “restauração ecológica”, no conceito apresentado pela *Society for Ecological Restoration*, “o processo de auxílio ao restabelecimento de um ecossistema que foi degradado, danificado ou destruído” (SER, 2004).

Deve-se, ainda, considerar que um ecossistema restaurado é formado, em sua maior parte, por espécies nativas. Contudo, admitem-se espécies exóticas que não atrapalhem o desenvolvimento das espécies nativas. Alguns autores sugerem a fitorremediação à base de plantas aromáticas, como uma abordagem segura e potencial retorno econômico com a produção de óleos essenciais (PANDEY *et al.* 2014; VERMA *et al.*, 2014; PANDEY *et al.* 2019). Há um relato recente da *Appalachian Botanical Company*, na *West Virginia*, nos EUA, onde se reporta o sucesso da

recuperação de áreas degradadas pela mineração de carvão e de uma “transição justa” com oferta de emprego para as comunidades locais (principalmente para pessoas que perderam seus empregos na indústria do carvão, foram encarceradas anteriormente, lutaram com problemas de abuso de substâncias, ou não possuem um diploma do ensino médio), mediante a produção de Lavanda. Porém esses relatos – jornal, *youtube* – não trazem informações referentes às configurações de substrato, rendimento do óleo essencial, entre outros aspectos importantes.

Os rejeitos de carvão estudados neste trabalho são provenientes da exploração da camada Chipanga, na Mina de Moatize, localizada na província de Tete em Moçambique – África. O carvão mineral explorado possui rank “carvão betuminoso alto volátil”, comercializado para o mercado metalúrgico e térmico. A camada explorada possui cerca de 30 metros de espessura, havendo um enriquecimento do carvão do topo para a base. A vida útil estimada do empreendimento segue até o ano 2049, produzindo carvão coqueificável e carvão metalúrgico. A exploração se dá a céu aberto, e o beneficiamento envolve etapas de beneficiamento de grossos em ciclones de meio de denso e o processamento de finos em espirais e flotação. O material mostra-se adequado para reconfiguração do terreno e composição de Tecnosolos, com risco pequeno de geração de drenagem ácida de minas (WEILER *et al.*, 2020).

Assim, investigou-se a construção de Tecnosolos a partir de diferentes configurações de substrato, envolvendo rejeitos finos e grossos de carvão, avaliando as suas propriedades químicas como um substrato para crescimento vegetal. Bem como avaliou-se o potencial de uma planta aromática fitorremediadora como “gatilho ecológico” e estratégia de retorno econômico durante o processo de restauração.

Neste contexto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o crescimento de *Lavandula dentata* em diferentes configurações de Tecnosolos produzidos a partir de rejeitos finos e grossos de carvão mineral da Mina de Moatize (Moçambique) e em um solo agrícola. Para alcançar este objetivo, foram propostos os seguintes objetivos específicos:

- (a) descrever as diferentes configurações de Tecnosolos, comparando com um solo agrícola, e analisar suas propriedades físicas e químicas;

- (b) verificar o crescimento vegetal da *L. dentata* cultivada nas diferentes configurações de solo;
- (c) analisar o tecido vegetal da *L. dentata*, em relação ao controle, analisando a qualidade da biomassa;
- (d) determinar os componentes químicos do óleo essencial da *L. dentata*, cultivada nas diferentes configurações de Tecnosolos e no solo agrícola, avaliando as respectivas qualidades; e
- (e) medir a incorporação de carbono nos Tecnosolos.

Na sequência, discute-se os benefícios ambientais e socioeconômicos do cultivo de *L. dentata* no processo de restauração ecológica.

Assim, este trabalho está organizado em seis capítulos, incluindo esta introdução. No segundo capítulo é apresentado o referencial teórico para fundamentação da realização do estudo. A seguir, no terceiro capítulo, são apresentados os materiais e procedimentos metodológicos utilizados para a realização da pesquisa. No quarto capítulo, são apresentados os resultados e discussões geradas a partir dos mesmos. Após, no quinto capítulo, são apresentadas as considerações finais. Por fim, no sexto capítulo são apresentadas sugestões para trabalhos futuros.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo será apresentado o referencial teórico em torno dos assuntos que são pertinentes a este trabalho.

2.1. Degradação ambiental pela mineração

A mineração tem sido e, continua sendo, parte integrante da existência humana desde as minerações da Idade da Pedra, do ferro e do carvão que alimentaram a revolução industrial, até os novos materiais necessários para apoiar a transição para energias renováveis. A indústria da mineração é uma grande contribuinte para a economia global, com as 40 maiores empresas contribuindo com US\$ 544,4 bilhões em 2020 (PwC, 2021). Dados divulgados pelo Ministério Brasileiro de Minas e Energia (MME) em 2021 confirmam um aumento de 31% na contribuição do setor mineral nas exportações e no Produto Interno Bruto (PIB) do país, passando de US \$25 bilhões em 2019, para US \$32 bilhões em 2020. É inegável a importância da mineração para o desenvolvimento da economia e da humanidade. Porém, inerente à atividade de mineração está a degradação ambiental. Por isto, são de suma importância ações que mitiguem e compensem os danos associados à mineração.

A mineração produz diversos impactos ambientais, hidrológicos, econômicos e sociais (WERNER *et al.*, 2019; MARDONO e HAN, 2023; ISLAM *et al.*, 2022). Proporciona alterações na paisagem e mudanças no solo, resultando em modificações na dinâmica das funções ecológicas (BIAN *et al.*, 2009). De acordo com estudo realizado por Longo (2014), diversos serviços ecossistêmicos são afetados pelos impactos ambientais gerados pela mineração, sendo que a alteração na extensão da área ocupada por vegetações nativas é um dos mais relevantes.

O carvão é o combustível fóssil mais abundante e amplamente distribuído no mundo (WALKER, 2000) e é classificado como a segunda fonte de energia mais importante (MILLER, 2017), respondendo por 27,1% da produção de energia primária (WEC, 2021). No entanto, a produção e utilização de carvão têm muitos impactos negativos, levando a perdas ambientais, econômicas e sociais (FENG *et al.*, 2019).

A mineração de carvão mineral, especialmente em regiões como Moatize, Moçambique, gera impactos significativos além da conhecida Drenagem Ácida de

Minas (DAM). A disposição inadequada de rejeitos resulta na degradação da paisagem, onde vastas áreas são desmatadas e transformadas em depósitos estéreis que comprometem a morfologia do terreno (Jain et al., 2016). Essa intervenção causa erosão, facilitando o carreamento de partículas e o assoreamento de corpos hídricos adjacentes, o que prejudica a qualidade da água e afeta ecossistemas aquáticos (Wolkersdorfer e Mugova, 2022). Além disso, a presença de rejeitos impacta negativamente as condições físicas e químicas do solo, inviabilizando o crescimento vegetal e a recuperação da biodiversidade local (Mendes et al., 2022). Portanto, é crucial considerar a multifacetada degradação ambiental resultante da mineração, englobando diversas formas de contaminação e degradação do ambiente.

Carvão com alto teor de enxofre, como os encontrados em Santa Catarina (CHAVES, 2008), contêm altas concentrações de enxofre pirítico que podem produzir Drenagem Ácida de Mina (DAM) (SILVA *et al.*, 2011). A DAM causa contaminação do solo e da água e inibe o desenvolvimento de muitos organismos principalmente devido ao baixo pH (ZOOCHÉ *et al.*, 2010). Essas condições ambientais também representam riscos concretos para a saúde humana, devido ao escoamento de contaminantes de metais tóxicos para locais ocupados próximos ou devido ao uso humano direto das áreas (e.g., para produção de alimento, criação de gado ou habitação humana, embora o uso antropogênico desses locais degradados seja proibido).

Figura 1 – (a) alteração topográfica com disposição de pilhas de rejeitos e estéreis, resultantes da utilização de *draglines* em lavras de superfície, área VI Itanema II em Urussanga-SC; (b) drenagem ácida com coloração alaranjada em contato com o rio Pio,



Fonte: Acervo Núcleo de Apoio Técnico de Criciúma (NUMA) / SUREG-PA.

Porém, alguns carvões apresentam um comportamento distinto em relação a geração de acidez. Os rejeitos de carvão da camada Chipanga da Mina de Moatize, tanto grossos como finos, apresentam, no balanço ácido-base e nos ensaios em células úmidas, um comportamento levemente alcalino, dada a baixa concentração de pirita e presença de carbonatos. Estudos mostram que o material possui tendência à formação de um lixiviado neutro a levemente alcalino. Assim, não é esperado que haja, em curto prazo, uma geração de drenagem ácida nos rejeitos de carvão mineral das jazidas de Moatize. Portanto, o material mostra-se adequado para reconfiguração do terreno e utilização na composição de Tecno solos, com risco pequeno de geração de drenagem ácida de minas (WEILER *et al.*, 2020), que é confirmado por Pondja e colaboradores (2017).

Figura 2 - Imagens da Mina de Moatize, Moçambique. (a) barragem, (b) taludes, (c) cava da mina,



Fonte: Prof. Arthur Pinto Chaves

Figura 3 - Localização da província de Tete,



Fonte: Selemane, 2011.

Uma prática muito comum no processo de recuperação de áreas degradadas é a utilização de solos de áreas de empréstimo (*topsoiling*). A técnica não é permitida em muitos países, pois exige o comissionamento de novas áreas. É uma prática ecologicamente e economicamente aceita com restrições, pois degrada uma nova área, para se recuperar uma outra área já degradada (Weiler *et al.*, 2020).

A reabilitação de minas abandonadas e o uso da terra pós-mineração deve ser uma responsabilidade de todos. Por conseguinte, pensar em estratégias que não utilizem solo e sim rejeitos e resíduos industriais é de valor para a recuperação de áreas degradadas pela mineração.

2.2. Tecnossolos

Tecnossolos (também denominados de antropossolos), de acordo com a classificação de solos FAO, são solos artificiais derivados da mistura de materiais antrópicos (FAO-ISSS-ISRIC, 2006; FABBRI *et al.*, 2021). São substratos cujas propriedades químicas, físicas e biológicas dependem grandemente de misturas adequadas de materiais (IUSS Working Group WRB, 2014; KEFELI *et al.*, 2008; WATKINSON, 2014).

Exemplos de estudos bem-sucedidos de uso de rejeitos de carvão como Tecnossolos estão listados na

Tabela 1. Tecnossolos com rejeito de carvão mineral podem ser usados para recuperar áreas degradadas, evitando assim o comissionamento de solos naturais (WEILER *et al.*, 2018) e o descarte de resíduos em aterros (FIRPO *et al.*, 2015). Observa-se que nos trabalhos conduzidos com rejeitos de carvão brasileiro, foi necessária a dessulfurização parcial do material. Em todos os casos, foram empregados rejeitos finos ou cominuídos para granulometria inferior a 2 mm. Ainda, a maioria dos trabalhos concentram-se no uso do solo para o cultivo de pastagens e produção de grãos.

Tabela 1 - Pesquisas relacionadas com a aplicação de Tecnosolos com rejeitos de carvão mineral.

Origem	Aditivos empregados	Vegetação	Referência
Brasil	Escória de aciaria e lodo de ETE*	<i>Sorghum bicolor</i>	Firpo <i>et al.</i> , 2015
Brasil	Cinzas de casca de arroz, escória de aciaria e lodo de ETE*	<i>Megathyrsus maximus</i>	Weiler <i>et al.</i> , 2018
Moçambique	Composto orgânico de resíduos sólidos urbanos	<i>Medicago sativa</i>	Weiler <i>et al.</i> , 2020
África do Sul	Lodo de ETE e resíduos de malte	<i>Eragrotis tef</i>	Amaral Filho <i>et al.</i> , 2020
Brasil	Cinzas de casca de arroz, escória de aciaria e lodo de ETE*	<i>Avena strigosa</i> <i>Zea mays</i>	Firpo <i>et al.</i> , 2021
Polônia	Lodo de ETE, brita (arenito angular) e cinzas volantes	Árvores, arbustos, herbáceas e gramíneas de espécies nativas	Halecki e Klatka, 2021
Brasil	Resíduos do processamento do arroz, lodo da agroindústria avícola e gesso sintético		Zocche <i>et al.</i> , 2023

*ETE – estação de tratamento de esgoto

Fonte: elaborado pelo autor.

2.3. Restauração ecológica

A restauração de áreas mineradas foi negligenciada por muito tempo, gerando muitos “desserviços ambientais”, ameaçando o meio ambiente e a saúde humana. Se estas áreas não forem restauradas, os custos de longo prazo podem ser muito maiores do que o custo da restauração. Portanto, áreas degradadas pela mineração devem ser prioridade de restauração (ROCHA-NICOLEITE; OVERBECK; MÜLLER, 2017).

O conceito de restauração ecológica evoluiu e tornou-se amplo, de acordo com os objetivos a que se pretende restaurar. No conceito apresentado pela *Society for Ecological Restoration*, é “o processo de auxílio ao restabelecimento de um ecossistema que foi degradado, danificado ou destruído” (SER, 2004, p.3). Ou seja, é uma intervenção humana intencional para desencadear, facilitar ou acelerar o processo natural de sucessão ecológica e restabelecer as funções ecológicas de uma área onde o ecossistema foi alterado ou degradado (PLANAVEG, 2017), sendo uma das principais soluções baseadas na natureza para combater a perda de biodiversidade, a crise climática e a insegurança hídrica (GRISCON *et al.*, 2017).

As Soluções Baseadas na Natureza (SbN) são definidas pela IUCN (*International Union for Conservation of Nature*) como:

Ações para proteger, gerenciar de forma sustentável e restaurar ecossistemas naturais ou modificados, que abordam os desafios sociais (e.g., mudanças climáticas, segurança alimentar e hídrica ou desastres naturais) de forma eficaz e adaptativa, proporcionando simultaneamente bem-estar humano e benefícios para a biodiversidade (COHEN-SHACHAM *et al.*, 2016).

Um ecossistema restaurado tem de ter: (i) espécies e estrutura de um ecossistema de referência; (ii) maioria de espécies nativas; (iii) todos os grupos funcionais; (iv) ambiente físico capaz de sustentar as espécies e seus processos reprodutivos; (v) funcionamento normal; (vi) integração com outras unidades da paisagem (fluxos e trocas); (vii) ameaças eliminadas ou reduzidas; (viii) resiliência (i.e., capacidade do ecossistema recuperar suas condições anteriores ao distúrbio sem intervenção humana - medida em tempo); (ix) autossustentabilidade igual à do ecossistema de referência (SER, 2004).

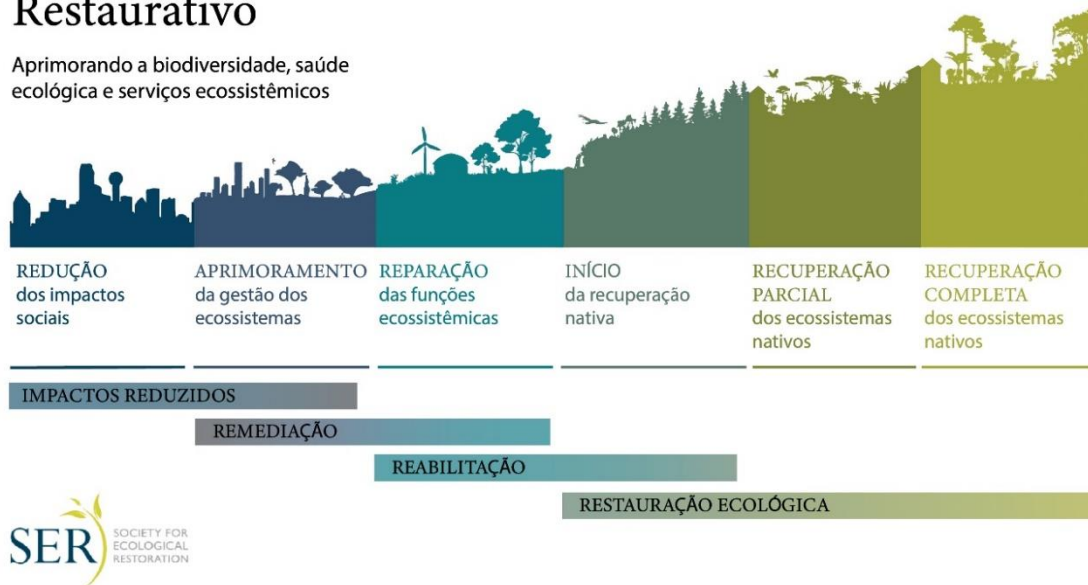
Porém, a evolução de uma área degradada até um ecossistema similar, ou muito próximo ao ecossistema original, é bastante longo. Conceitualmente, o *continuum* restaurativo oferece uma abordagem holística para recuperar os ecossistemas do mundo inteiro, permitindo a aplicação do tratamento que seja o mais adequado e eficaz dadas as condições ecológicas, sociais e financeiras. O *continuum* inclui quatro grandes categorias de práticas restaurativas: (i) redução de impactos sociais; (ii) remediação; (iii) reabilitação; e (iv) restauração ecológica (GANN *et al.*, 2019).

As práticas para redução de impactos sociais, remediação e reabilitação são consideradas restaurativas por reduzirem as causas e os efeitos decorrentes da degradação, aumentarem o potencial de recuperação do ecossistema e promoverem uma transição para a sustentabilidade. Uma atividade restaurativa é aquela que, direta ou indiretamente, apoia ou mesmo concretiza, a recuperação de atributos ecossistêmicos que foram perdidos ou degradados (GANN *et al.* 2019).

Figura 4 - *Continuum Restaurativo*,

Continuum Restaurativo

Aprimorando a biodiversidade, saúde ecológica e serviços ecossistêmicos

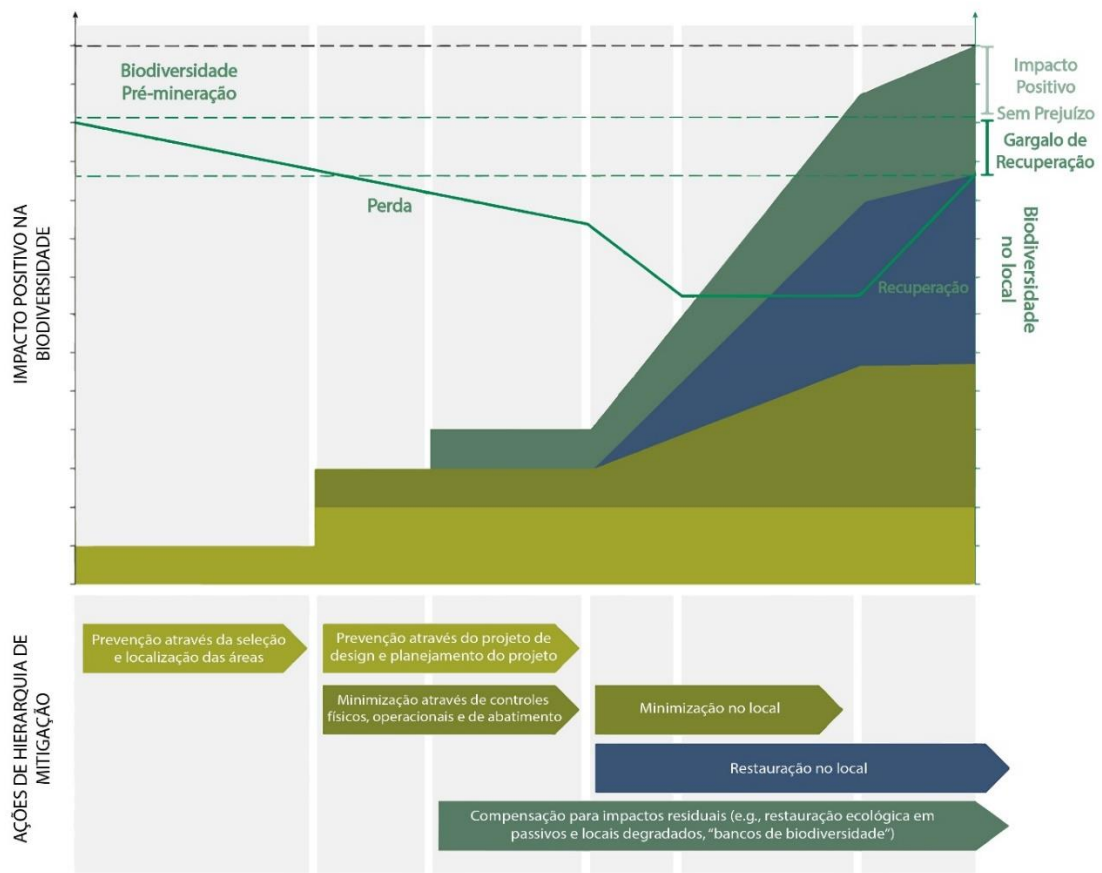


Fonte: Adaptado de Gann *et al.* (2019).

O *continuum* restaurativo inclui uma série de atividades e intervenções que podem melhorar as condições ambientais e reverter a degradação do ecossistema e a fragmentação da paisagem. O *continuum* destaca as interconexões entre essas diferentes atividades e reconhece que as características específicas da localidade destinada a ações restaurativas determinam as atividades mais adequadas para diferentes unidades da paisagem. À medida que se move da esquerda para a direita no *continuum*, tanto a saúde ecológica quanto os resultados da biodiversidade e a qualidade e a quantidade dos serviços ecossistêmicos aumentam. Observa-se que a restauração ecológica pode ocorrer em paisagens urbanas, agrícolas e industriais (GANN *et al.*, 2019).

A Hierarquia de Mitigação (WHITE *et al.*, 2021) é uma ferramenta projetada para ajudar os usuários a limitar, tanto quanto possível, os impactos negativos dos projetos de desenvolvimento na biodiversidade e nos serviços ecossistêmicos. Portanto, a Hierarquia de Mitigação fornece um mecanismo para a tomada de decisões explícitas que equilibram as necessidades de conservação com as prioridades de desenvolvimento.

Figura 5 - Hierarquia de Mitigação na Mineração,

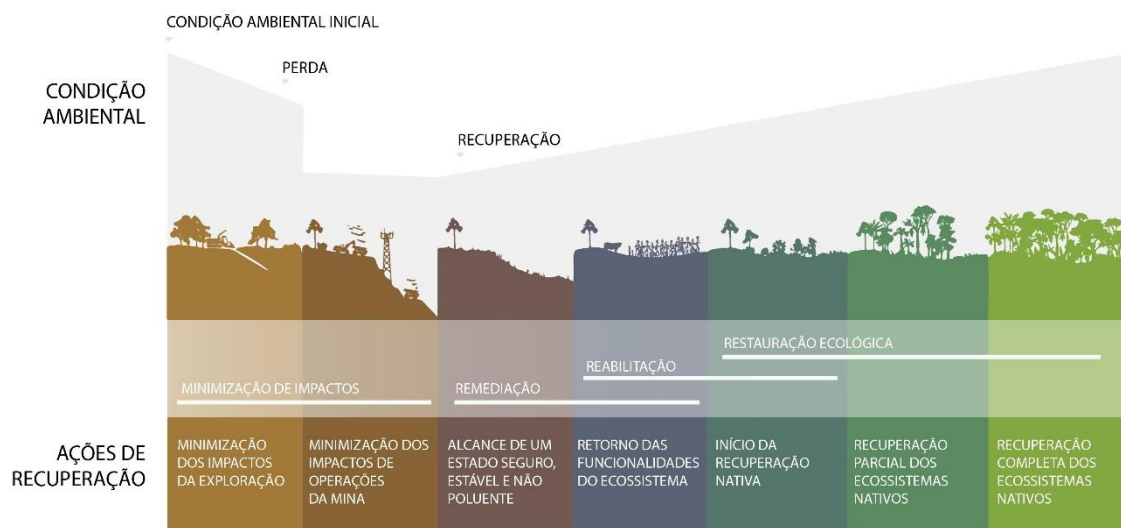


Fonte: Adaptado de Young *et al.* (2022).

A

Figura 5 ilustra a hierarquia de mitigação (WHITE *et al.* 2021) referida aos ecossistemas nativos e à biodiversidade representada como um *continuum* ao se minerar um ecossistema nativo intacto. A fim de se alcançar nenhuma perda líquida (em inglês, *No Net Loss*) ou, até mesmo um ganho líquido (em inglês, *Net Gain*), uma empresa precisará avaliar os impactos potenciais associados a um desenvolvimento planejado e garantir o acordo dos diferentes *stakeholders* interessados antes de projetar medidas ao longo do ciclo do projeto para mitigar esse impacto. Os impactos devem primeiro ser evitados (verde claro) como prioridade, depois minimizados ao máximo (verde oliva). A restauração progressiva no local (azul escuro) é necessária para reduzir ainda mais os impactos, mas é improvável que essas medidas atinjam o NNL. Compensações de biodiversidade (verde escuro, como restauração ecológica em legados ou outros locais degradados, são necessárias e consideradas como último recurso para compensar quaisquer impactos residuais remanescentes para alcançar NNL ou ganho líquido (YOUNG *et al.*, 2022). O cronograma de mitigação em relação ao cronograma do projeto é ilustrativo e pode variar dependendo do contexto (WHITE *et al.*, 2021). Young *et al.* (2022) elucida a trajetória de recuperação para áreas de mineração, incluindo categorias associadas de atividades restaurativas ao longo do desenvolvimento da mina e destaca a importância de todas as atividades restaurativas enquanto busca o mais alto grau de restauração possível nas atuais circunstâncias socioeconômicas e técnicas (Figura 6).

Figura 6 - Trajetória de recuperação de áreas mineradas,



Uma técnica de restauração ecológica bastante fácil de implementar com baixo custo e bons resultados para desencadear o processo de sucessão ecológica é a nucleação (REIS *et al.*, 2003; REIS e TRES, 2007; HOLL *et al.*, 2010; REIS; REIS *et al.*, 2010; REIS *et al.*, 2014) As técnicas de nucleação podem fornecer gatilhos ecológicos que impulsionam a restauração de forma mais natural e com menos aporte de energia (i.e., financeiro e humano). Estes gatilhos poderão desencadear processos, rotas sucessionais, retomar funções que se ausentaram com a degradação, maximizar a retomada da resiliência local e da paisagem, acelerar a sucessão natural (MORO *et al.*, 2021; BECHARA *et al.*, 2017; LEMOS, 2017).

Considerando os processos de sucessão ecológica (i.e., efeito de uma espécie na probabilidade de uma segunda espécie se regenerar no mesmo ambiente), uma espécie facilitadora (i.e., espécies que auxiliam o estabelecimento, crescimento e desenvolvimento de outras espécies) pode aumentar a probabilidade de uma segunda estabelecer-se (efeito positivo). As espécies facilitadoras, ou ainda “*nurse plant*” (BADANO *et al.*, 2015), podem contribuir estabilizando o solo, ampliando a disponibilidade de nutrientes e água, modificando a incidência de luz etc., algo bastante comum em ambientes limitantes, nos estágios sucessionais iniciais e por espécies pioneiras (CONNELL e SLATYER, 1977). Deve-se, ainda, enfatizar que um ecossistema restaurado é formado, em sua maior parte, por espécies nativas. Contudo, admitem-se espécies exóticas não-invasoras que não atrapalhem o desenvolvimento das espécies nativas.

Porém, existe um grande gargalo nos projetos de restauração ecológica, a inclusão de fatores sociais. Dentro de uma revisão sistemática sobre projetos de restauração, apenas 3,5% consideraram aspectos socioeconômicos (CÉSAR *et al.*, 2020). Portanto, é de suma importância pensar estratégias que aumentem o retorno econômico e os cobenefícios sociais durante o processo de restauração.

Reconhece-se que as questões socioambientais são o principal risco para a indústria de mineração (ERNST & YOUNG, 2021), ou seja, o desempenho ambiental, social e de governança (em inglês, *Environment, Social and Governance* - ESG) está se tornando uma medida crítica de relatórios para empresas de mineração. A

obtenção e o cumprimento de aprovações governamentais e requisitos regulatórios por si só não são mais suficientes, nem socialmente e culturalmente aceitáveis, ao implementar um novo projeto de mineração (YANG *et al.*, 2019). Os desafios para obter uma aprovação para uma nova mina podem ser exacerbados quando os resultados acordados para recuperação, reabilitação ou restauração obrigatória não foram totalmente entregues pela mineradora em projetos anteriores. Os casos de desenvolvimentos de mineração sendo adiados, interrompidos ou não aprovados devido à oposição da comunidade estão aumentando. Como tal, as empresas de mineração devem ser diligentes na construção, promoção e manutenção da Licença Social para Operar – LSO (em inglês, *Social License to Operate*), por meio da divulgação aberta e completa de sua capacidade técnica e financeira para entregar um resultado pós-mineração acordado (MOFFAT e ZHANG, 2014).

A LSO é uma percepção da comunidade sobre aceitabilidade de uma empresa e suas operações locais (BOUTILIER e THOMSON, 2011) e sua proposta baseia-se na ideia de que a sociedade pode dar ou recusar o apoio à uma empresa e suas operações (PRNO, 2013; MOFFAT e ZHANG, 2014). Tão importante quanto os aspectos considerados inerentes ao negócio, como viabilidade de recursos naturais, logística, aspectos legais, entre outros, é o diálogo que permite a edificação de uma perspectiva de valor compartilhado de curto, médio e longo prazo com as comunidades.

De maneira resumida, a literatura aponta que a função da LSO, diante da maior atenção dada ao ambiental no contexto socioambiental, é trazer enfoque na resolução dos conflitos sociais trazidos pelo empreendimento e na preocupação e atendimento às minorias socialmente mais vulneráveis; precisa desenvolver uma postura mais estratégica ao invés de ser reativa e compensatória; e é necessário o desenvolvimento de um padrão claro e amplamente reconhecido para sua prática, de modo que deixe de ser um conceito abstrato. Assim, será possível que a LSO realmente atenda aos interesses da comunidade ao invés de legitimar práticas que favorecem as grandes empresas (FRANCO; SAMPAIO e ALMEIDA, 2020).

É fato que os combustíveis fósseis contribuem para a intensificação das mudanças climáticas (IPCC, 2021), por isto existe a necessidade de descarbonizar a matriz energética (i.e., reduzir as emissões de gases de efeito estufa). Países

dependentes da energia de fonte fóssil, como o carvão, estão buscando caminhos para reduzir a dependência desta matriz e buscando alternativas renováveis. Alguns países iniciaram essa transição tecnológica há vários anos. Contudo, além de buscar alternativas para a produção de energia, é preciso incluir na discussão todos os atores envolvidos no tema, como os trabalhadores do setor mineral. A Transição Energética Justa é aquela em que a sociedade compartilha os custos da mudança para uma economia de baixo carbono, é “uma estrutura de justiça social para facilitar a mudança para uma economia de carbono zero de uma forma que garanta resultados produtivos e equitativos para os trabalhadores”. Equidade, nesse contexto, significa uma distribuição justa dos custos e benefícios da transição proporcionais à inclusão ou à marginalização histórica de diferentes pessoas na economia (DIEESE e WWF BRASIL, 2021).

Portanto, pensar em estratégias que, ao mesmo tempo, restaurem ecossistemas degradados e contribuam para a inclusão social e geração de renda através da bioeconomia é de extremo valor para a indústria mineral e seu processo de fechamento de mina e pós-mineração.

2.4. Plantas Aromáticas e Medicinais Fitorremediadoras

Alguns autores sugerem a fitorremediação à base de plantas aromáticas como uma abordagem segura e potencial retorno econômico com a produção de óleos essenciais (PANDEY *et al.* 2014; VERMA *et al.*, 2014; PANDEY, PANDEY e SIGHN, 2015; PANDEY, RAI e KORSTAD, 2019; PANDEY, VERMA e SINGH, 2019; PANDEY, RAI e KORSTAD, 2019).

As plantas aromáticas podem ser usadas para remediar locais contaminados, pois são culturas não alimentares, o que minimiza o risco de contaminação da cadeia alimentar. As plantas aromáticas mais promissoras para a fitorremediação de locais contaminados por metais pesados foram identificadas nas famílias *Poaceae*, *Lamiaceae*, *Asteraceae* e *Geraniaceae*. Estas plantas atuam como potenciais fitoestabilizadores, hiperacumuladores, biomonitores e metalófitos facultativos. Sendo culturas de alto valor econômico, os benefícios monetários podem ser obtidos ao cultivá-las em áreas contaminadas, em vez de culturas alimentares. Observou-se que o estresse por metais tóxicos aumenta a porcentagem de óleo essencial de certas

culturas aromáticas. Relata-se que o óleo essencial de culturas aromáticas não é contaminado significativamente por metais pesados, assim, as plantas aromáticas surgem como candidatas ideais para a fitorremediação (PANDEY, VERMA e SINGH, 2019).

A Tabela 2 mostra algumas espécies aromáticas recomendadas para a fitorremediação de áreas contaminadas.

Tabela 2 - Lista de culturas aromáticas de alto valor agregado, incluindo as gramíneas mais tolerantes ao estresse e as herbáceas menos tolerantes ao estresse propostas para a fitorremediação sustentável de locais contaminados.

Planta Aromática	Capacidade de tolerância	Nome popular	Partes Econômicas	Usos	Hábito	Família botânica
<i>Vetiveria zizanioides</i>	Mais tolerante ao estresse	Vetiver	Raízes	Perfumaria, cosmética	Gramínea perene	Poaceae
<i>Cymbopogon flexuosus</i>		Capim-limão	Folhas	Perfumaria e medicinal	Gramínea perene	Poaceae
<i>Cymbopogon winterianus</i>		Citronela	Folhas	Cosmética e medicinal	Gramínea perene	Poaceae
<i>Cymbopogon martinii</i>		Palmarosa	Folhas e inflorescência	Saboaria, perfumaria e cosmética	Gramínea perene	Poaceae
<i>Salvia rosmarinus</i>	Menos tolerante ao estresse	Alecrim	Folhas e flores apicais	Cosmética, perfumaria e culinária	Herbácea perene	Lamiaceae
<i>Pelargonium graveolens</i>		Gerânio-rosa	Folhas frescas e flores	Perfumaria, cosmética e medicinal	Herbácea perene	Geraniaceae
<i>Pogostemon cablin</i>		Patchouli	Folhas	Perfumaria e medicinal	Herbácea perene	Lamiaceae
<i>Mentha piperita</i>		Menta-piperita	Folhas	Cosmética, culinária e medicinal	Herbácea perene	Lamiaceae
<i>Ocimum sanctum</i>		Manjeriçã-santo (Tulsi)	Folhas	Alto valor medicinal	Herbácea anual	Lamiaceae
<i>Ocimum basilicum</i>		Manjeriçã-doce	Folhas	Culinária e alto valor medicinal	Herbácea anual	Lamiaceae
<i>Lavandula angustifolia</i>		Lavanda	Folhas e botões florais	Culinária, perfumaria e medicinal	Herbácea perene	Lamiaceae

Fonte: adaptado de Pandey, Rai e Korstad (2019).

Algumas considerações importantes para a remediação de áreas contaminadas incluem: (i) seleção de espécies de plantas adequadas; (ii) capacidade inerente de crescer em condições adversas; (iii) melhoramento do solo apropriado, especialmente com resíduos orgânicos; e (iv) inoculação de micróbios nativos para

crescimento de plantas. As plantas selecionadas devem ser de baixa palatabilidade (não comestíveis), de natureza perene, ter valor econômico e ecológico, tolerantes e colhíveis para fitorremediação sustentável de locais poluídos (PANDEY *et al.*, 2015a; PANDEY e SINGH, 2011). Resíduos orgânicos disponíveis localmente são úteis na criação de um ambiente favorável para o crescimento de plantas e microrganismos nativos em locais poluídos (PANDEY, RAI e KORSTAD, 2019).

2.5. *Lavandula dentata*

Lavanda (*Lavandula*) é um gênero de 47 espécies conhecidas de plantas com flores na família das mentas, Lamiaceae. É uma planta “sempre-verde” e perene, nativa das regiões mediterrâneas, como França, Itália, Espanha e Andorra. Também é cultivada em muitos outros países do mundo (BOELEN, 1995).

A lavanda cresce até uma altura de 40 a 60 cm e forma aglomerados de flores compactas e regulares. A parte inferior é lenhosa, enquanto a parte superior é perenifolia. Os sistemas radiculares de lavanda são fibrosos, já as folhas, lineares ou lanceoladas com bordas enroladas. As flores de lavanda crescem em espigas e são dispostas em círculos na parte superior do caule. As folhas verdes prateadas são tomentosas, protegendo da perda de água, luz solar e ventos fortes. A maioria das flores é violeta pálido, mas também são encontradas flores brancas e rosadas (PRUSINOWSKA e SMIGIELSKI, 2014).

Fatores como condições climáticas, propagação, local de cultivo e características morfológicas governam a composição do óleo essencial (i.e., qualitativo e quantitativo). A intensidade luminosa é um fator importante no controle do crescimento em vários estágios do desenvolvimento da planta, desempenhando um papel importante na biossíntese dos metabólitos secundários. Arbustos de lavanda são podados para promover crescimento e produção. A colheita é feita em dias secos e ensolarados (PRUSINOWSKA e SMIGIELSKI, 2014).

A lavanda (*L. vera* L.) é capaz de acumular chumbo, cádmio e zinco, sendo utilizada na fitorremediação de solos contaminados por metais pesados (ANGELOVA *et al.*, 2015). O acúmulo de metais tóxicos na lavanda foi relatado na seguinte ordem:

Cd: folhas > raízes = inflorescências = caules; e Pb: talos > folhas = inflorescências > raízes.

No estudo de Bozhanov *et al.* (2007), não foi observada correlação forte entre o teor de metais na inflorescência de lavanda e nos óleos de lavanda. Zheljzakov e Astatkie (2011) realizaram um estudo no qual relataram que o óleo essencial de lavanda não foi contaminado por metais tóxicos. Além disso, o uso de lavanda na indústria de perfumes torna uma cultura economicamente útil para a indústria de tecnologia de fitoextração e, assim, reduzindo o custo da fitorremediação (ANGELOVA *et al.*, 2015).

A *Lavandula dentata* L. também é cultivada em muitos outros países do mundo, pois se adapta a distintos climas e solos, inclusive do Brasil e da África. Caracteriza-se por ser uma planta muito resistente, acumuladora de nutrientes e tolerante à seca (Boelens, 1995). O cultivo comercial é destinado, principalmente, à extração de óleos essenciais, apresentando, em seu perfil fitoquímico, constituintes como monoterpenos oxigenados, monoterpenos hidrocarbonados, sesquiterpenos oxigenados e sesquiterpenos hidrocarbonados (FIGUEIREDO E De MORAIS, 2019).

Sua produtividade, nos primeiros anos a produção é baixa (em alguns casos, atingindo até 200 kg/ha), mas passa a atingir melhor produtividade entre o segundo e quinto ano, com produção estimada em até 4 t/ha. Um hectare de lavanda produz aproximadamente 3.500 a 4.500 kg de flores secas, que se transformam em torno de 53 a 67 quilos de óleo essencial de lavanda. No Brasil, vende-se o quilograma de óleo na faixa de R\$100,00 a R\$135,00. Os custos anuais variam entre R\$ 1.600/ha a R\$ 2.000/ha, levando em consideração desde a implantação do lavandário, adubações de correções e cobertura, capinas, até a colheita (BASÍLIO, 2022). Ou seja, a *Lavandula dentata* tem o potencial de gerar lucratividade de R\$5.300,00/hectare/ano a R\$9.045,00/hectare/ano.

Em estudos realizados por Fell *et al.* (2021) foram identificados oito compostos principais no óleo essencial de *Lavandula dentata*, com as seguintes porcentagens: eucaliptol (24,01%), cânfora (12,40%), fenchona (10,23%), beta-costol (8,52%), sabineno (6,93%), fenchol (4,67%), α -pineno (3,50%) e linalol (2,26%).

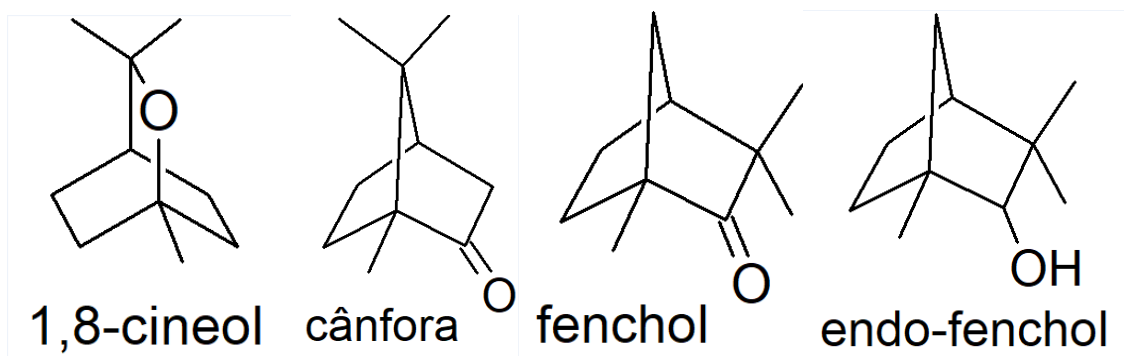
Já no estudo realizado por Figueiredo (2019) foi verificada a presença dos compostos majoritários 1,8-cineol (30,4%), cânfora (12,3%), fenchona (10,2%), endofenhol (5,7%) e β -pineno (4,9%), que corresponderam a 63,5% da composição do óleo obtido no estudo.

Na pesquisa conduzida por Martins (2018) os componentes majoritários encontrados foram: eucaliptol (40,04%), cânfora (17%), fenchona (13,04%), e limoneno (5,2 %).

A

Figura 7 mostra os principais componentes químicos encontrados na *L. dentata*.

Figura 7 – Estrutura química dos principais compostos químicos encontrados na *Lavandula dentata*, respectivamente: 1,8-cineol; cânfora, fenchol e endo-fenchol,



Estudos sobre o rendimento dos óleos essenciais trazem algumas informações conectadas com os fatores climáticos e estresse a que as plantas foram submetidas.

Em pesquisas realizadas por Martins (2018) os maiores rendimentos foram observados durante o período frio e com menos precipitação de chuva, chegando a resultados de 0,50% e 0,46%.

O estudo realizado por Riva (2012) demonstra que as espécies de lavanda apresentam uma maior produção de óleos essenciais na estação primavera-verão (0,022mL/50g), sendo praticamente o dobro da quantidade obtida quando colhidas após a estação outono-inverno (0,010mL/50g).

Em pesquisa realizada por Bertoldi e colaboradores (2022), fica evidente a relação supracitada: maiores rendimentos podem ser obtidos em condições de seca (restrição hídrica) e em dias quentes (acesso abundante a incidência solar).

Tabela 3 - Porcentagem de rendimento do óleo essencial de *Lavandula Dentata* L. submetidos a estresse,

Condição	Rendimento (%)
Déficit hídrico + seca (restrição hídrica)	0,66
Déficit solar + umidade (restrição de sol)	0,47
Coleta às 05:30	0,76
Coleta às 08:30	0,52

Fonte: Bertoldi *et al.*, 2022.

A *Lavandula dentata* foi a espécie escolhida para este estudo pois: (i) apresenta grande plasticidade ecológica (i.e., plasticidade fenotípica); (ii) possui natureza perene; (iii) possui alto interesse pela indústria com valor econômico e

ecológico; (iv) tolera colheitas recorrentes; e (v) possui bibliografia para fins de comparação.

Assim, nesta pesquisa, investigou-se a construção de Tecnolossolos a partir de diferentes configurações de substrato, envolvendo rejeitos finos e grossos de carvão, avaliando as suas propriedades químicas como um substrato para crescimento vegetal. O estudo visou também ampliar o leque de vegetação capaz de se desenvolver neste tipo de solo, monitorando-se a adaptação e o crescimento da espécie *Lavandula dentata*, uma planta produtora de óleo essencial.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir será descrita a metodologia aplicada para a condução da pesquisa.

3.1. Rejeito de carvão mineral

O rejeito de carvão empregado neste trabalho foi oriundo da Camada Chipanga, Mina de Moatize, Moçambique, na época explorada pela Vale S.A. A campanha de amostragem foi realizada pela Empresa no decorrer do ano de 2015. Ainda em Moçambique, as amostras foram embaladas em tambores metálicos devidamente identificados e foram analisadas com respeito à inflamabilidade para fins de transporte marítimo. Uma vez verificada sua seguridade, as amostras foram embarcadas e enviadas à UFRGS, em Porto Alegre/RS, aonde chegaram em maio do ano de 2016.

Na UFRGS, o material foi caracterizado por Weiler *et al.* (2020) e a Tabela 4 resume as principais características do rejeito grosso e do rejeito fino empregados no presente trabalho. O rejeito grosso, com granulometria entre 0,5 e 50 mm, apresenta as seguintes características (valores médios): teor de cinzas – 58,4%, matéria volátil - 16,6%, carbono fixo – 25,0 %; teor de S total - 1,33%, S pirítico – 0,61%, S sulfático – 0,18%, S orgânico – 0,55%; componentes cristalinos – cristalinos – quartzo, alumina, calcita e hematita. O rejeito fino, com granulometria entre 0,1 e 1,0 mm, possui as seguintes propriedades (valores médios): teor de cinzas – 58,9%, matéria volátil - 16,5%, carbono fixo – 24,6 %; teor de S total – 0,89%, S pirítico – 0,45%, S sulfático – 0,09%, S orgânico – 0,35%; componentes cristalinos – quartzo, calcita, hematita e halita. Segundo os autores, pelo balanço do potencial de geração de acidez e de neutralização, nenhum dos rejeitos apresenta potencial de geração de drenagem ácida. Ainda, não apresenta concentrações expressivas de metais tóxicos, sendo adequado para a produção de Tecnosolos.

Tabela 4 - Características do rejeito grosso e fino empregadas na composição dos solos fabricados,

Propriedade	Rejeito Fino	Rejeito Grosso
Granulométricas		
D ₉₀ (mm)	0,96	58,98
D ₅₀ (mm)	0,60	20,67
D ₁₀ (mm)	0,26	2,28
Análise imediata (b.s.)		
Cinza (%)	58,4	58,9
Matéria volátil (%)	16,6	16,5
Carbono fixo (%)	25,0	24,6
Enxofre		
Pirítico (%)	0,6	0,4
Sulfático (%)	0,2	0,1
Orgânico (%)	0,5	0,4
Total (%)	1,3	0,9
Componentes cristalinos		
Majoritários	Quartzo	Quartzo e alumina
Minoritários	Calcita, hematita e halita	Calcita e hematita
Potencial de geração de acidez e neutralização		
AP (kg CaCO ₃ t ⁻¹)	19,0	14,0
NP(kg CaCO ₃ t ⁻¹)	25,3	23,5
NNP (kg CaCO ₃ t ⁻¹)	6,3	9,5

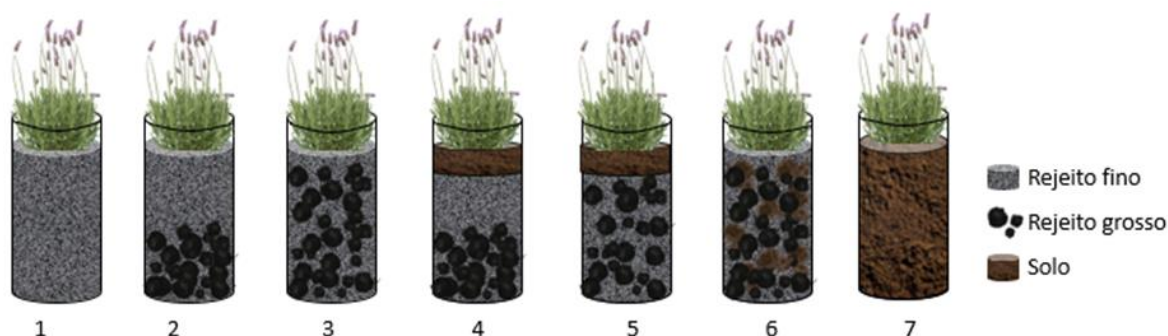
Fonte: adaptado de Weiler (2020).

3.2. Composição dos substratos

Para compor os Tecnoossos, desenvolveram-se diferentes composições de substratos com intuito de avaliar a codisposição dos rejeitos finos e grossos com outros materiais. Utilizou-se também um solo agrícola, proveniente do Município de Santa Clara do Sul, RS, para vias de comparação e composição de misturas. Adicionou-se 5% em massa de lodo de estação de tratamento de esgotos (ETE), fornecido pelo DMAE e oriundo do filtro-prensa da Unidade São João Navegantes, resíduo este gerado em grandes volumes em centros urbanos, como fonte de matéria orgânica em todos os vasos. Estabeleceram-se sete diferentes configurações, todas

em triplicata, como mostrado na Figura 8, totalizando 21 vasos. A Tabela 5 detalha os constituintes de cada um destes tratamentos.

Figura 8 - Imagem mostrando de forma esquemática as configurações de Tecnosolos,



Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 5 - Detalhamento da composição dos Tecnosolos por tipo de tratamento,

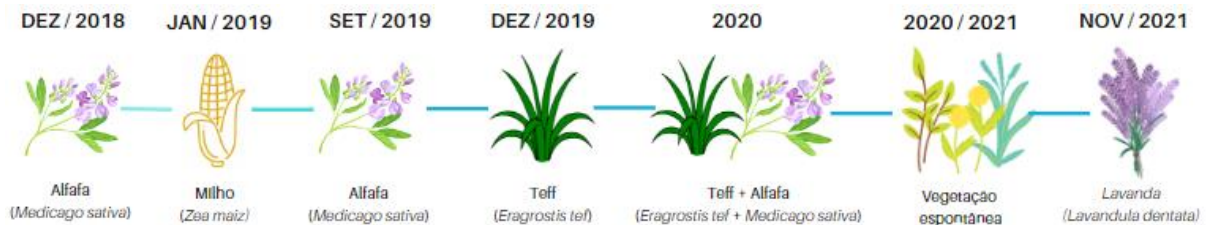
Tratamento	Rejeito fino	Lodo	Rejeito grosso	Solo
1	Sim (0-30)	Sim	Não	Não
2	Sim (15-30)	Sim	Sim (0-15)	Não
3	Sim (0-30)	Sim	Sim (0-30)	Não
4	Sim (0-10)	Sim	Sim (10-20)	Sim (20-30)
5	Sim (0-20)	Sim	Sim (0-20)	Sim (20-30)
6	Sim (0-30)	Sim	Sim (0-30)	Sim (0-30)
7	Não	Sim	Não	Sim (0-30)

Fonte: elaborado pelo autor.

O experimento foi montado em dezembro de 2018. Empregaram-se baldes de PVC com capacidade de 30 litros, nos quais foram acrescentados aproximadamente 20 kg de substrato. Os baldes foram dispostos de maneira aleatória e expostos às condições naturais do ambiente de sol e chuva. Entre dezembro de 2018 e outubro de 2021, os solos foram submetidos a diferentes ciclos vegetais, alternando espécies leguminosas, gramíneas e vegetação espontânea (Oliveira, 2021). Em novembro de 2021, a vegetação espontânea foi removida, adubou-se cada vaso com NPK 10:10:10, uma muda de *Lavandula dentata* (com aproximadamente 7 cm de altura) foi plantada em cada vaso, e foram colocadas folhas secas na superfície para manutenção da umidade. A Figura 9 ilustra, de forma cronológica, os cultivos realizados nos Tecnosolos de carvão mineral. Esse estudo faz referência apenas a esse último ciclo vegetal, cujo período de crescimento vegetal envolveu os meses de

novembro de 2021 a junho de 2022, um período climático que foi caracterizado pela estiagem intensa, devido ao fenômeno *La Niña*. Mesmo sendo uma planta com pouca necessidade de água, a irrigação foi necessária, realizada com água de abastecimento público da cidade de Porto Alegre.

Figura 9 - Linha do tempo das culturas cultivadas nos Tecnoossos de carvão mineral.



Fonte: elaborado pelo autor.

3.3. Análises do solo

Para as análises físicas e químicas dos solos, as amostragens foram feitas em agosto de 2022, com amostrador tubular de aproximadamente 3 cm de diâmetro de forma a coletar o material contido em todo o perfil do vaso. As análises foram realizadas no Laboratório de Análises de Solos da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri), vinculada à Secretaria da Agricultura e da Pesca do Estado do Governo do Estado de Santa Catarina. Foram analisados pH, matéria orgânica, macronutrientes, micronutrientes e capacidade de troca catiônica (CTC), segundo a metodologia descrita por Tedesco *et al.* (1995). Para determinar as características físicas e químicas de cada tratamento de Tecnoossos foram considerados os resultados obtidos em triplicata e transcrita a média.

Figura 10 - Amostragem de Tecnoossos e respectivos equipamentos utilizados,



Fonte: acervo pessoal do autor.

3.4. Medições do crescimento vegetal

As análises quanti e qualitativas do crescimento vegetativo foram feitas pela medição da altura no ramo principal, em períodos de 45 dias. Após 223 dias de cultivo, as plantas foram colhidas por meio de uma poda drástica e suas respectivas biomassas dos ramos apicais e basais, contendo folhas e flores, medidas.

Figura 11 - Imagens do experimento de *L. dentata* em Tecnossolo de rejeito de carvão mineral,



Fonte: acervo pessoal do autor.

3.5. Análise do tecido vegetal

Para analisar o tecido vegetal, as biomassas vegetais foram secas em forno a temperatura de $60^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, até que não apresentassem mais umidade e suas massas secas foram pesadas. As amostras secas foram submetidas a análises de micro e macronutrientes. As análises foram realizadas no Laboratório de Fisiologia e Nutrição Vegetal da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri), vinculada à Secretaria da Agricultura e da Pesca do Estado do Governo do

Estado de Santa Catarina. Para determinar as características do tecido vegetal de cada tratamento de Tecnosolos foram considerados os resultados obtidos em triplicata e transcrita a média. Foram analisadas as concentrações de macro e micronutrientes conforme recomendado pela EMBRAPA (Carmo *et al.*, 2000).

3.6. Produção e características do óleo essencial

A extração dos óleos essenciais foi realizada na Universidade do Vale do Taquari (Univates) e realizada conforme metodologia apresentada na Farmacopeia Brasileira (Brasil, 2010), com algumas modificações. Os materiais vegetais secos foram selecionados e triturados em liquidificador industrial, e, após, os óleos foram obtidos a partir de uma hidrodestilação realizada em um aparelho de Clevenger modificado – acréscimo de mais um condensador - (Figura 13). Realizou-se 1 extração de cada amostra por um período de 3,5 horas cada. Após, as amostras foram removidas por gravidade e, com auxílio do sulfato de sódio anidro (Synth®), a água residual foi removida. Os OEs foram guardados em frascos âmbar sob refrigeração (aproximadamente 6 °C).

Figura 12 - Extração do óleo essencial de *Lavandula dentata*,



Fonte: acervo pessoal do autor.

Figura 13 - Aparelho de Clevenger modificado, utilizado para a extração do óleo essencial.



Fonte: retirado de Buhl (2020).

O rendimento dos OEs foi representado em porcentagem (%), onde a quantidade total das folhas utilizadas na extração representou 100% e foi calculado por meio da equação:

$$R = \frac{(mfc - mfv) \cdot 100}{mt}$$

Onde:

R = rendimento (%);

mfc = massa frasco com amostra (g);

mfv = massa frasco vazio (g);

mt = massa das folhas (g).

3.6.1. Determinação dos constituintes químicos

A identificação dos constituintes químicos presentes nos OEs foi realizada utilizando-se um cromatógrafo a gás, com gradiente de temperatura, acoplado a detector de massas (Figura 14). A análise foi realizada na Central Instrumental do Centro Tecnológico de Pesquisa e Produção de Alimentos – CTPPA – da Univates.

Figura 14 - Cromatógrafo gasoso acoplado ao detector de massas utilizado para determinação dos componentes de óleos essenciais.



Fonte: retirado de Buhl (2020).

Alíquotas de 1,5 μL dos OEs foram solubilizados em 1,5 mL de n-hexano (Merck) bidestilado e injetados em um cromatógrafo a gás (modelo GC2010 Plus, Shimadzu) acoplado a um detector de massas (modelo GCMS-QP2110 Ultra, Shimadzu), operado a 70 eV, em coluna capilar de sílica fundida (Rtx[®], 5MS - 30 m x 0,25 mm x 0,25 μm). Como gás de arraste foi empregado o hélio.

A injeção das amostras foi da ordem de 1 μL , utilizando autoinjeter (AOC-5000 Plus, Shimadzu). Para a análise foram empregadas as seguintes condições: temperatura do injetor: 240 °C; modo de injeção: razão de split 1:20 com purga de 3,0 mL.min⁻¹; controle de fluxo de gás: velocidade linear; fluxo de gás de arraste: 1,0 mL.min⁻¹; programa: 50 °C-290 °C (4 °C.min⁻¹); temperatura da interface do espectrômetro de massas: 280 °C, temperatura da fonte de íons: 260 °C (KAUFFMANN, 2017). Os constituintes foram identificados utilizando-se o índice de Kovats e comparação com os espectros de massas encontrados na literatura (ADAMS, 2009).

3.6.2. Índice de retenção de Kovats

O índice de Kovats (KI) é importante na técnica de cromatografia, pois padroniza os valores do tempo de retenção para cada substância, sendo este último dependente do tempo de uso da coluna e dos eluentes utilizados. Este índice de

retenção fornece informação sobre a sequência de eluição do composto e serve para identificá-los (ADAMS, 2009).

Para o cálculo do índice de retenção de Kovats (I_r) foi utilizada uma mistura de padrões de alcanos não ramificados (C7 a C30- 49451-U, Sigma-Aldrich). Esta amostra foi diluída em n-hexano e analisada. Os índices de retenção de Kovats dos compostos foram obtidos de acordo com a equação abaixo (VAN DEN DOOL e KRATZ, 1963):

$$I_r = 100a + (b-a) \frac{t_{ri} - t_{ra}}{t_{rb} - t_{ra}}$$

Onde:

I_r = índice de retenção i;

a = número de carbonos do alcano que elui *antes* de i;

b = número de carbonos do alcano que elui *depois* de i;

t_{ri} = tempo de retenção de i;

t_{ra} = tempo de retenção do alcano que elui *antes* de i;

t_{rb} = tempo de retenção do alcano que elui *depois* de i.

3.7. Determinação CHNS e COT

Com o intuito de estudar o potencial de sequestro de carbono nos Tecnosolos bem como o teor de nitrogênio e enxofre, foram analisados os valores totais de carbono (C), hidrogênio (H), nitrogênio (N) e enxofre (S) nos grupos amostrais 1, 3, 5 e 7. A análise elementar de CHNS foi realizada por via instrumental no equipamento “FlashSmart™ Elemental Analyzer da Thermo Fischer Scientific”. O teor de carbono orgânico total (COT) foi determinado pelo método ISO 10694 (1995). As análises foram realizadas pelo Instituto do Petróleo e dos Recursos Naturais (IPR) da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS).

3.8. Tratamento estatístico dos dados

Os resultados do crescimento vegetal e das extrações de óleo essencial foram expressos como porcentagem média ± desvio-padrão. O tratamento estatístico dos

dados, em termos de média e desvio padrão, foi efetuado através do software OFFICE EXCEL®.

A significância das diferenças entre o crescimento vegetal e dos rendimentos das amostras foi avaliada utilizando Análise de Variância (ANOVA, de fator único). Para esta última análise foi empregado o software OFFICE EXCEL®, considerando valores de $\alpha \leq 0,05$ como diferença significativa.

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos nas análises dos Tecnosolos, das medições do crescimento vegetal, do tecido vegetal, da produção e características do óleo essencial de *Lavandula dentata*, e do CNHS e COT dos Tecnosolos. E, por fim, no final deste capítulo, faz-se uma discussão sobre os benefícios ambientais e socioeconômicos do cultivo da lavanda em Tecnosolos de carvão mineral.

4.1. Análises do solo

Desde o seu preparo inicial, o solo manteve-se, de modo geral, em condições adequadas para o crescimento vegetal. O pH mantinha-se em uma faixa adequada para o crescimento vegetal - entre pH 5,7 e 6,5 – e os valores de micro e macronutrientes dentro de valores adequados. Contudo, durante o plantio da Teff, observou-se uma carência de K (OLIVEIRA, 2021). Para corrigir essa deficiência, a adubação química foi realizada com NPK 10:10:10 três meses antes do plantio da Lavanda e o solo foi novamente analisado.

Nesta análise, o pH mostrou-se um pouco abaixo da faixa ideal (pH entre 6,0 e 6,5), mostrando uma tendência de redução ao longo do tempo. Segundo SBCS (2004), o pH ideal deve estar na faixa entre 6,0 e 6,5 para que ocorra a melhor absorção dos nutrientes pela planta para a maioria das culturas comerciais. Dentre os tratamentos, todos ficaram fora desta faixa. Já Wietholter (2000) considera a faixa de 5,5 a 6,0 como sendo a ideal e, neste caso, apenas os Tratamentos 1 e 7 estariam enquadrados. Contudo, em vias gerais, o pH dos substratos está em torno dos valores aceitos na literatura bem como os teores de macronutrientes. A concentração de M.O., em todas as situações, está compatível com a de um solo agricultável. As concentrações de N, P, Ca e Mg estão adequadas para o todas as condições. Exceção continuou sendo o teor de K, que de modo geral, mostrou-se deficiente em alguns dos Tecnosolos elaborados - especialmente os que não possuem solo agrícola. Esse fato está associado ao fato do K ser facilmente lixiviável já que é um cátion +1. Segundo a SBCS (2004), valores de referência que garantem um bom desenvolvimento da vegetação são de 2,6 – 5,0% de M.O., 42 mg/dm³ para o fósforo, de 60 mg/dm³ (considerando uma CTC na faixa de 5 a 15 cmolc dm⁻³) para o K, Ca

> 4,0 cmol/dm³, e 1,0 cmol/dm³ de Mg. Os valores de CTC podem ser considerados médios e os teores de alumínio foram nulos ou muito baixos em todos os tratamentos.

Tabela 6 - Valores médios da análise de pH, carbono orgânico, macronutrientes e capacidade de troca catiônica nos diferentes tipos de Tecossolos. Intervalos dos valores de referência (Ref.) para análise de fertilidade de acordo com SBCS (2004).

Grupo	pH (1:1)	% M.O. (m/v)	N (%)	P	K	Al	Ca	Mg	CTC
				(mg/dm ³)					
1	5.6	3.5	0.42	220.4	26.7	0.0	6.9	1.9	11.39
2	5.4	4.2	0.49	252.6	44.0	0.1	5.3	2.2	10.47
3	5.2	3.3	0.54	224.1	50.7	0.3	5.9	2.1	11.97
4	5.4	4.4	0.51	201.8	122.7	0.2	9.6	2.6	16.20
5	5.3	3.0	0.56	162.0	128.0	0.3	11.3	2.9	18.63
6	5.0	3.9	0.61	159.4	86.7	1.0	8.7	3.3	17.71
7	5.5	2.0	0.16	111.8	308.0	0.1	15.0	3.0	23.14
Ref.	6.1	3.5	0.42	146.0	17.2	-	3.1	2.7	7.20

Fonte: elaborado pelo autor.

A Tabela 7 apresenta os resultados obtidos para concentração de micronutrientes. Foram avaliadas as concentrações de Cu, Zn, Mn e Fe. De acordo com os valores de referência sugeridos por SCBS (2004), os valores são considerados altos para todos os micronutrientes, oferecendo as condições necessárias para o desenvolvimento de vegetação. Segundo a SBCS (2004), valores de referência de micronutrientes que garantem um bom desenvolvimento da vegetação são: Cu = 0,2 – 0,4 (mg/dm³); Zn = 0,2 – 0,5 (mg/dm³); Mn = 2,5 – 5,0 (mg/dm³); e Fe = >5,0 (g/dm³).

Tabela 7 - Valores médios da análise de química de micronutrientes nos diferentes Tecossolos. Intervalos dos valores de referência (Ref.) para análise de fertilidade de acordo com SBCS (2004).

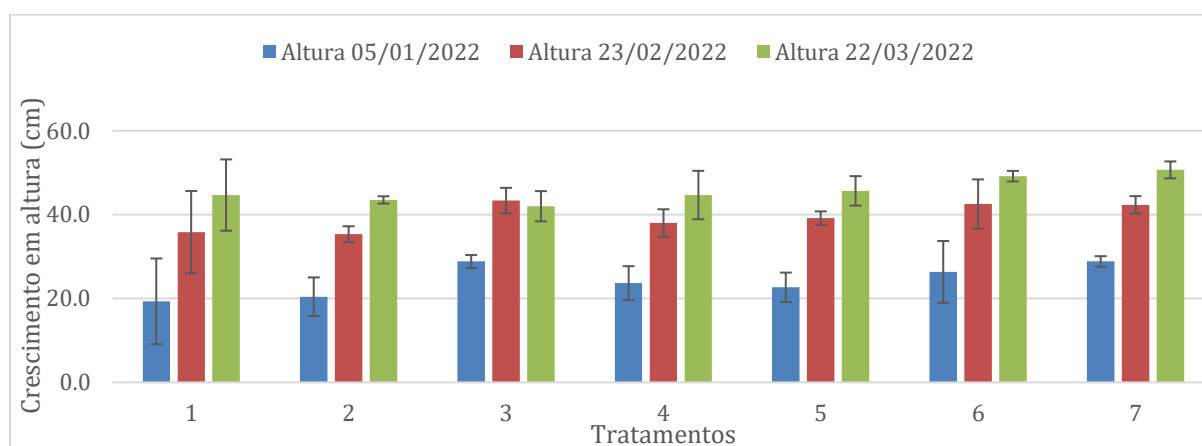
Grupo	Cu	Zn	Mn	Fe
	(mg/dm ³)			
1	13.67	36.47	16.13	>5.0
2	13.40	35.93	21.33	>5.0
3	13.00	36.17	28.43	>5.0
4	7.90	32.80	44.80	>5.0
5	6.37	31.30	>50	>5.0
6	8.13	31.20	>50	>5.0
7	3.47	24.50	>50	>5.0
Ref.	9.5	25.6	4.6	>5.0

Fonte: elaborado pelo autor.

4.2. Crescimento vegetal

Os resultados do crescimento vegetal podem ser observados na Figura 15, que apresenta um gráfico comparando as alturas após períodos de 45, 90 e 135 dias. Os melhores resultados em termos de altura média de vegetação, pelo menos no período inicial (45 dias), ocorreram nos Tratamento 3, 6 e 7. Os outros tratamentos apresentaram resultados médios semelhantes, porém com um desvio padrão elevado. Repara-se, no entanto, que todas as condições, levando mais ou menos tempo, aproximam-se da condição de controle ditada pelo tratamento 7 – solo agrícola.

Figura 15 - Resultados de crescimento vegetal de *L. dentata* nas diferentes configurações de Tecnossolos.



Fonte: elaborado pelo autor.

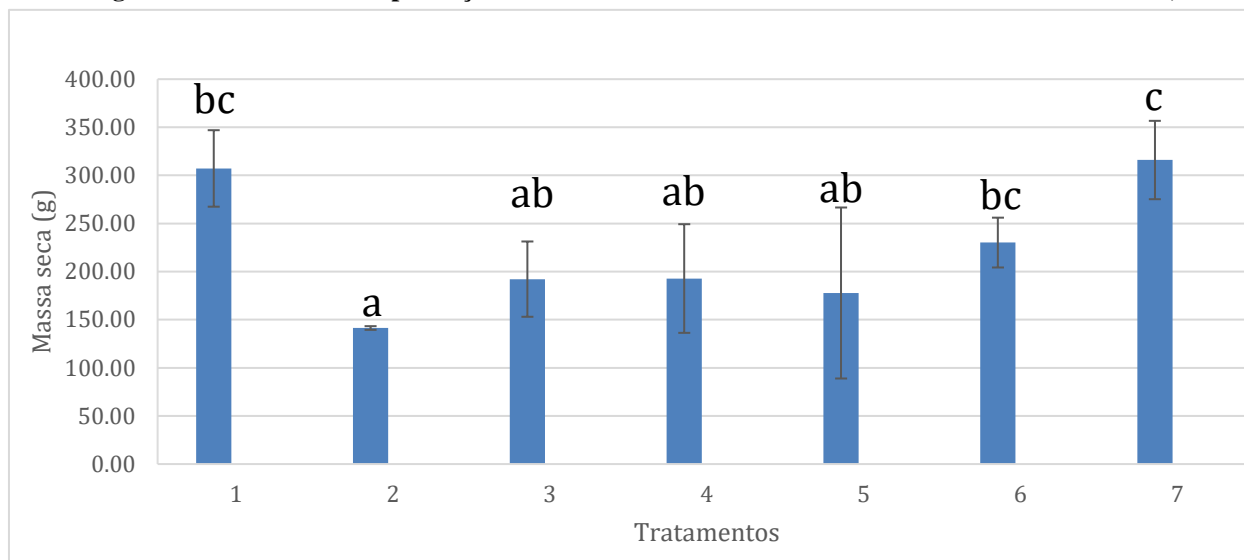
Após 223 dias de cultivo, as plantas foram colhidas por meio de uma poda drástica e suas respectivas biomassas – dos ramos apicais e basais, contendo folhas e flores - foram pesadas. Os valores da biomassa vegetal aérea podem ser visualizados na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e na Figura 16.

Tabela 8 - Valores médios da biomassa aérea nas diferentes configurações de Tecnossolos,

Tratamento	Média de biomassa aérea (g)	Desvio Padrão
1	307,22	39,75
2	141,39	1,92
3	192,20	39,13
4	192,82	56,47
5	177,78	88,86
6	230,20	25,89
7	315,98	40,73

Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 16 – Resultados da produção de biomassa aérea de *L. dentata* nos diferentes Tecnosolos,



Fonte: elaborado pelo autor.

Para os cálculos de produção de biomassa aérea, foram utilizadas triplicatas, e a significância analisada pelo método ANOVA, de fator único ($\alpha \leq 0,05$). Os resultados da produção de biomassa aérea de *L. dentata* nos diferentes Tecnosolos apresentaram diferenças estatisticamente significativas. As letras associadas a cada tratamento indicam a comparação entre as médias, sendo que diferentes letras indicam diferenças significativas entre as médias dos Tecnosolos. O tratamento com a letra "a" apresentou as menores produções de biomassa, indicando que esses Tecnosolos foram os menos favoráveis para o desenvolvimento de *L. dentata*. Já os tratamentos com as letras "ab" e "bc" mostraram produções intermediárias de biomassa, sugerindo que esses Tecnosolos favorecem o crescimento da planta, mas de forma não tão expressiva quanto os que apresentaram as maiores produções. Por fim, os Tecnosolos classificados com as letras "bc" e "c" apresentaram as maiores produções de biomassa, indicando que estas configurações favorecem o crescimento da planta, em relação aos outros tratamentos.

Portanto, pode-se concluir que o rejeito grosso atrapalha o crescimento vegetal da *L. dentata*. Os grupos amostrais que se destacaram na produção de biomassa vegetal foram o 1 e o 7, demonstrando que, não necessariamente, o crescimento de altura está relacionado com uma maior produção de biomassa vegetal. Em especial, o tratamento 1, onde se utilizou apenas rejeito fino e lodo, ocorreu uma produção de Lavanda semelhante ao do solo agrícola - essa é uma condição que não exige o

comissionamento de áreas naturais (“solo de empréstimo”) para recuperar áreas degradadas.

4.3. Análises do tecido vegetal

Os resultados da análise de tecido vegetal da vegetação da *Lavandula dentata* para cada um dos tratamentos de Tecnosolo estão listados na Tabela 9. Para fins de comparação, foram utilizados dados de Raij (1996).

Tabela 9 - Resultados da análise de tecido vegetal da *Lavandula dentata*. Valores de referência (Ref.) segundo Raij (1996).

Tratamento	Macronutrientes (g kg ⁻¹)					Micronutrientes (mg kg ⁻¹)				
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B
1	18.2	2.93	13.68	16.11	2.72	93.45	105.49	92.11	9.52	22.31
2	14.7	2.61	14.72	13.66	2.79	113.1	303.51	125.53	8.46	21.52
3	17.73	2.57	14.53	16.37	3.09	128.83	255.98	117.71	9.87	21.52
4	17.97	2.81	18.35	15.44	2.53	119.33	247.15	95.14	9.88	19.95
5	17.73	2.68	15.12	15.32	2.35	103.02	238.74	83.34	11.39	20.51
6	15.4	2.62	17.17	15.39	2.52	107.13	264.59	96.08	11.8	24.67
7	16.8	2.28	22.95	13.54	1.6	112.38	125.34	42.34	7.23	22.76
Ref.	12 - 26	1 - 3	12 - 30	2 - 8	1.5 - 5	50 - 250	20 - 300	10 - 100	4 - 20	5 - 30

Fonte: elaborado pelo autor.

De modo geral, a concentração de macro e micronutrientes no tecido vegetal da Lavanda está dentro ou acima da faixa padrão estabelecida por Raij (1996). Considerando que foi utilizado lodo de ETE em todos os tratamentos, um aditivo com um alto teor de matéria orgânica, o resultado não surpreende e repete o comportamento observado por Firpo (2015).

4.4. Rendimento e características do óleo essencial

O material vegetal utilizado para a extração dos OEs deste trabalho foi proveniente do cultivo em diferentes configurações de Tecnosolos de carvão mineral, na qual o tratamento 1 - que apresentou maior rendimento de óleo essencial - apresentou um rendimento de 0,76% ± 0,16; e o tratamento 5 – que apresentou menor rendimento de óleo essencial – apresentou rendimento de 0,32% ± 0,20. Para os cálculos de rendimento foram utilizadas triplicatas, e os rendimentos entre eles não apresentaram diferença significativa (ANOVA, de fator único, $\alpha \leq 0,05$). De modo

geral, os rendimentos estão dentro dos padrões da literatura. Todavia, o Tratamento 1 apresentou rendimento superior ao controle e aos rendimentos médios da literatura.

Tabela 10 - Valores de rendimento e produtividade,

Tratamento	Média massa seca (g)	Massa O.E. (g)	Rendimento (%)	Desvio Padrão
1	81,09	0,62	0,76	0,16
2	34,55	0,52	0,68	0,02
3	55,67	0,54	0,56	0,07
4	50,85	0,23	0,35	0,31
5	53,90	0,22	0,32	0,20
6	56,09	0,26	0,70	0,10
7	85,17	0,54	0,63	0,19

Fonte: elaborado pelo autor.

Foram identificados entre 96,93% e 99,67% dos constituintes químicos presentes nos óleos essenciais de *L. dentata*, nas diferentes configurações de Tecnosolo (Tabela 11, APÊNDICE I). Em ambos os OEs o componente majoritário foi o 1,8-Cineol, em torno de 20-25%. Outros componentes majoritários (concentração próxima ou maior que 5%) identificados no OEs foram Fenchona (~15%), endo-Fenhol (~10%) e Cânfora (~17%). Os OEs de *L. dentata*, das diferentes configurações de tratamento, apresentaram em maiores concentrações monoterpenos oxigenados, em torno de 65%; seguidos de monoterpenos hidrocarbonetos, em torno de 22%; seguidos de sesquiterpenos oxigenados (~8%); sesquiterpenos hidrocarbonetos (~2%); e outros compostos oxigenados (~0,5%).

Tabela 11 - Valores Médios dos compostos majoritários da caracterização dos O.E. de *Lavandula dentata*,

Compound	Composto	IK calc.	IK Adams*	Tratamento (%)						
				1	2	3	4	5	6	7
1,8-Cineole	1,8-Cineol	1033	1033	21,67	26,23	27,36	20,69	22,10	24,80	24,94
Fenchone	Fenchona	1091	1086	14,05	16,24	16,37	14,05	15,64	15,79	15,2
endo-Fenhol	endo-Fenhol	1116	1116	9,21	9,49	9,73	9,78	10,01	8,39	8,18
Camphor	Cânfora	1147	1146	16,12	18,95	18,51	16,34	18,72	18,05	16,99

Fonte: elaborado pelo autor.

Os componentes majoritários do óleo essencial de *L. dentata* cultivadas nas diferentes configurações de Tecnosolo, não apresentaram variações consideráveis, quando comparada com o branco (solo agrícola). Os componentes encontrados nos OE da *L. dentata* cultivada nos Tecnosolos apresentaram componentes muito semelhantes aos da literatura.

4.5. Determinação CHNS e COT

A Tabela 12 apresenta os valores de CHNS bem como do COT nos substratos 1, 3, 5 e 7. Analisando o teor de carbono, é bastante evidente que os Tecnosolos apresentam um teor consideravelmente maior do que o solo agrícola, o que evidentemente é decorrente da presença de matéria carbonácea do carvão mineral. O solo é um importante compartimento de armazenamento de carbono no planeta, tendo sido alvo de estudos como uma importante estratégia de captura de carbono – “*climate-smart soils*” - e Tecnosolos e solos com o uso de aditivos orgânicos indicado como uma das possibilidades de redução dos gases de efeito estufa (Paustian *et al.*, 2016).

A partir da diferença entre o % C e o % de COT, tem se uma estimativa da quantidade de carbono inorgânico. Esse valor variou de 5 a 25% sobre o total de carbono, devendo-se principalmente a presença de calcita no rejeito de carvão (vide análises de DRX na Tabela 4). Os valores de N total, quando analisados em comparação aos valores de N disponível para as plantas (Tabela 6), indicam que uma substancial fração ainda está associada a matriz orgânica do carvão com potencial de ser disponibilizado para as plantas no transcorrer do tempo. Os valores de enxofre total estão abaixo dos medidos por Weiler *et al.* (2020) nos rejeitos grossos e finos do carvão de Moatize (da ordem de 1% no rejeito original), mostrando que tenha sido perdido por lixiviação, e/ou pela sucessão de culturas vegetais incorporando parte desse elemento em sua biomassa.

Tabela 12 - Valores médios de CHNS e COT,

Tratamento	% C	% H	% N	% S	% COT (TOC)
1	42,07	5,90	0,95	0,48	35,71
3	31,17	2,24	0,93	0,36	30,09
5	25,12	1,86	0,64	0,20	19,01
7	2,07	1,40	0,21	<LQ:0,01%	1,71

Fonte: elaborado pelo autor.

4.5. Benefícios ambientais e socioeconômicos do crescimento da Lavanda em área da mineração em recuperação

Durante o processo de cultivo da *Lavandula dentata* foram observados diversos ganhos ambientais. Desde um excelente desenvolvimento radicular, o que

auxilia no controle de erosão; o aparecimento de actinomicetos – bactérias responsáveis pela degradação de substâncias de difícil decomposição, o que auxilia no processo de formação de solos; insetos polinizadores (e.g., abelhas, borboletas, moscas) – o que acarreta no aumento da biodiversidade, além de favorecer a complexificação das cadeias tróficas.

Dado que as características do óleo essencial de *L. dentata* cultivada nas diferentes configurações de Tecnosolo, não apresentou variação considerável, quando comparada com o branco (solo agrícola), fica notório a viabilidade comercial destes produtos. Levando-se em consideração a produtividade de massa seca média para um hectare (14,7 t), o rendimento médio (0,56%) e o preço do óleo essencial no varejo (R\$135/kg), a rentabilidade do óleo essencial de *Lavandula dentata* cultivada em Tecnosolos de carvão mineral foi de R\$10.690,00/hectare/safra – sendo esta a primeira colheita, normalmente inferior às demais, de acordo com a literatura. Sendo possível até duas safras por ano, o que resulta no aumento do potencial de geração de ganho socioeconômico. Em suma, por ter um bom rendimento de óleo essencial e características interessantes para a indústria, essa espécie pode agregar benefícios socioeconômicos no processo de restauração.

Sendo assim, a *L. dentata* pode ser uma estratégia bastante interessante para ser utilizada como técnica de nucleação, servindo como uma espécie facilitadora e consequente “gatilho ecológico”. Este gatilho poderá controlar a erosão, desencadear processos, rotas sucessionais, retomar funções que se ausentaram com a degradação, maximizar a retomada da resiliência local e da paisagem, acelerar a sucessão natural, além de auxiliar na restauração com benefícios sociais, possibilitando o fortalecimento do território através do cultivo consorciada com outras espécies, sendo uma alternativa de aumentar as possibilidade de geração de renda, o que vem a ser uma alternativa viável para o processo de transição justa.

Portanto, a *L. dentata* poderá ser empregada em um estágio inicial para a criação de um neocossistema – “conjuntos de espécies que não evoluíram juntas, mas que interagem e proporcionam processos ecológicos semelhantes aos dos ecossistemas naturais” (HOBBS, 2009). E se for cultivada em consórcio com outras plantas, esta diversidade de produção apresenta várias vantagens quando comparada à monocultura, como: auxílio ao aumento de matéria orgânica no solo;

redução da toxicidade de várias substâncias no solo; diversificação dos sistemas radiculares com diferentes características e profundidades; melhora na porosidade e estrutura do solo; ainda maior redução em processos erosivos; reciclagem de nutrientes; melhora propriedades físicas do solo; estratégico como manejo ecológico de pragas, doenças e ervas daninhas; diminuição de doenças problemas; mitigação das emissões e maior sequestro de gases de efeito estufa; aumento da capacidade de armazenar carbono; redução da poluição da água; auxílio no equilíbrio do pH do solo; redução na compactação do solo; diversificação de microrganismos promotores de crescimento de plantas.

Figura 17 – Benefícios ambientais do cultivo de *L. dentata* em Tecnosolo de carvão mineral. (a) sistema radicular promovendo o controle da erosão, (b) desenvolvimento de microbiota e (c) presença de insetos polinizadores.



Fonte: acervo pessoal do autor.

5. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, pode-se chegar as seguintes conclusões:

De modo geral, todas as configurações de Tecnosolos demonstraram-se adequadas. Em vias gerais, o pH dos tratamentos está em torno dos valores aceitos na literatura bem como os teores de matéria orgânica, macronutrientes e micronutrientes. Exceção foi o teor de K, que se mostrou deficiente nos substratos sem solo agrícola.

Todas as configurações de Tecnosolos mostraram êxito para o crescimento da espécie *L. dentata*. O tratamento 1 que utiliza apenas rejeito fino e lodo, apresentou desempenho muito próximo ao solo agrícola na produção de biomassa aérea de *L. dentata*. Porém, configurações que levam em conta o rejeito grosso, podem trazer benefícios adicionais no controle da erosão. Substratos que não incluem solo agrícola em sua composição apresentam a vantagem de não exigirem o comissionamento de áreas naturais (“solo de empréstimo”) para recuperar áreas degradadas pela mineração.

Em vias gerais, o tecido vegetal da *L. dentata*, em todos os substratos estudados, apresentou qualidade semelhante ao controle, com composição da biomassa dentro da faixa padrão estabelecida pela bibliografia.

Com o uso da *L. dentata*, minimiza-se o risco de contaminação da cadeia alimentar, pois seu uso é predominantemente como insumo aromático. Em relação às características do óleo essencial de *L. dentata* cultivada nas diferentes configurações de Tecnosolo, não foram encontradas variações consideráveis, tanto entre elas como quando comparada com o solo agrícola. O rendimento médio de óleo essencial obtido neste trabalho foi de 0,56%, não diferindo das culturas comerciais. O cultivo dessa espécie pode agregar benefícios socioeconômicos no processo de restauração com um potencial de gerar uma rentabilidade de, pelo menos, R\$10.690,00/hectare/ano.

As configurações de Tecnosolos avaliadas no presente trabalho apresentaram valores muito maiores de carbono que solo agrícola, com fatores de 10 a 20 superiores, mostrando potencial como uma estratégia de captura de carbono.

Em suma, os Tecnosolos com rejeito de carvão mineral aparecem como uma alternativa, não apenas para dar um destino adequado aos rejeitos, mas também para criar um novo solo, permitindo a revegetação e a recuperação de cavas exauridas ou abandonadas. Os resultados obtidos confirmam a viabilidade do uso de rejeito de carvão mineral da mina Moatize na elaboração de Tecnosolos, que já se mostrou adequado para o cultivo alfafa, milho, teff e agora lavanda. O cultivo de *L. dentata* nos Tecnosolos de carvão mineral demonstrou uma alternativa bastante interessante para agregar benefícios socioeconômicos no processo de restauração, podendo servir como um “gatilho ecológico”.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Este estudo forneceu um caminho economicamente viável e regenerativo, servindo como subsídio para reabilitar e restaurar passivos ambientais da mineração de carvão, criando oportunidades para o uso futuro de áreas mineradas. Uma perspectiva que possibilita não apenas criar condições seguras, estáveis e não poluentes após a mineração, mas, também, implementar restauração ecológica de alto impacto com benefícios tanto para as pessoas quanto para a natureza. Ou seja, a mineração de carvão pode fomentar a bioeconomia, através da produção de distintos produtos durante o processo de restauração ecológica - conciliando conservação, restauração e produção.

Como principal sugestão está a aplicação do experimento *in loco*, em uma situação real, a fim de validar as pesquisas e de aumentar o nível de maturidade (em inglês, *Technology Readiness Level*). Para tanto, é de extrema importância incluir indicadores ecológicos, como composição vegetação (riqueza de nativas regionais, de não regionais e exóticas, de espécies zoocóricas e pioneiras; diversidade e índice de equabilidade) e estrutura da vegetação (cobertura de dossel, densidade total de indivíduos, densidade de indivíduos com altura $0,5 \leq H < 1$ m, densidade de indivíduos com altura > 1 m, altura total da restauração, número de estratos, área basal e cobertura de gramíneas).

Ainda, para dar escala à restauração, são necessárias ações participativas, envolvendo distintos atores. Isto pode corroborar para uma melhor reputação da indústria mineral, gerando maior credibilidade com a sociedade e, assim, gerar e manter “Licenças Sociais para Operar” e contribuindo para o processo de Transição Justa.

Apesar da *Lavandula dentata* apresentar excelentes resultados como uma espécie aromática fitorremediadora, poucos estudos dão ênfase nas espécies autóctones da sociobiodiversidade. Existe um grande potencial, ainda inexplorado, tanto na perspectiva destas espécies como gatilho ecológico como em relação às suas propriedades aromáticas e medicinais. Portanto, estudos futuros devem focar na sociobiodiversidade, no seu potencial fitorremediador e em suas propriedades químicas. Estudos também devem focar no potencial de inoculação de microrganismos simbióticos (e.g. fungos micorrízicos arbusculares), a fim de

aumentar o crescimento vegetal e a produção de óleos essenciais. Recomenda-se também estudos sobre o sequestro e estoque de carbono, e valoração e precificação dos serviços ambientais associados à restauração ecológica de áreas mineradas.

7. REFERÊNCIAS

- Adams, Robert P. Identification of Essential Oil Components by Gas Chromatography/Quadrupole Mass Spectroscopy. Allured Publishing Corporation, Illinois, 456 p. 2009.
- Angelova, V.A., Grekov, D.F., Kisyov, V.K., Ivanov, K.I., 2015. Potential of lavender (*Lavandula vera* L.) for phytoremediation of soils contaminated with heavy metals. *Int. J. Biol. Biomol. Agric. Food Biotechnol. Eng.* 9 (5), 522-529.
- Aristizabal-H, G.; Goerke-Mallet, P.; Kretschmann, J.; Restrepo-Baena, O. J. Sustainability of coal mining. Is Germany a post-mining model for Colombia?, *Resources Policy*, Volume 81, 2023, 103358, ISSN 0301-4207, <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103358>.
- Badano, E. I., Bustamante, R. O., Villarroel, E., Marquet, P. A., e Cavieres, L. A. (2015). Facilitation by nurse plants regulates community invasibility in harsh environments. *Journal of Vegetation Science*, 26, 756–767. <https://doi.org/10.1111/jvs.12274>
- Básilio, L. S. P. Lavanda: lavoura colorida, perfumada e rentável. *Campo & Negócios Online*. 2022. Disponível em: <https://revistacampoenegocios.com.br/lavanda-lavoura-colorida-perfumada-e-rentavel/> acesso em maio de 2023.
- Benzaazoua, M.; Bussi ere, B.; Demers, I.; Aubertin, M.; Fried, E.; Blier, A. Integrated mine tailings management by combining environmental desulphurization and cemented paste backfill: Application to mine Doyon, Quebec, Canada. *Minerals Engineering*, v. 21, p.330–340, 2008.
- Bertoldi, G. M.; Beber, S. C.; Fell, A. P. W.; Mélo, V. F. De; Müller, B. T.; Colet, C. F. RENDIMENTO DO ÓLEO ESSENCIAL DAS INFLORESCÊNCIAS DE *Lavandula dentata* L. INFLUENCIADOS POR DIFERENTES AGENTES ESTRESSORES. *Salão do Conhecimento*, [S. l.], v. 8, n. 8, 2022. Disponível em: <https://publicacoeseventos.unijui.edu.br/index.php/salaconhecimento/article/view/22455>. Acesso em: 18 de maio. 2023.
- Bian, Z.; Dong, J.; Lei, S.; Leng, H.; Mu, S.; Wang, H. The impact of disposal and treatment of coal mining wastes on environment and farmland. *Environmental Geology*, v. 58, n.3, p.625–634, 2009.
- Boutilier, R. G., e Thomson, I. (2011). Modelling and measuring the social license to operate: fruits of a dialogue between theory and practice. *Social Licence*, 1779-96.
- BRASIL, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Formulário Nacional da Farmacopeia Brasileira. 5  edic o. Brasília: Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2010.
- BRASIL - Ministério de Minas e Energia (MME). Publicado em 19/02/2021. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/financas-impostos-e-gestao-publica/2021/02/desempenho-do-setor-mineral-em-2020-supera-expectativas>.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Planaveg: Plano Nacional de Recupera o da Vegeta o Nativa / Ministério do Meio Ambiente, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Ministério da Educa o. – Brasília, DF: MMA, 2017. 73 p. ISBN: 978-85-7738-336-8. Disponível em: https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/servicosambientais/ecossistemas-1/conservacao-1/politica-nacional-de-recuperacao-da-vegetacao-nativa/planaveg_plano_nacional_recuperacao_vegetacao_nativa.pdf
- Boelens, M.H. Chemical and sensory evaluation of *Lavandula* Oils. *Perfum. Flavor*. 20, 23-25, 1995
- Buhl, B. ÓLEOS ESSENCIAIS DE *Psidium salutare* COMO POTENCIAL TRATAMENTO PARA VAGINITE INFECCIOSA CAUSADA POR *Candida albicans* e *Streptococcus*

agalactiae. Dissertação de Mestrado - Universidade do Vale do Taquari – Univates, 2020. 80 p.

Carmo, C.A.F.S.; Araújo, W.S.; Bernardi, A.C.C.; Sladanha, M.F. Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos. EMBRAPA Solos, 2000. 41 p. Circular técnica, 6.

CCSI, SDSN, UNDP, WEF (2016) Mapping mining to the sustainable development goals: an atlas. Columbia Centre on Sustainable Investment, Sustainable Development Solutions Network, United Nations Development Program and World Economic Forum, Geneva, Switzerland

César, R.G., Belei, L., Badari, C.G., Viani, R.A.G., Gutierrez, V., Chazdon, R.L., Brancalion, P.H.S., Morsello, C. (2021). Forest and Landscape Restoration: A Review Emphasizing Principles, Concepts, and Practices. *Land* 10, 28. <https://doi.org/10.3390/land10010028>

Chaves, A. P. Os problemas do carvão em geral e do carvão brasileiro em particular. Carvão brasileiro: tecnologia e meio ambiente (2008).

Chikkatur, A.P.; Sagar, A.D.; Sankar, T.L. Sustainable development of the Indian coal sector. *Energy*, v.34, p.942-953, 2009.

Connell, J.H. e Slatyer, R.O. 1977. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. *American Naturalist* 111:1119-1144.

DIEESE - DEPARTAMENTO INTERSINDICAL DE ESTATÍSTICA E ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS; e WWF Brasil - World Wide Fund for Nature. Carvão Mineral: experiências internacionais na busca por uma transição energética justa para o setor carbonífero no Sul do Brasil. 2021.

Driussi, C.; Jansz, J. Technological options for waste minimization in the mining industry. *Journal of Cleaner Production*, v.14, n.8, p. 682-688, 2006.

Extractive Industries Transparency Initiative - EITI International Secretariat, 2019. The EITI Standard 2019. Disponível em: <https://eiti.org/collections/eiti-standard>.

FAO-ISSS-ISRIC. World reference base for soil resources. A framework for international classification correlation and communication. Roma, 2006. 127p.

Fell, A. P. W.; Tavares, D. S.; Dahmer, M. V. A.; Hermann, A. M.; Pletsch, M. U.; Colet, C. F. (2021). COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO ÓLEO ESSENCIAL DAS INFLORESCÊNCIAS DA LAVANDULA DENTATA L. *Salão Do Conhecimento*, 7(7). Recuperado de: <https://www.publicacoeseventos.unijui.edu.br/index.php/salaconhecimento/article/view/20820>

Firpo, B.A; Amaral Filho, J.R.; Schneider, I.A.H. A brief procedure to fabricate soils from coal mine wastes based on mineral processing, agricultural, and environmental concepts. *Minerals Engineering*, v.76, p.81 - 86, 2015.

Figueiredo, A. R.; De Moraes, L. A S. Composição química do óleo essencial de Lavandula dentata adaptada às condições climáticas do Brasil. In: SEMANA CIENTÍFICA JOHANNA DÖBEREINER, 19, 2019, Seropédica, RJ. Bioeconomia, diversidade e riqueza para o desenvolvimento sustentável. Caderno de resumos... Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2019.

Figueiredo, B.K. Caracterização química dos óleos essenciais de Lavandula angustifolia e Lavandula dentata, ensaios “in vitro” e aplicação em nanoemulsões. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade Estadual de São Paulo “Júlio de Mesquita Filho”. Araraquara/SP. 126p.2019.

Fonseca, A.; McAllister, M.L.; Fitzpatrick, P. 2013. Measuring what? A comparative anatomy of five mining sustainability frameworks. *Minerals Engineering* 46-47: 180-186.

Franco, C. A. A.; Sampaio, C. D. C.; e Almeida, M. R. R. (2020). LICENÇA SOCIAL PARA OPERAR E IMPACTOS AMBIENTAIS: UMA REVISÃO DE LITERATURA. *Revista De Gestão Social E Ambiental*, 13(3), 60–78. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v13i3.2069>

Franks, D. *Mountain Movers: Mining, sustainability and the agents of change*. 2015. Routledge, Abingdon, 177 pp.

Gann GD, McDonald T, Walder B, Aronson J, Nelson CR, Jonson J, Hallett JG, Eisenberg C, Guariguata MR, Liu J, Hua F, Echeverria C, Gonzales, EK, Shaw N, Decler K, Dixon KW. 2019. International principles and standards for the practice of ecological restoration. Second edition. *Restoration Ecology* S1-S46

Griscom, B. W., Adams, J. e *et al.*, 2017. Natural climate solutions. *PNAS*, October, 114(44), pp. 11645-11650

Ghose, M.K. Promoting cleaner production in the Indian small-scale mining industry. *Journal of Cleaner Production*, v.11, p.167-174, 2003.

Halecki, W., Klatka, S. Application of soil productivity Index after Eight Years of soil reclamation with sewage sludge amendments. *Environmental Management* 67, 822–832 (2021).

Hesketh, A.H.; Broadhurst, J.L.; Harrison, S.T.L. Mitigating the generation of acid mine drainage from copper sulfide tailings impoundments in perpetuity: A case study for an integrated management strategy. *Minerals Engineering*, v.23, p.225–229, 2010.

Hilson, G. Defining “Cleaner Production” and “Pollution Prevention” in the mining context. *Minerals Engineering*, v.16, p.305-321, 2003.

Holl, K. D.; Zahawi, R. A.; Cole, R. J.; Ostertag, R.; Cordell, S. Planting seedlings in tree islands versus plantations as a large-scale tropical forest restoration strategy. *Restoration Ecology*, v. 19, p. 470-479. 2010.

IPCC, 2021: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

IRP (2019) Land restoration for achieving the sustainable development goals: an international resource panel think piece. In: Herrick JE, Abrahamse T, Abhilash PC, Ali SH, Alvarez-Torres P, Barau AS, et al. (eds) A think piece of the international resource panel. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya.

Islam, K.; Yokoi, R.; Motoshita, M.; Murakami, S. Ecological footprint accounting of mining areas and metal production of the world. *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 183, 2022, 106384, ISSN 0921-3449, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106384>.

ISO 10693:1995. Soil quality — Determination of carbonate content — Volumetric method.

IUSS Working Group WRB, 2014. World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps, *World Soil Resources Reports* No. 106.

Jain, R.K., Cui, Z., Domen, J.K., 2016, Environmental Impacts of Mining, in Ravi, K.J., Zengdi “Cindy”, C., Domen, J.K. (eds.), *Environmental Impact of Mining and Mineral Processing Management, Monitoring, and Auditing Strategies*: Oxford, Butterworth-Heinemann, 53-157.

Kauffmann, Carla; Ethur, Eduardo M.; Arossi, Kelen; Hoehne, Lucélia; Freitas, Elisete M.; Machado, Gézia M.C.; Cavaleiro, Marilene M.C.; Flach, Adriana, Costa, Luiz A.M.A.C; Gnoatto, Simone C.B. Chemical Composition and Evaluation Preliminary of Antileishmanial Activity in vitro of Essential Oil from Leaves of *Eugenia pitanga*, A Native Species of Southern of Brazil. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, v. 20, n.2, p. 559-569, 2017.

Kefeli, V.; Leininger, C.; Mastalski, S.; Pincin, K. Characteristics of fabricated soil for landscape rehabilitation: The four-crop test for biological activity. *Advances in Molecular Biology*, n.2, p.79-85, 2008.

Li, Y.; Cen, H.; Lin, T.Y.; Lin, Y.N.; Chiu, Y.H. Sustainable coal mine and coal land development in China, *Resources Policy*, Volume 79, 2022, 103092, ISSN 0301-4207, <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.103092>.

Longo, M. H. C. Serviços ecossistêmicos e a atividade minerária: um estudo de caso no Vale do Ribeira, SP. Dissertação de Mestrado – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2014.

Mardonova, M.; Han, Y.S. Environmental, hydrological, and social impacts of coal and nonmetal minerals mining operations. *Journal of Environmental Management*, Volume 332, 2023, 117387, ISSN 0301-4797, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117387>.

Martins, R.P. Caracterização química e avaliação da atividade antimicrobiana de óleos essenciais de *Lavandula dentata* L. Dissertação (Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica). Universidade Federal do Triângulo Mineiro. Uberaba/MG.75p.2018.

McLellan, B.C.; Corder, G.D.; Giurco, D.; Green, S. Incorporating sustainable development in the design of mineral processing operations – Review and analysis of current approaches. *Journal of Cleaner Production*, v.17, p.1414-1425, 2009.

Mendes, T. P., Montag, L. F. A., Michelan, T. S., Ferreira, G. C., Torres, N. R., Guterres, A. P., Fares, A. L., Calvão, L. B., Maia, C., Paiva, C. K. S., Barbosa, T. A. P., Santos, L. L., Begot, T. O., Andrade, A. L., Cardoso, M. N., & Juen, L. (2022). Recovery processes in areas affected by mining: a scientometric review. *Ciência E Natura*, 43, e53. <https://doi.org/10.5902/2179460X444045>

Miller, B.G. (Ed.), *Clean Coal Engineering Technology* (second ed.), Butterworth-Heinemann, New York (2017), pp. 3-60, 10.1016/b978-0-12-811365-3.00001-6

MMSD, Mining, Minerals and Sustainable Development. 2002. *Breaking New Ground*. International Institute for Environment and Development/World Business Council for Sustainable Development. Earthscan, London, 441 pp.

Moffat, K., & Zhang, A. (2014). The paths to social licence to operate: an integrative model explaining community acceptance of mining. *Resources Policy*, 39(1), 61–70.

Oliveira, E.K. Estudo de crescimento vegetal de *Eragrostis tef* em tecnossolos com rejeitos de carvão mineral da Mina de Moatize, Moçambique. Trabalho de conclusão de Curso de Engenharia Ambiental, UFRGS, 2021.

Pandey, V., C.; Pandey, D. N.; Singh, N. Sustainable phytoremediation based on naturally colonizing and economically valuable plants. *Journal of Cleaner Production*, v. 86, p. 37-39, 2014.

Pandey, V. C.; Rai, A.; Korstad, J. Chapter 9 - Aromatic Crops in Phytoremediation: From Contaminated to Waste Dumpsites, Editor(s): Vimal Chandra Pandey, Kuldeep Baudh, *Phytomanagement of Polluted Sites*, Elsevier, 2019, Pages 255-275, ISBN 9780128139127, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813912-7.00009-0>.

Pandey, J.; Verma, R. K.; Singh, S. (2019): Suitability of aromatic plants for phytoremediation of heavy metal contaminated areas: a review, *International Journal of Phytoremediation*, DOI: 10.1080/15226514.2018.1540546.

Paustian, K., Lehmann, J., Ogle, S. et al. Climate-smart soils. *Nature* 532, 49–57 (2016). <https://doi.org/10.1038/nature17174>

Pondja, E.A., Persson, K.M. e Matsinhe, N.P. Assessment of coal mine water in Moatize by static and leaching tests. *Sustain. Water Resour. Manag.* 3, 403–412 (2017). <https://doi.org/10.1007/s40899-017-0106-7>

Prno, J. (2013). An analysis of factors leading to the establishment of a social licence to operate in the mining industry. *Resources Policy*, 38(4), 577–590.

Prusinowska, R., Smigielski, K.B., 2014. Composition, biological properties and therapeutic effects of lavender (*Lavandula angustifolia* L.). A review. *Herba Pol.* 60 (2),56-66. Bozhanov S, Karadjova I, Alexandrov S. 2007. Determination of trace elements in the Lavender inflorescence (*Lavandula angustifolia* Mill.)—lavender oil system. *Microchem J.* 86(1):119–123. doi: 10.1016/j.microc.2007.01.001.

van Raij, B.; Cantarella, H.; Quaggio, J.A.; Furlani, Â.M.C. *Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo*; Fundação IAC: Campinas, Brasil, 1996; Volume 100.

Reddick, J.F.; Blottnitz, H. Von.; Kothuis, B. Cleaner production in the South African coal mining and processing industry: A case study investigation. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, v.28, n.4, p. 224-236, 2008.

Reis, A.; Bechara, F. C.; Espíndola, M. B. de; Vieira, N. K. Restauração de Áreas Degradadas: A Nucleação como Base para os Processos Sucessionais. *Revista Natureza & Conservação*, v. 1, n. 1, p. 85-92, 2003.

Reis, A.; Bechara, F. C.; Tres, D. R.; Trentin, B. E. Nucleação: concepção biocêntrica para a restauração ecológica. *Ciência Florestal*, v. 24, n.2, p. 509-518, 2014.

Reis, A.; Tres, D. R. Nucleação: integração das comunidades naturais com a paisagem. In: FUNDAÇÃO CARGILL (Coord.). *Manejo Ambiental e Restauração de Áreas Degradadas*, São Paulo: Cargill, p.28-55. 2007.

Reis, A. et al. Nucleation in tropical ecological restoration. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 67, n. 2, p. 244-250, 2010.

Riva, A.D. Caracterização morfológica e anatômica de *Lavandula dentata* e *L. angustifolia* e estudos de viabilidade produtiva na região centro norte, RS. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade Federal de Passo Fundo. Passo Fundo.185p.2012.

Rocha-Nicoleite, E.; Overbeck, G. E.; Müller, S. C. Degradation by coal mining should be priority in restoration planning. *Perspectives in Ecology and Conservation* 15 (2017) 202–205

Sánchez, L.E. 1998. Industry response to the challenge of sustainability: the case of Canadian nonferrous sector. *Environmental Management* 22(4): 521-531.

SER - Society for Ecological Restoration International. Grupo de Trabalho sobre Ciência e Política. Princípios da SER International sobre a restauração ecológica. 2004. Disponível em: https://cdn.ymaws.com/www.ser.org/resource/resmgr/custompages/publications/SER_Primer/ser-primer-portuguese.pdf. Acesso em 30/08/2022.

Silva, L.F.O.; Querol, X.; da Boit, K.M.; Fdez-Ortiz de Vallejuelo, S.; Madariaga, J.M. Brazilian coal mining residues and sulphide oxidation by Fenton's reaction: An accelerated weathering procedure to evaluate possible environmental impact, *Journal of Hazardous Materials*, Volume 186, Issue 1, 2011, p. 516-525, ISSN 0304-3894, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.11.032>.

Tedesco, M. J. Gianello, C.; Bissani, C.A. *Análise de solo plantas e outros materiais*. 2.ed. Porto Alegre, Departamento de Solos da UFRGS, 1995. 174p (UFRGS, Boletim Técnico, 5).

Tost, M.; Hitch, M.; Chandurkar, V.; Moser, P.; Feiel, F. 2018. The state of environmental sustainability considerations in mining. *Journal of Cleaner Production* 182: 969-977.

Van Den Dool, H.; Kratz, P.D. Generalization of the retention index system including linear temperature programmed gas-liquid partition chromatography.

Verma, S.K., Singh, K., Gupta, A.K., Pandey, V.C., Trivedi, P., Verma, R.K., et al., 2014. Aromatic grasses for phytomanagement of coal fly ash hazards. *Ecol. Eng.* 73, 425 - 428.

Journal of Chromatography, v.11, p. 463-471, 1963. Verma, S.K., Singh, K., Gupta, A.K., Pandey, V.C., Trivedi, P., Verma, R.K., et al., 2014. Aromatic grasses for phytomanagement of coal fly ash hazards. *Ecol. Eng.* 73, 425 - 428. PwC (2021) Mine 2021: Great expectations, seizing tomorrow. Pricewaterhouse Coopers. <https://www.pwc.com.au/industry/mining/global-mine-2021/mine-2021.pdf> acesso em abril de 2023.

Walker, S. Major Coalfields of the World IEA Coal Research, London (2000).

Watkinson, A.L.D. Developing Manufactured Soils for Reclamation of Mined Land in the Boreal Forest Ecosystem. 2014. 165 f. Mestrado (Master of Science in Biology) – Laurentian University. Sudbury, 2014.

WEC (World Energy Council). World Energy Trilemma Index (2021). https://www.worldenergy.org/assets/downloads/WE_Trilemma_Index_2021.pdf?v=1634811254 acesso em abril de 2023.

Weiler, J.; Firpo, B.A.; Schneider, I.A.H. Coal waste derived soil-like substrate: An opportunity for coal waste in a sustainable mineral scenario. *Journal of Cleaner Production*, v.174, p.739 - 745, 2018.

Weiler, J.; Silva, A. C.; Firpo, B. A.; Fernandes, E. Z.; Schneider, I. A. H. Using static, kinetic and metal mobility procedures to evaluate possibilities of coal waste land disposal at Moatize Mine, Mozambique. *REM - INTERNATIONAL ENGINEERING JOURNAL.*, v.73, p.587 - 596, 2020.

Werner, T.T.; Bebbington, A.; Gregory, Gillian. Assessing impacts of mining: Recent contributions from GIS and remote sensing. *The Extractive Industries and Society*, Volume 6, Issue 3, 2019, Pages 993-1012, ISSN 2214-790X, <https://doi.org/10.1016/j.exis.2019.06.011>.

White, T.B.; Viana L.R.; Campbell, G.; Elverum, C; Bennun, L.A. (2021) Using technology to improve the management of development impacts on biodiversity. *Business Strategy and the Environment* 2021:1–15. <https://doi.org/10.1002/bse.2816>

Wolkersdorfer C, Mugova E (2022) Effects of mining on surface water. In: Irvine K, Chapman D, Warner S (eds) *The Encyclopedia of Inland Waters*, 2nd edn. Elsevier, Oxford, pp 170–188

Young, Renee E.; Gann, George D.; Walder, Bethanie; Liu, Junguo; Cui, Wenhui; Newton, Vern; Nelson, Cara R.; Tashe, Natalie; Jasper, David; Silveira, Fernando A.O.; Carrick, Peter J.; Hägglund, Tove; Carlsén, Sara; Dixon, Kingsley. (2022) International principles and standards for the ecological restoration and recovery of mine sites. *Restoration Ecology*.

Zheljzakov Vd, Astatkie T. 2011. Effect of plant species and benomyl on lead concentration and removal from lead-enriched soil. *HortScience*. 46(12):1604–1607.

Zooche, J.J.; Leffa, D.D.; Damiani, A.P.; et al. Heavy metals and DNA damage in blood cells of insectivore bats in coal mining areas of Catarinense coal basin, Brazil *Environ. Res.*, 110 (2010), pp. 684-691

Zocche, J. J.; Sehn, L. M.; Pillon, J. G.; Schneider, C. H.; Olivo, E. F.; Raupp-Pereira, F. Technosols in coal mining areas: Viability of combined use of agro-industry waste and synthetic gypsum in the restoration of areas degraded, *Cleaner Engineering and Technology*, Volume 13, 2023, 100618, ISSN 2666-7908, <https://doi.org/10.1016/j.clet.2023.100618>.

ANEXO I - ANÁLISE DO SOLO AGOSTO DE 2022

Laboratório de Análise de Solos

Integrante da Rede Oficial de Laboratórios de Análises de Solos
e de Tecido Vegetal dos Estados do RS e SC - Rolas

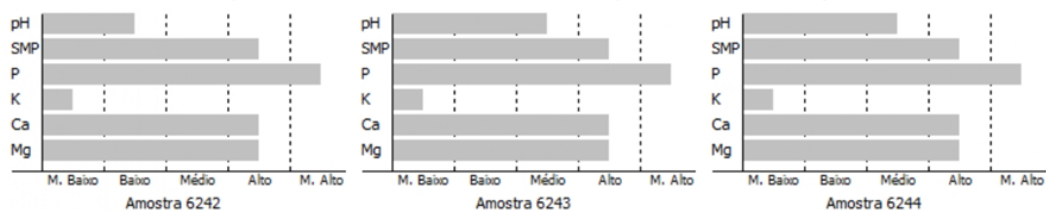
Relatório de Análise Química de Solo

Produtor...: AFONSO REGULY - CPF 628.493.520-04
 Localidade...: AV. BENTO GONÇALVES 9500 CAMPUS DO VALE
 Município...: PORTO ALEGRE - RS
 Remetente...: AFONSO REGULY
 Município...: PORTO ALEGRE - RS
 Matrícula...:
 Data Entrada: 09/08/2022
 Data Análise: 17/08/2022
 Data 2ª via.: 26/09/2022
 Análise.....: Particular

Nº Lab.	Ref.	Área (ha)	% Argila m/v	pH-Água 1:1	Índice SMP	P mg/dm³	K mg/dm³	% M.O. m/v	Al cmolc/dm³	Ca cmolc/dm³	Mg cmolc/dm³
6242	01	--	4	5,4	6,3	189,2	24,0	4,2	0,0	8,2	1,7
6243	02	--	4	5,9	6,8	229,2	28,0	3,0	0,0	6,0	2,0
6244	03	--	3	5,6	6,5	242,9	28,0	3,3	0,0	6,5	2,0

Nº Lab.	Ref.	H + Al cmolc/dm³	CTC pH7.0 cmolc/dm³	Al (valor m)	% Saturação na CTC a pH7.0				Relações		
					Bases	K	Ca	Mg	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
6242	01	3,13	13,13	0,00	76,15	0,47	62,38	13,30	4,69	133,45	28,45
6243	02	1,82	9,89	0,00	81,61	0,72	60,66	20,23	3,00	83,77	27,94
6244	03	2,60	11,14	0,00	76,69	0,64	58,36	17,69	3,30	90,79	27,51

Interpretação dos Resultados das Análises para Culturas do Grupo 2



METODOLOGIAS: Argila - densimetria; pH água e SMP - potenciometria; P - Mehlich-1/ colorimetria; K - Mehlich-1/fotometro de chamas; MO - espectroscopia; Al, Ca e Mg - KCl/ espectrofotometria de absorção atômica; Os demais parâmetros são obtidos por cálculo.



EVANDRO SPAGNOLLO
 Eng.-Agr. Dr. CREA-SC 53.652-8
 Responsável Técnico

Selo digital de fiscalização de laudo
B9243857-D128-4289-87B9-150085D8BF92
 Confira os dados do laudo em:
<http://solosch.epagri.sc.gov.br/>

Centro de Pesquisa para Agricultura Familiar - Cepaf
 Servidão Ferdinando Tusset, s/nº, São Cristóvão, C.P. 791
 89.801-970-Chapecó, SC
 Fone: (49) 2049-7570 e 2049-7581
 E-mail: labsolosch@epagri.sc.gov.br





Laboratório de Análise de Solos

Integrante da Rede Oficial de Laboratórios de Análises de Solos
e de Tecido Vegetal dos Estados do RS e SC - Rolas

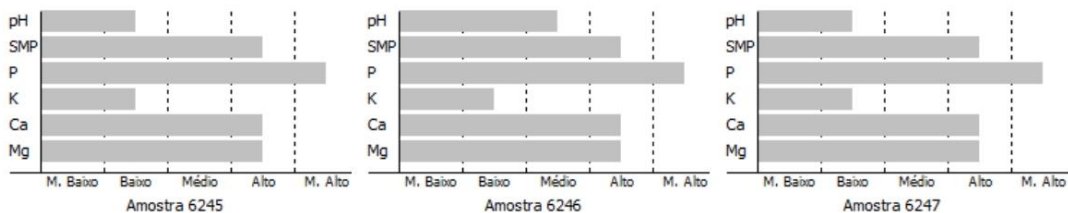
Relatório de Análise Química de Solo

Produtor...: AFONSO REGULY - CPF 628.493.520-04
Localidade...: AV. BENTO GONÇALVES 9500 CAMPUS DO VALE
Município...: PORTO ALEGRE - RS
Remetente...: AFONSO REGULY
Município...: PORTO ALEGRE - RS
Matricula...:
Data Entrada: 09/08/2022
Data Análise: 17/08/2022
Data 2ª via.: 26/09/2022
Análise.....: Particular

Nº Lab.	Ref.	Área (ha)	% Argila m/v	pH-Água 1:1	Índice SMP	P mg/dm³	K mg/dm³	% M.O. m/v	Al cmolc/dm³	Ca cmolc/dm³	Mg cmolc/dm³
6245	04	--	6	5,4	6,3	243,7	36,0	5,1	0,1	5,5	2,0
6246	05	--	3	5,5	6,4	260,8	56,0	3,4	0,0	5,1	2,4
6247	06	--	4	5,3	6,3	253,3	40,0	4,0	0,2	5,4	2,2

Nº Lab.	Ref.	H + Al cmolc/dm³	CTC pH7.0 cmolc/dm³	Al (valor m)	% Saturação na CTC a pH7.0				Relações		
					Bases	K	Ca	Mg	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
6245	04	2,92	10,47	1,26	72,08	0,88	52,30	18,91	2,77	59,47	21,50
6246	05	2,72	10,38	0,00	73,79	1,38	49,13	23,28	2,11	35,60	16,87
6247	06	2,95	10,57	2,56	72,08	0,97	50,62	20,49	2,47	52,30	21,17

Interpretação dos Resultados das Análises para Culturas do Grupo 2



METODOLOGIAS: Argila - densimetria; pH água e SMP - potenciometria; P - Mehlich-1/ colorimetria; K - Mehlich-1/fotometro de chamas; MO - espectroscopia; Al, Ca e Mg - KCl/ espectrofotometria de absorção atômica; Os demais parâmetros são obtidos por cálculo.

EVANDRO SPAGNOLLO
Eng.-Agr. Dr. CREA-SC 53.652-8
Responsável Técnico

Selo digital de fiscalização de laudo
B9243857-D128-4289-87B9-150085D88F92
Confira os dados do laudo em:
<http://solosch.epagri.sc.gov.br/>

Centro de Pesquisa para Agricultura Familiar - Cepaf
Servidão Ferdinando Tusset, s/nº, São Cristóvão, C.P. 791
89.801-970-Chapecó, SC
Fone: (49) 2049-7570 e 2049-7581
E-mail: labsolosch@epagri.sc.gov.br





Laboratório de Análise de Solos

Integrante da Rede Oficial de Laboratórios de Análises de Solos
e de Tecido Vegetal dos Estados do RS e SC - Rolas

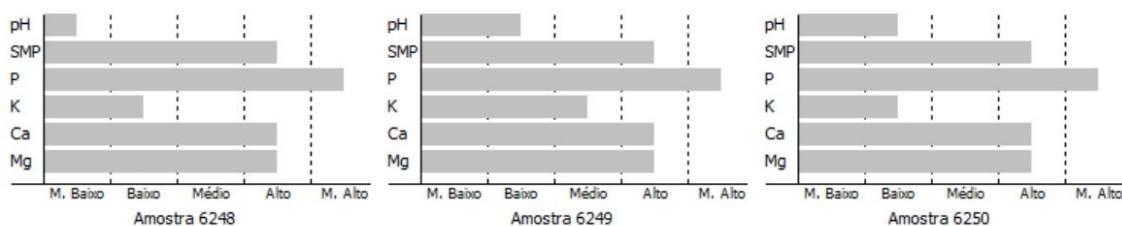
Relatório de Análise Química de Solo

Produtor...: AFONSO REGULY - CPF 628.493.520-04
Localidade...: AV. BENTO GONÇALVES 9500 CAMPUS DO VALE
Município...: PORTO ALEGRE - RS
Remetente...: AFONSO REGULY
Município...: PORTO ALEGRE - RS
Matrícula...:
Data Entrada: 09/08/2022
Data Análise: 17/08/2022
Data 2ª via.: 26/09/2022
Análise.....: Particular

Nº Lab.	Ref.	Área (ha)	% Argila m/v	pH-Água 1:1	Índice SMP	P mg/dm³	K mg/dm³	% M.O. m/v	Al cmolc/dm³	Ca cmolc/dm³	Mg cmolc/dm³
6248	07	--	4	5,0	6,2	233,8	52,0	3,0	0,6	6,5	2,0
6249	08	--	3	5,3	6,1	232,2	64,0	3,6	0,1	5,5	2,4
6250	09	--	4	5,3	6,1	206,4	36,0	3,2	0,3	5,7	2,0

Nº Lab.	Ref.	H + Al cmolc/dm³	CTC pH7.0 cmolc/dm³	Al (valor m)	% Saturação na CTC a pH7.0				Relações		
					Bases	K	Ca	Mg	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
6248	07	3,59	12,26	6,47	70,71	1,08	53,01	16,62	3,19	48,87	15,32
6249	08	3,76	11,88	1,08	68,32	1,38	46,62	20,33	2,29	33,83	14,76
6250	09	4,02	11,76	3,73	65,81	0,78	48,10	16,93	2,84	61,44	21,62

Interpretação dos Resultados das Análises para Culturas do Grupo 2



METODOLOGIAS: Argila - densimetria; pH água e SMP - potenciometria; P - Mehlich-1/ colorimetria; K - Mehlich-1/fotometro de chamas; MO - espectroscopia; Al, Ca e Mg - KCV/ espectrofotometria de absorção atômica; Os demais parâmetros são obtidos por cálculo.

EVANDRO SPAGNOLLO
Eng.-Agr. Dr. CREA-SC 53.652-8
Responsável Técnico

Selo digital de fiscalização de laudo
B9243857-D128-4289-87B9-150085DBBF92
Confira os dados do laudo em:
<http://solosch.epagri.sc.gov.br/>

Centro de Pesquisa para Agricultura Familiar - Cepaf
Serviço Ferdinando Tusset, s/nº, São Cristóvão, C.P. 791
89.801-970-Chaçapécó, SC
Fone: (49) 2049-7570 e 2049-7581
E-mail: labsolosch@epagri.sc.gov.br





Laboratório de Análise de Solos

Integrante da Rede Oficial de Laboratórios de Análises de Solos
e de Tecido Vegetal dos Estados do RS e SC - Rolas

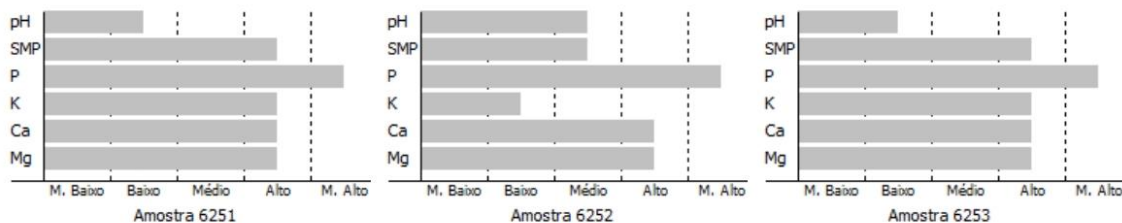
Relatório de Análise Química de Solo

Produtor...: AFONSO REGULY - CPF 628.493.520-04
Localidade...: AV. BENTO GONÇALVES 9500 CAMPUS DO VALE
Município...: PORTO ALEGRE - RS
Remetente...: AFONSO REGULY
Município...: PORTO ALEGRE - RS
Matrícula...:
Data Entrada: 09/08/2022
Data Análise: 17/08/2022
Data 2ª via.: 26/09/2022
Análise.....: Particular

Nº Lab.	Ref.	Área (ha)	% Argila m/v	pH-Água 1:1	Índice SMP	P mg/dm³	K mg/dm³	% M.O. m/v	Al cmolc/dm³	Ca cmolc/dm³	Mg cmolc/dm³
6251	10	--	8	5,2	6,4	282,0	160,0	4,4	0,4	8,1	3,0
6252	11	--	10	5,5	6,0	145,2	68,0	4,2	0,0	10,5	2,3
6253	12	--	10	5,4	6,2	178,1	140,0	4,6	0,2	10,3	2,4

Nº Lab.	Ref.	H + Al cmolc/dm³	CTC pH7.0 cmolc/dm³	Al (valor m)	% Saturação na CTC a pH7.0				Relações		
					Bases	K	Ca	Mg	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
6251	10	2,88	14,40	3,36	79,98	2,84	56,13	21,00	2,67	19,75	7,39
6252	11	4,57	17,59	0,00	74,01	0,99	59,80	13,21	4,53	60,49	13,36
6253	12	3,59	16,61	1,51	78,40	2,16	61,87	14,38	4,30	28,70	6,67

Interpretação dos Resultados das Análises para Culturas do Grupo 2



METODOLOGIAS: Argila - densimetria; pH água e SMP - potenciometria; P - Mehlich-1/ colorimetria; K - Mehlich-1/fotometro de chamas; MO - espectroscopia; Al, Ca e Mg - KCV/ espectrofotometria de absorção atômica; Os demais parâmetros são obtidos por cálculo.

EVANDRO SPAGNOLLO
Eng.-Agr. Dr. CREA-SC 53.652-8
Responsável Técnico

Selo digital de fiscalização de laudo
B9243857-D128-4289-87B9-150085DBBF92
Confira os dados do laudo em:
<http://solosch.epagri.sc.gov.br/>

Centro de Pesquisa para Agricultura Familiar - Cepaf
Serviço Ferdinando Tusset, s/nº, São Cristóvão, C.P. 791
89.801-970-Chaçapécó, SC
Fone: (49) 2049-7570 e 2049-7581
E-mail: labsolosch@epagri.sc.gov.br





Laboratório de Análise de Solos

Integrante da Rede Oficial de Laboratórios de Análises de Solos
e de Tecido Vegetal dos Estados do RS e SC - Rolas

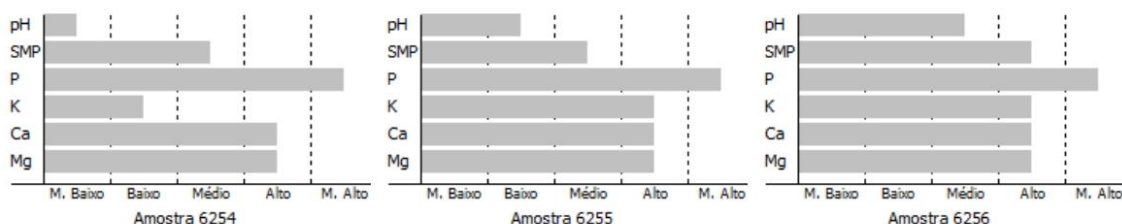
Relatório de Análise Química de Solo

Produtor...: AFONSO REGULY - CPF 628.493.520-04
Localidade...: AV. BENTO GONÇALVES 9500 CAMPUS DO VALE
Município...: PORTO ALEGRE - RS
Remetente...: AFONSO REGULY
Município...: PORTO ALEGRE - RS
Matrícula...:
Data Entrada: 09/08/2022
Data Análise: 17/08/2022
Data 2ª via.: 26/09/2022
Análise.....: Particular

Nº Lab.	Ref.	Área (ha)	% Argila m/v	pH-Água 1:1	Índice SMP	P mg/dm³	K mg/dm³	% M.O. m/v	Al cmolc/dm³	Ca cmolc/dm³	Mg cmolc/dm³
6254	13	--	10	5,0	5,9	156,8	60,0	3,4	0,6	10,3	2,4
6255	14	--	13	5,3	6,0	192,2	128,0	3,2	0,2	12,3	3,7
6256	15	--	10	5,7	6,3	137,0	196,0	2,4	0,0	11,2	2,5

Nº Lab.	Ref.	H + Al cmolc/dm³	CTC pH7.0 cmolc/dm³	Al (valor m)	% Saturação na CTC a pH7.0				Relações		
					Bases	K	Ca	Mg	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
6254	13	4,78	17,70	4,44	73,01	0,87	58,42	13,72	4,26	67,38	15,83
6255	14	4,62	20,91	1,21	77,91	1,57	58,79	17,55	3,35	37,55	11,21
6256	15	3,13	17,29	0,00	81,88	2,90	64,56	14,41	4,48	22,27	4,97

Interpretação dos Resultados das Análises para Culturas do Grupo 2



METODOLOGIAS: Argila - densimetria; pH água e SMP - potenciometria; P - Mehlich-1/ colorimetria; K - Mehlich-1/fotometro de chamas; MO - espectroscopia; Al, Ca e Mg - KCV/ espectrofotometria de absorção atômica; Os demais parâmetros são obtidos por cálculo.

EVANDRO SPAGNOLLO
Eng.-Agr. Dr. CREA-SC 53.652-8
Responsável Técnico

Selo digital de fiscalização de laudo
B9243857-D128-4289-87B9-150085DBBF92
Confira os dados do laudo em:
<http://solosch.epagri.sc.gov.br/>

Centro de Pesquisa para Agricultura Familiar - Cepaf
Serviço Ferdinando Tusset, s/nº, São Cristóvão, C.P. 791
89.801-970-Chaçapécó, SC
Fone: (49) 2049-7570 e 2049-7581
E-mail: labsolosch@epagri.sc.gov.br





Laboratório de Análise de Solos

Integrante da Rede Oficial de Laboratórios de Análises de Solos
e de Tecido Vegetal dos Estados do RS e SC - Rolas

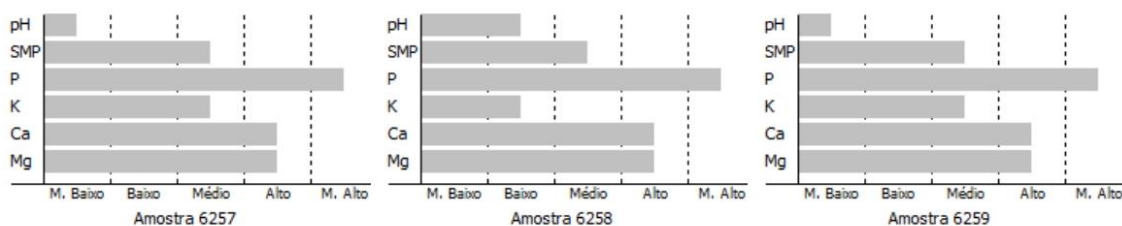
Relatório de Análise Química de Solo

Produtor...: AFONSO REGULY - CPF 628.493.520-04
Localidade...: AV. BENTO GONÇALVES 9500 CAMPUS DO VALE
Município...: PORTO ALEGRE - RS
Remetente...: AFONSO REGULY
Município...: PORTO ALEGRE - RS
Matrícula...:
Data Entrada: 09/08/2022
Data Análise: 17/08/2022
Data 2ª via.: 26/09/2022
Análise.....: Particular

Nº Lab.	Ref.	Área (ha)	% Argila m/v	pH-Água 1:1	Índice SMP	P mg/dm³	K mg/dm³	% M.O. m/v	Al cmolc/dm³	Ca cmolc/dm³	Mg cmolc/dm³
6257	16	--	9	4,9	5,8	170,4	92,0	3,3	1,3	8,0	4,0
6258	17	--	8	5,1	5,8	132,6	60,0	4,0	0,5	9,2	3,0
6259	18	--	10	4,9	5,8	175,1	108,0	4,5	1,2	8,8	2,9

Nº Lab.	Ref.	H + Al cmolc/dm³	CTC pH7.0 cmolc/dm³	Al (valor m)	% Saturação na CTC a pH7.0				Relações		
					Bases	K	Ca	Mg	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
6257	16	5,49	17,77	9,57	69,10	1,32	45,11	22,67	1,99	34,07	17,12
6258	17	5,68	18,07	3,88	68,59	0,85	50,99	16,76	3,04	60,04	19,74
6259	18	5,30	17,28	9,11	69,32	1,60	51,08	16,64	3,07	31,96	10,41

Interpretação dos Resultados das Análises para Culturas do Grupo 2



METODOLOGIAS: Argila - densimetria; pH água e SMP - potenciometria; P - Mehlich-1/ colorimetria; K - Mehlich-1/fotometro de chamas; MO - espectroscopia; Al, Ca e Mg - KCV/ espectrofotometria de absorção atômica; Os demais parâmetros são obtidos por cálculo.

EVANDRO SPAGNOLLO
Eng.-Agr. Dr. CREA-SC 53.652-8
Responsável Técnico

Selo digital de fiscalização de laudo
B9243857-D128-4289-87B9-150085DBBF92
Confira os dados do laudo em:
<http://solosch.epagri.sc.gov.br/>

Centro de Pesquisa para Agricultura Familiar - Cepaf
Serviço Ferdinando Tusset, s/nº, São Cristóvão, C.P. 791
89.801-970-Chaçecó, SC
Fone: (49) 2049-7570 e 2049-7581
E-mail: labsolosch@epagri.sc.gov.br





Laboratório de Análise de Solos

Integrante da Rede Oficial de Laboratórios de Análises de Solos
e de Tecido Vegetal dos Estados do RS e SC - Rolas

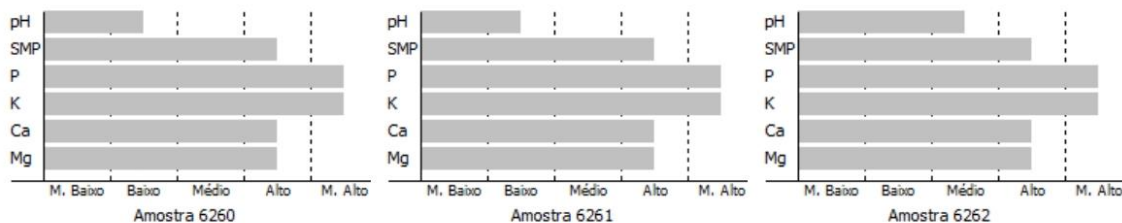
Relatório de Análise Química de Solo

Produtor...: AFONSO REGULY - CPF 628.493.520-04
Localidade...: AV. BENTO GONÇALVES 9500 CAMPUS DO VALE
Município...: PORTO ALEGRE - RS
Remetente...: AFONSO REGULY
Município...: PORTO ALEGRE - RS
Matrícula...:
Data Entrada: 09/08/2022
Data Análise: 17/08/2022
Data 2ª via.: 26/09/2022
Análise.....: Particular

Nº Lab.	Ref.	Área (ha)	% Argila m/v	pH-Água 1:1	Índice SMP	P mg/dm³	K mg/dm³	% M.O. m/v	Al cmolc/dm³	Ca cmolc/dm³	Mg cmolc/dm³
6260	19	--	16	5,3	6,1	80,7	328,0	2,1	0,2	13,9	2,6
6261	20	--	18	5,5	6,1	132,1	288,0	1,8	0,0	15,6	3,4
6262	21	--	29	5,7	6,5	122,6	308,0	2,2	0,0	15,4	3,0

Nº Lab.	Ref.	H + Al cmolc/dm³	CTC pH7.0 cmolc/dm³	Al (valor m)	% Saturação na CTC a pH7.0				Relações		
					Bases	K	Ca	Mg	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
6260	19	4,07	21,36	1,14	80,96	3,93	65,09	11,95	5,45	16,57	3,04
6261	20	3,71	23,47	0,00	84,18	3,14	66,66	14,38	4,63	21,24	4,58
6262	21	2,46	21,58	0,00	88,60	3,65	71,20	13,75	5,18	19,50	3,77

Interpretação dos Resultados das Análises para Culturas do Grupo 2



METODOLOGIAS: Argila - densimetria; pH água e SMP - potenciometria; P - Mehlich-1/ colorimetria; K - Mehlich-1/fotometro de chamas; MO - espectroscopia; Al, Ca e Mg - KCV/ espectrofotometria de absorção atômica; Os demais parâmetros são obtidos por cálculo.

EVANDRO SPAGNOLLO
Eng.-Agr. Dr. CREA-SC 53.652-8
Responsável Técnico

Selo digital de fiscalização de laudo
B9243857-D128-4289-87B9-150085DBBF92
Confira os dados do laudo em:
<http://solosch.epagri.sc.gov.br/>

Centro de Pesquisa para Agricultura Familiar - Cepaf
Serviço Ferdinando Tusset, s/nº, São Cristóvão, C.P. 791
89.801-970-Chaçapécó, SC
Fone: (49) 2049-7570 e 2049-7581
E-mail: labsolosch@epagri.sc.gov.br





Laboratório de Análise de Solos

Integrante da Rede Oficial de Laboratórios de Análises de Solos
e de Tecido Vegetal dos Estados do RS e SC - Rolas

Relatório de Análise Química de Solo - Micronutrientes

Produtor...: AFONSO REGULY - CPF 628.493.520-04
Localidade...: AV. BENTO GONÇALVES 9500 CAMPUS DO VALE
Município...: PORTO ALEGRE - RS
Remetente...: AFONSO REGULY
Município...: PORTO ALEGRE - RS
Matrícula...:
Data Entrada: 09/08/2022
Data Análise: 17/08/2022
Data 2ª via.:
Análise.....: Particular

Nº Lab.	Ref.	Área (ha)	Cu mg/dm ³	Zn mg/dm ³	Mn mg/dm ³	Fe mg/dm ³	B mg/dm ³	S mg/dm ³	Na mg/dm ³	C.E. mS/cm
6242	01	--	13,3	37,1	26,0	>5,0	--	--	--	--
6243	02	--	13,8	36,0	11,9	>5,0	--	--	--	--
6244	03	--	13,9	36,3	10,5	>5,0	--	--	--	--
6245	04	--	12,6	36,6	23,7	>5,0	--	--	--	--
6246	05	--	13,3	34,2	22,0	>5,0	--	--	--	--
6247	06	--	14,3	37,0	18,3	>5,0	--	--	--	--
6248	07	--	13,2	34,1	30,9	>5,0	--	--	--	--
6249	08	--	14,3	37,5	22,7	>5,0	--	--	--	--
6250	09	--	11,5	36,9	31,7	>5,0	--	--	--	--
6251	10	--	7,3	32,0	44,8	>5,0	--	--	--	--
6252	11	--	8,6	33,8	>50,0	>5,0	--	--	--	--
6253	12	--	7,8	32,6	>50,0	>5,0	--	--	--	--
6254	13	--	7,3	32,2	>50,0	>5,0	--	--	--	--
6255	14	--	5,1	31,0	>50,0	>5,0	--	--	--	--
6256	15	--	6,7	30,7	>50,0	>5,0	--	--	--	--
6257	16	--	9,2	34,2	>50,0	>5,0	--	--	--	--
6258	17	--	7,3	29,6	>50,0	>5,0	--	--	--	--
6259	18	--	7,9	29,8	>50,0	>5,0	--	--	--	--
6260	19	--	3,5	23,2	>50,0	>5,0	--	--	--	--
6261	20	--	3,6	25,0	>50,0	>5,0	--	--	--	--
6262	21	--	3,3	25,3	43,3	>5,0	--	--	--	--

METODOLOGIAS: Enxofre - extraído com fostato de cálcio e determinado por colorimetria; Cobre, Zinco e Ferro - extraídos pelo método Mehlich-1 e determinados em espectrofotometria de absorção atômica; Manganês - extraído pelo método do KCl e determinado em espectrofotometria de absorção atômica; Boro - extraído com água quente e determinado por colorimetria; Condutividade elétrica - determinada pela condução elétrica do solo via eletrodo.

EVANDRO SPAGNOLLO
Eng.-Agr. Dr. CREA-SC 53.652-8
Responsável Técnico

Selo digital de fiscalização de laudo
011AF8AE-7158-40DC-82D9-C9F88742354D
Confira os dados do laudo em:
<http://solosch.epagri.sc.gov.br/>

Centro de Pesquisa para Agricultura Familiar - Cepaf
Servidão Ferdinando Tusset, s/nº, São Cristóvão, C.P. 791
89.801-970 - Chapecó, SC
Fone: (49) 2049-7570 e 2049-7581
E-mail: labsolosch@epagri.sc.gov.br



Laboratório de Análise de Solos

Integrante da Rede Oficial de Laboratórios de Análises de Solos
e de Tecido Vegetal dos Estados do RS e SC - Rolas

Relatório de Análise de Solo - Carbono e Nitrogênio

Produtor...: AFONSO REGULY - CPF 628.493.520-04
Localidade...: AV. BENTO GONÇALVES 9500 CAMPUS DO VALE
Município...: PORTO ALEGRE - RS
Remetente...: AFONSO REGULY
Município...: PORTO ALEGRE - RS
Matrícula...:
Data Entrada: 09/08/2022
Data Análise: 18/08/2022
Data 2ª via.:
Análise.....: Particular

Nº Lab.	Ref.	Carbono orgânico %	Nitrogênio %	Relação C/N	Fósforo Total mg/dm³
6242	01	2,44	0,52	5	--
6243	02	1,74	0,59	3	--
6244	03	1,91	0,55	3	--
6245	04	2,96	0,59	5	--
6246	05	1,97	0,56	4	--
6247	06	2,32	0,52	4	--
6248	07	1,74	0,28	6	--
6249	08	2,09	0,63	3	--
6250	09	1,86	0,71	3	--
6251	10	2,55	0,68	4	--
6252	11	2,44	0,55	4	--
6253	12	2,67	0,49	5	--
6254	13	1,97	0,44	4	--
6255	14	1,86	0,63	3	--
6256	15	1,39	0,53	3	--
6257	16	1,91	0,57	3	--
6258	17	2,32	0,62	4	--
6259	18	2,61	0,55	5	--
6260	19	1,22	0,31	4	--
6261	20	1,04	0,29	4	--
6262	21	1,28	0,29	4	--

EVANDRO SPAGNOLLO
Eng.-Agr. Dr. CREA-SC 53.652-8
Responsável Técnico

Selo digital de fiscalização de laudo
B041F515-4388-4D00-8033-F6ED87558BFC
Confira os dados do laudo em:
<http://solosch.epagri.sc.gov.br/>

Centro de Pesquisa para Agricultura Familiar - Cepaf
Servidão Ferdinando Tusset, s/nº, São Cristóvão, C.P. 791
89.801-970 - Chapecó, SC
Fone: (49) 2049-7570 e 2049-7581
E-mail: labsolosch@epagri.sc.gov.br

ANEXO II - ANÁLISE ELEMENTAR CHNS E COT



IPR - Institute of Petroleum and Natural Resources
PUCRS - Pontifical Catholic University of Rio Grande do Sul



Testing Report – Chemical Analysis Laboratory

Código do Relatório (Code): LAQ 24/2023

CLIENTE (CUSTOMER)

Empresa/Pessoa (company): Fundação Luiz Englert/Jéssica Wieler

CNPJ/CPF(company code): 92.971.845/0001-42

Endereço (address): Rua Matias José Bins nº 36, bairro Três Figueiras, Porto Alegre/RS CEP 91330-290

Contato (e-mail and phone): (51) 99778-9192 / jessica.weiler18@gmail.com

PSE: 058/2023

DESCRIÇÃO DA AMOSTRA E MÉTODO (SAMPLE AND METHOD)

Data do recebimento da amostra (receipt date): 31/03/2023.

Descrição da(s) Amostra(s) (sample description): Amostras de solo e rocha (soils and rocks samples).

Código da amostra (sample code):

Código da amostra (Sample code)	Código de descrição do cliente (Customer description code)
02321	B1 AMOSTRA 1
02322	B1 AMOSTRA 2
02323	B1 AMOSTRA 3
02324	B7 AMOSTRA 20
02325	B7 AMOSTRA 19
02326	B7 AMOSTRA 21
02327	B3 AMOSTRA 7



Testing Report – Chemical Analysis Laboratory

02328	B3 AMOSTRA 8
02329	B3 AMOSTRA 9
02330	B5 AMOSTRA 13
02331	B5 AMOSTRA 14
02332	B5 AMOSTRA 15

As amostras enviadas para análise estavam de acordo com as orientações do documento POP.LMA.05 Manual de Amostragem (*The samples sent for analysis were in accordance with the guidelines in document SOP.LMA.05 Sampling Manual*):

(x) Sim (*yes*) () Não (*no*)

Condições ambientais (*environmental conditions*): temperatura (25 ± 10)°C e (50 ± 30)% u.r..
(*temperature (25 ± 10)°C and (50 ± 30)% r.h.*).

Método utilizado (*method*): POP.LAQ.03

Rastreabilidade Metrológica (*metrological traceability*): Equipamento ThermoScientific FlashSmart CHNS/O 0352LAQ, PR0157LAQ-01, PR0155LAQ-01.

RESULTADOS (*RESULTS*)

Período de realização das Análises (*testing period*): 11/04/2023 – 17/04/2023.

As amostras foram analisadas em triplicata e os resultados estão apresentados na tabela a seguir.

The results of the analysis of samples are shown in Table below.

Testing Report – Chemical Analysis Laboratory

Amostra (sample)	% C	% H	% N	% S	% COT (TOC)
02321	45,00	13,04	0,96	0,45	36,10
02322	41,47	2,29	0,93	0,42	35,61
02323	39,74	2,38	0,96	0,56	35,43
02324	1,92	1,46	0,20	< LQ: 0,01%	1,34
02325	1,94	1,40	0,20	< LQ: 0,01%	1,75
02326	2,34	1,35	0,23	< LQ: 0,01%	2,03
02327	30,47	2,21	0,96	0,36	30,10
02328	30,68	2,24	0,91	0,36	29,35
02329	32,35	2,26	0,91	0,35	30,83
02330	28,88	1,96	0,75	0,25	22,30
02331	22,86	1,83	0,61	0,16	17,81
02332	23,62	1,79	0,56	0,18	16,93

%C: carbono (carbon) | %H: hidrogênio (hydrogen) | %N: nitrogênio (nitrogen)

%S: enxofre (sulfur) | %COT: carbono orgânico total (TOC: total organic carbon)

LQ: limite de quantificação (limit of quantification)

Nota: os ensaios foram realizados nas dependências do IPR.

Note: the tests were carried out at IPR.



Testing Report – Chemical Analysis Laboratory

RESPONSÁVEIS (SIGNATURES)

Data de emissão (Issue date): 18/04/2023

**Eduardo do
Canto Bruzza**

Assinado de forma digital
por Eduardo do Canto
Bruzza
Dados: 2023.04.18 16:00:11
-03'00'

Assinatura Signatários Autorizados

(Signature authorized signatories)

Eduardo do Canto Bruzza

Auxiliar de Pesquisa

(Research Assistant)

Nota: Este documento diz respeito apenas à(s) amostra(s) ensaiada(s) não extensivo a lotes ou similares. A reprodução deste relatório só poderá ser na sua íntegra. As amostras foram ensaiadas conforme condições de recebimento. *This document refers only to the sample(s) tested and does not extend to batches or similar. This report may only be reproduced in its entirety. The samples were tested according to the conditions of receipt.*

HISTÓRICO DE ALTERAÇÕES

Revisão	Mudança no documento	Elaboração/Revisão	Aprovação
00	Emissão	Alexandra Schuh	Filipe Albano
01	Revisão e inclusão logo ANAB e termos em inglês	Alexandra Schuh	Filipe Albano

ANEXO III - ANÁLISE DO TECIDO VEGETAL



GOVERNO DO ESTADO DE SANTA CATARINA
SECRETARIA DO DESENVOLVIMENTO RURAL E DA AGRICULTURA
EPAGRI - Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão de Santa Catarina S.A.
Laboratório de Fisiologia e Nutrição vegetal

Laudo de análise de tecidos

Fone: (49) 3561 6823 - (49) 3561 6830 - (49) 3561 6831 - Caçador, SC, Brasil

Produtor: Arthur Cera Venturella
Endereço: Avenida Lavras
Município: Porto Alegre, RS
Espécie: Parte aérea de Lavanda
Data de entrada: 24/03/2023

Data de emissão: 27/04/2023

CÓDIGOS		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B
Lab.	Remet.	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
325	Amostra 01	16,8	2,6	12,3	14,4	2,6	79	85	83	8	26
326	Amostra 02	16,8	3,1	15,7	16,3	2,8	109	139	111	11	21
327	Amostra 03	21,0	3,2	13,6	17,6	2,7	93	93	82	10	20
328	Amostra 04	12,6	2,8	14,5	13,1	2,8	94	308	135	8	22
329	Amostra 06	16,8	2,4	14,9	14,2	2,8	132	299	116	9	21
330	Amostra 07	19,6	2,2	14,3	15,9	3,1	163	313	127	9	20
331	Amostra 08	19,6	3,1	15,0	16,5	3,1	117	171	112	13	23
332	Amostra 09	14,0	2,4	14,3	16,7	3,0	107	284	115	8	22
333	Amostra 10	14,0	3,1	19,9	14,5	2,1	105	185	88	11	20
334	Amostra 11	16,1	2,6	16,8	15,8	2,6	117	270	98	10	19
335	Amostra 12	23,8	2,8	18,4	15,9	2,9	136	287	100	8	21
336	Amostra 13	18,2	3,2	16,8	14,5	2,0	93	192	82	13	19
337	Amostra 14	18,2	2,9	15,6	14,4	2,4	91	198	73	12	23
338	Amostra 15	16,8	2,0	12,9	17,1	2,6	125	326	95	9	20
339	Amostra 16	14,0	2,9	15,9	12,9	2,4	91	266	100	13	22
340	Amostra 17	15,4	2,3	16,3	19,4	3,0	137	361	105	11	25
341	Amostra 18	16,8	2,6	19,3	13,9	2,2	94	166	83	12	28
342	Amostra 19	15,4	2,4	23,1	11,3	1,3	80	121	37	6	25
343	Amostra 20	18,2	2,3	22,9	14,5	1,6	104	152	36	6	22
344	Amostra 21	16,8	2,2	22,9	14,8	1,8	153	103	54	9	22

OBS.: (g/kg = % x 10)
e (mg/kg = ppm)
Caçador: 27/04/2023

Eng.-Agr., Dr. Leandro Hahn
Responsável pelo Laboratório
CREA-SC - Nº 070879-0

ANPÊNDICE I – CARACTERÍSTICAS DOS ÓLEO ESSENCIAL DE *Lavandula dentata*

Compound	Composto	IK calc.	IK Adams*	Area % (Amostra/Sample)						
				1,2,3	4,5,6	7,8,9	10,11,12	13,14,15	16,17,18	19,20,21
α-Pinene	a-Pineno	934	939	2,00	1,43	1,46	0,96	0,83	1,52	1,86
Camphene	Canfeno	949	954	0,82	0,62	0,64	0,39	0,39	0,78	0,11
n.i.	n.i.	950		-	-	-	-	-	-	0,85
Sabinene	Sabineno	974	975	0,17	-	-	-	-	-	-
β-Pinene	β-Pineno	979	979	3,42	2,67	2,69	2,15	1,79	2,84	3,14
dehydro-1,8-Cineole	deidro-1,8-Cineol	993	991	0,12	-	-	-	-	-	-
p-Cimene/o-Cimene	p-Cimeno/o-Cimeno	1025	1024/1026	0,48	0,46	0,46	0,40	0,44	0,57	0,52
Limonene	Limoneno	1030	1029	2,03	1,59	1,42	1,39	1,22	1,66	1,68
1,8-Cineole	1,8-Cineol	1033	1033	21,67	26,23	27,36	20,69	22,10	24,80	24,94
1,2-Epoxylinolool**	1,2-Epoxilinalol**	1073	1061**	0,44	0,25	0,25	0,38	0,32	0,36	0,40
Fenchone	Fenchona	1091	1086	14,05	16,24	16,37	14,05	15,64	15,79	15,20
Linalool	Linalol	1102	1096	3,12	2,36	2,17	3,11	2,55	2,75	2,90

endo-Fenchol	endo-Fenchol	1116	1116	9,21	9,49	9,73	9,78	10,01	8,39	8,18
n.i.	n.i.	1123		0,37	-	-	-	-	-	-
α -Campholenal	α -Canfolenal	1128	1126	0,48	0,41	0,42	0,51	0,55	0,52	0,47
4-Acetyl-1-methylcyclohexene***	4-Acetil-1-metilcicloexeno***	1133	1131***	0,12	-	-	-	-	-	-
trans-Pinocarveol	trans-Pinocarveol	1141	1139	2,23	1,48	1,89	2,21	2,27	2,05	2,03
n.i.	n.i.	1144		0,15	-	-	-	-	-	-
Camphor	Cânfora	1147	1146	16,12	18,95	18,51	16,34	18,72	18,05	16,99
Pinocarvone	Pinocarvona	1165	1164	1,16	1,17	1,11	1,21	1,32	1,27	1,17
Borneol	Borneol	1168	1169	2,66	1,85	2,17	2,69	2,50	1,94	2,00
Terpinen-4-ol	4-Terpineol	1179	1177	0,64	0,46	0,47	0,66	0,64	0,63	0,66
n.i.	n.i.	1187		0,46	0,34	0,42	0,44	0,42	0,37	0,40
4-isopropyl-2-cyclohexen-1-one****	4-isopropil-2-cicloexen-1-ona****	1189	1187****	0,94	0,56	0,45	0,73	0,74	0,77	0,81
α -Terpineol	α -Terpineol	1193	1188	1,01	0,77	0,70	0,92	0,97	0,91	1,00
Myrtenal	Mirtenal	1199	1195	1,74	1,39	1,67	1,94	1,57	1,49	1,51
Verbenone	Verbenona	1212	1205	0,25	-	-	0,20	0,20	0,21	0,21

trans-Carveol	trans-Carveol	1221	1216	0,40	-	-	0,38	-	-	-
p-isopropyl-benzaldehyde	p-isopropil-benzaldeído	1242	1241	0,54	0,46	0,41	0,63	0,69	0,63	0,54
Carvone	Carvona	1246	1243	0,68	0,62	0,58	0,72	0,80	0,73	0,70
p-Menth-1-en-7-al	p-Ment-1-en-7-al	1277	1275	0,17	-	-	0,17	-	-	-
Hexyl tiglate	Hexil tiglato	1333	1332	0,28	-	-	0,28	0,26	0,24	0,23
α -trans-Bergamotene	α -trans-Bergamoteno	1438	1434	0,30	-	-	0,21	-	-	-
β -Selinene	β -Selineno	1489	1490	1,57	1,53	1,46	2,07	1,80	1,33	1,36
β -Bisabolene	β -Bisaboleno	1511	1505	0,34	-	-	0,41	0,26	0,20	0,26
trans-Calamenene	trans-Calameneno	1525	1522	0,25	-	-	0,31	0,23	0,19	0,21
n.i.	n.i.	1546		0,41	-	-	0,52	0,38	0,35	0,33
n.i.	n.i.	1556		0,17	-	-	0,20	0,18	-	0,17
Caryophyllene oxide	óxido de Cariofileno	1586	1583	3,18	3,34	3,36	3,70	3,78	3,09	3,34
β -Eudesmol	β -Eudesmol	1654	1650	2,22	2,92	2,27	3,28	3,26	2,74	2,80
α -Bisabolol oxide B	α -óxido de Bisabolol B	1658	1658	0,68	0,66	-	0,89	0,75	0,68	0,66
Cadalene	Cadaleno	1679	1676	0,15	-	-	0,22	0,21	-	-

epi- α -Bisabolol	epi-a-Bisabolol	1687	1684	0,77	0,59	0,52	0,96	0,67	0,66	0,66
cis-14-nor-Muurool-5-en-4-one	cis-14-nor-Muurool-5-en-4-ona	1691	1689	0,99	1,17	1,07	1,42	1,32	1,09	1,04
Criptomerione	Criptomeriona	1732	1724	0,44	-	-	0,57	0,41	0,40	0,46
n.i.	n.i.	1752		0,44	-	-	0,86	-	-	-
n.i.	n.i.	1755		-	-	-	0,40	-	-	-
n.i.	n.i.	1759		0,15	-	-	0,15	-	-	-
Total identificado				97,84	99,67	99,61	96,93	99,21	99,28	98,04
total de monoterpenos hidrocarbonetos				22,97	23,01	23,04	19,34	20,31	24,49	22,51
total de monoterpenos oxigenados				63,58	66,45	67,44	62,54	65,31	65,59	64,51
total de sesquiterpenos hidrocarbonetos				3,38	2,12	1,46	4,18	3,17	1,05	1,83
total de sequiterpenos oxigenados				7,51	8,09	7,22	9,86	9,52	8,00	8,96
outros compostos oxigenados				0,4	-	0,45	1,01	1,00	0,24	0,23

* Adams, R.P. Identification of Essential Oil Components by Gas Chromatography/Mass Spectrometry. Allured. Ed. 4.1. 2017

**<https://webbook.nist.gov/cgi/formula?ID=R614541&Mask=2000#Gas-Chrom> (IK) e <https://www.pherobase.com/database/kovats/kovats-detail-1,2-oxidolinalool.php> (MS)

***[https://webbook.nist.gov/cgi/inchi/InChI=1S/C9H14O/c1-7-3-5-9\(6-4-7\)8\(2\)10/h3,9H,4-6H2,1-2H3](https://webbook.nist.gov/cgi/inchi/InChI=1S/C9H14O/c1-7-3-5-9(6-4-7)8(2)10/h3,9H,4-6H2,1-2H3)

****<https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=C500027&Mask=20>

