

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS DOIS VIZINHOS
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA FLORESTAL

DIANAFAZ ELOIZA CANAN

**AVALIAÇÃO DE DOSES DE PENERGETIC EM EUCALIPTO NO SUDOESTE
DO PARANÁ**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

DOIS VIZINHOS

2021

DIANAFAZ ELOIZA CANAN

**AVALIAÇÃO DE DOSES DE PENERGETIC EM EUCALIPTO NO SUDOESTE
DO PARANÁ**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do curso Bacharelado em Engenharia Florestal da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito para aprovação na disciplina.

Orientadora: Prof. Dr^a. Flávia Gizele König
Brun

Co-orientador: Prof. Dr. Eleandro José
Brun

DOIS VIZINHOS
2021



TERMO DE APROVAÇÃO

AVALIAÇÃO DE DOSES DE PENERGETIC EM EUCALIPTO NO SUDOESTE DO PARANÁ

por

DIANAFAZ ELOIZA CANAN

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 02 de julho de 2021 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal. O(a) candidato(a) foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr^a Flávia Gizele K. Brun
Orientadora

Prof. Dr. Carlos Alberto Casali
Membro titular (UTFPR)

Eng. Florestal Alêxryus Augusto Altran
Membro titular

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus por estar sempre ao meu lado abrindo caminho para novas oportunidades.

Meus sinceros agradecimentos a minha mãe Marli, sem seu apoio nada seria possível, por ser minha base e segurar minha mão sempre, ao meu pai Irineu e minhas irmãs. Ao meu namorado Felipe por seu companheirismo e paciência.

A jornada que tracei durante a graduação permitiu vivências e experiências com pessoas especiais, quero agradecer a minha amiga Marcela Guedes por toda ajuda, paciência e companheirismo, a Marina Andressa por toda ajuda, Ana Paula Brandão pelo incentivo.

Agradeço imensamente a minha orientadora Prof^a Dr^a Flávia G. K. Brun pela qual tenho tamanha admiração, por estar sempre ao meu lado nos encorajando, sempre paciente, compreensiva e motivadora, agradeço também ao meu co-orientador Prof^o Dr^o Eleandro J. Brun, ao Eng. Florestal Alexryus Altran pelas dicas e auxílios no TCC.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

“Quando sua perspectiva está em Deus, seu foco está naquele que vence qualquer tempestade que a vida pode trazer”.

(Max Lucado)

RESUMO

CANAN, Dianafaz Eloiza. **Avaliação de diferentes dosagens de penergetic em um plantio de eucalipto no sudoeste do Paraná.** 2021. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Dois Vizinhos, 2021.

As plantações florestais desempenham um papel cada vez mais importante para satisfazer demanda global de madeira, e, de maneira especial as plantações de eucalipto, pois estão em plena expansão. No entanto, a alta produtividade das plantações comerciais de eucalipto no Brasil depende, em grande parte, das aplicações de fertilizantes. Portanto, surge a necessidade de investigar estratégias para aumentar a eficiência de fertilizantes, sendo uma opção a utilização de bioestimuladores de solo e planta. Dentro desse contexto, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito de diferentes concentrações do bioativador de solo Penergetic®-Kompost (K) e de planta Penergetic ®-Pflanzen (P) em um povoamento de eucalipto na região sudoeste do Paraná. O Penergetic foi aplicado no momento do plantio das mudas em diferentes doses. Após 36 meses realizou-se o inventário florestal e procedeu-se as análises dos nutrientes foliares, além de ser mensuradas 20% das alturas da unidade amostral, e 100% dos DAP, realizou-se a cubagem para estimativa do volume. Houve correlação significativa para as variáveis dendrométricas (dap x altura) e para volume x Dap e Altura x Potássio. Para a correlação entre os nutrientes, o efeito significativo ocorreu entre N x P, N x Mg para os macronutrientes, e para os micronutrientes B x Cu, Cu x Zn, Fe x Mn, Fe x Al, Al x Mn, e B x Mn. Para os demais nutrientes, não houve correlação significativa. Houve efeito significativo para a altura com o Uso do Penergetic. O diâmetro e volume não apresentaram a mesma resposta. Para os nutrientes avaliados, apenas o potássio apresentou diferença significativa, enquanto para os micronutrientes não houve resposta quanto a estatística avaliada. A aplicação de Penergetic não influenciou no desenvolvimento do Eucalipto para a variável DAP, no entanto para altura houve diferença pouco significativa, indicando a necessidade de mais estudos. As concentrações de macronutrientes e micronutrientes nas folhas apresentaram-se dentro dos intervalos normais para espécie do gênero e, em alguns casos acima do limite superior do intervalo normal, não sendo limitantes para o crescimento das árvores. A aplicação da tecnologia Penergetic não proporcionou incremento ao volume de madeira produzida, sendo necessários outros estudos para compreender a eficácia do produto em florestas plantadas de eucalipto. As correlações significativas encontradas mostraram existir nutrientes disponíveis no solo, porém, com pouca resposta sobre as variáveis dendrométricas. As correlações negativas encontradas podem apresentar relação direta com a aplicação do Penergetic, onde apenas uma aplicação pode não ter surtido o efeito positivo.

Palavras-chave: *Eucalyptus* spp. Bioestimulante. Fertilização.

ABSTRACT

CANAN, Dianafaz Eloiza. **Evaluation of different penergetic dosages in a eucalyptus plantation in the southwest of Paraná.** 2021. 57f. Work conclusion course (Graduation in Forest Engineer). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Dois Vizinhos, 2021.

Forest plantations play an increasingly important role in satisfying global demand for wood, and eucalyptus plantations in particular, as they are booming. However, the high productivity of commercial eucalyptus plantations in Brazil largely depends on fertilizer applications. Therefore, there is a need to investigate strategies to increase the efficiency of fertilizers, with the use of soil and plant biostimulators being an option. Within this context, the objective of this work was to evaluate the effect of different concentrations of the soil bioactivator Penergetic®-Kompost (K) and the plant Penergetic®-Pflanzen (P) in a eucalyptus stand in the southwest region of Paraná. Penergetic was applied at the time of planting the seedlings in different doses. After 36 months, the forest inventory was carried out and the analysis of leaf nutrients was carried out. In addition to measuring 20% of the height of the sampling unit, and 100% of the DBH, the cubage was carried out to estimate the volume. There was a significant correlation for dendrometric variables (dap x height) and for volume x dap and height x potassium. For the correlation between nutrients, the significant effect occurred between N x P, Nx Mg for the macronutrients, and for the micronutrients B x Cu, Cu x Zn, Fe x Mn, Fe x Al, Al x Mn, and B x Mn . For the other nutrients, there was no significant correlation. There was a significant effect for height with the use of Penergetic. Diameter and volume did not show the same response. For the evaluated nutrients, only potassium showed a significant difference, while for the micronutrients there was no response regarding the evaluated statistics. The application of Penergetic did not influence the development of Eucalyptus for the DBH variable, however there was little significant difference for height, indicating the need for further studies. The concentrations of macronutrients and micronutrients in the leaves were within the normal range for the species of the genus and, in some cases, above the upper limit of the normal range, not limiting the growth of trees. The application of Penergetic technology did not increase the volume of wood produced, and further studies are needed to understand the effectiveness of the product in planted eucalyptus forests. The significant correlations found showed the existence of nutrients available in the soil, however, with little response on dendrometric variables. The negative correlations found may have a direct relationship with the application of Penergetic, where only one application may not have had the positive effect.

Keywords: *Eucalyptus* spp. Biostimulant. Fertilization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização do experimento no município de Cruzeiro do Iguaçu – PR.	25
Figura 2 - Representação esquemática da mensuração de alturas realizada na unidade amostral.....	29
Figura 3 - Representação esquemática do método utilizado na coleta de folhas	30
Figura 4 - Gráfico Boxplot da altura do eucalipto sob diferentes concentrações de Penergetic.	35
Figura 5 - Gráfico Boxplot do diâmetro altura do peito (DAP) do eucalipto sob diferentes concentrações de Penergetic.	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Modelos hipsométricos utilizados para estimar alturas nos diferentes tratamentos utilizando Penergetic	31
Tabela 2 - Equações avaliadas para estimativas de volume dos plantios de eucalipto localizados no Cruzeiro do Iguaçu, PR	32
Tabela 3 - Dados obtidos através da modelagem utilizando o modelo 1 - Curtis	33
Tabela 4 - Parâmetros da equação volumétrica utilizando o modelo 2 para os tratamentos T4 e T8	34
Tabela 5 - Frequência relativa (%) das árvores para cada classe de DAP nos tratamentos, Cruzeiro do Iguaçu, 2021	36
Tabela 6 - Estatística descritiva do DAP dos plantios de eucalipto localizados no Cruzeiro do Iguaçu, PR	37
Tabela 7 - Análise das variáveis dendrométricas dos plantios de eucalipto localizados no Cruzeiro do Iguaçu, PR	38
Tabela 8 - Resultado da análise foliar de macronutrientes de eucalipto localizados no Cruzeiro do Iguaçu, PR	39
Tabela 9 - Resultado da análise foliar de dos plantios de eucalipto localizados no Cruzeiro do Iguaçu, PR	42
Tabela 10 - Coeficiente de correlação de Pearson entre os atributos do eucalipto com aplicação de diferentes dosagens de penergetic solo e planta	43
Tabela 11 - Matriz de correlação de Pearson entre os nutrientes foliares do eucalipto com aplicação de diferentes dosagens de penergetic solo e planta .	46

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Representação da disposição dos tratamentos utilizando diferentes dosagens de Penergetic	27
Quadro 2 - Diferentes doses do bioativador Penergetec solo e planta em cada tratamento realizado.....	27

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVO	12
2.1	Objetivo geral	12
2.2	Objetivos específicos	12
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
3.1	Importância do eucalipto na economia brasileira e para produção de bioenergia.....	13
3.2	Fertilidade do solo e nutrição de planta	14
3.2.1	Nutrição de planta	14
3.2.2	Sistema Solo	16
3.2.3	Organismos do solo.....	16
3.2.4	Matéria Orgânica	17
3.2.5	Fósforo (P)	19
3.2.6	Potássio (K).....	20
3.3	Bioestimulantes	22
3.3.1	Bioestimulante PENERGETIC®	23
4	MATERIAIS E MÉTODOS	25
4.1	Caracterização da área de estudo	25
4.2	Plantio e tratamentos silviculturais	26
4.3	Delineamento experimental e tratamentos	26
4.4	Aplicação doses do bioestimulador.....	28
4.5	Obtenção dos dados.....	28
4.5.1	Inventário Florestal.....	28
4.5.2	Análise Foliar.....	29
4.5.3	Cubagem rigorosa.....	30
4.6	Análise estatística.....	31
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	33
5.1	Variáveis dendrométricas	33
5.2	Estado nutricional do eucalipto.....	39
5.3	Análise de correlação de Pearson.....	43
	CONCLUSÃO	48
	REFERÊNCIAS.....	49

1 INTRODUÇÃO

As plantações florestais representaram em 2020 cerca de 290 milhões de hectares (7% das áreas florestais mundiais) (FAO, 2020), e desempenham um papel cada vez maior para satisfazer o aumento na demanda global de madeira (KEENAN et al., 2015). No Brasil em 2019 a área total de plantações florestais totalizou 9,0 milhões de hectares e, desse total, os plantios com eucalipto ocupam 6,97 milhões de hectares (77%) (IBÁ, 2020).

As plantações de eucalipto estão se expandindo rapidamente nas regiões tropicais e subtropicais para fornecer matéria-prima para madeira, papel e biocombustíveis, bem como grandes quantidades de lenha e carvão para uso doméstico (BOOTH, 2013).

A maioria dos solos brasileiros apresenta baixa fertilidade natural (SOUSA e LOBATO, 2004), associada a elevada acidez e concentração de alumínio, necessitando, portanto, de altas doses de corretivos e fertilizantes para garantir uma produção satisfatória (CARVALHO et al., 2017). Inclusive a alta produtividade das plantações comerciais de eucalipto no Brasil depende, em grande parte, das aplicações de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) (GONÇALVES et al., 2013). Porém, tais práticas ocasionam um aumento nos custos, uma vez que os fertilizantes são em sua maioria importados (RODRIGUES et al., 2015). Aliado a isso, os potenciais impactos ambientais negativos de fertilizantes podem limitar seu uso em plantações de eucalipto no futuro (BRUNELLE et al., 2015).

Dentro desse contexto, surge a necessidade de investigar estratégias para aumentar a eficiência de fertilizantes ou produtos que forneçam resultados semelhantes. Uma estratégia que vem sendo utilizada com a proposta de reduzir a necessidade de fertilizantes minerais solúveis são os bioestimulantes de solo e planta, que são constituídos por substâncias orgânicas, ácidos húmicos e fúlvicos, aminoácidos, extrato de algas e vitaminas, que podem ou não, estar associados a micronutrientes (CASTRO et al., 2007).

O uso de substâncias denominadas bioestimulantes tem sido proposto na literatura como uma solução alternativa e sustentável para aumentar a produtividade (DE PASCALE; ROUPHAEL; COLLA, 2017), impulsionado por

preocupações ambientais e os esforços para reduzir a quantidade de aplicação de fertilizantes convencionais. Mas até o presente momento, seu uso na silvicultura tem recebido menos atenção do que na agricultura.

No geral, estudos utilizando bioestimulantes em espécies florestais é incipiente e levando em consideração que mais de 35% da demanda global de madeira é suprida por florestas plantadas (MCEWAN et al., 2020), o manejo sustentável de florestas plantadas torna-se uma questão interessante no setor florestal. Portanto, trabalhos que abordem essa temática são de extrema importância.

O bioestimulante Penergetic® é uma tecnologia de bioativação natural, desenvolvido na Suíça e tem sido utilizado no Brasil há alguns anos. O objetivo do bioestimulante Penergetic é promover melhoria das condições do solo e da planta, por meio da multiplicação de microrganismos e do melhor aproveitamento de nutrientes, respectivamente (FRANCO JUNIOR, 2017).

Dentro desse contexto a hipótese do trabalho é que o bioativador Penergetic® será benéfico ao desenvolvimento e produção de madeira de eucalipto, por meio da facilitação da absorção de nutrientes e maior tolerância a estresses bióticos e abióticos.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

Avaliar o efeito de diferentes concentrações do bioestimulante de solo Penergetic®-Kompost (K) e de planta Penergetic®-Pflanzen (P) em *Eucalyptus camaldulensis* x *E. grandis*) x *E. urophylla* plantado no Sudoeste do Paraná.

2.2 Objetivos específicos

O presente trabalho tem como objetivos específicos:

- Avaliar o desenvolvimento do *Eucalyptus* (CA x UR) x EU comparando as diferentes combinações de concentrações (0; 450g e 900g) do bioestimulante;
- Analisar o teor de nutrientes foliares disponíveis em cada tratamento com diferentes doses de bioestimulantes de solo e folha;
- Correlacionar as variáveis dendrométricas, visando definir se há relação entre o crescimento e desenvolvimento das plantas submetidas a diferentes dosagens de bioestimulante.
- Correlacionar as variáveis dendrométricas com o teor foliar dos nutrientes.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Importância do eucalipto na economia brasileira e para produção de bioenergia

O gênero *Eucalyptus* foi introduzido no Brasil inicialmente para extração de óleo essencial e fins decorativos, o ano da sua introdução pode ter ocorrido entre 1825 e 1868 no Jardim Botânico e Museu Nacional do Rio de Janeiro, no estado de São Paulo entre 1861 e 1863 e no estado do Rio Grande do Sul entre 1868. As espécies deste gênero ocorrem naturalmente na Austrália, Tasmânia e ilhas da Oceania (SANTAROSA et al., 2014).

O grande impulso na eucaliptocultura aconteceu com a publicação da Lei de Incentivos Fiscais ao Reflorestamento, Lei no 5.106 de 1966, a qual possibilitou que investimentos realizados em reflorestamento ou florestamento pudessem ser abatidos em suas declarações de rendimento das pessoas físicas ou jurídicas, outra alavanca para o setor foi o Plano Nacional de Desenvolvimento (II PND) que incentivou o desenvolvimento econômico e social do país (IPEA, 2016).

Atrelado a isso, o vasto potencial de utilização, servindo como matéria-prima para produção de celulose, carvão, papel, óleos essenciais e madeira, tornaram o *Eucalyptus* o gênero florestal exótico mais importante no Brasil (BRISOLAL e DEMARCO, 2011).

A energia derivada da biomassa florestal é amplamente utilizada no Brasil, e essa prática passa pela seleção de materiais genéticos com potencial energético superior, principalmente clones e espécies do gênero *Eucalyptus* (PROTÁSIO et al., 2013).

Segundo o Indústria Brasileiro de Árvores (IBÁ, 2020), o estado do Paraná é o maior produtor do sul, conta com 1,01 milhões de hectares de floresta plantada, sendo 0,27 milhões de hectares com espécies de eucalipto. O setor de florestas plantadas é responsável por 1,2% do PIB nacional, gerando no ano de 2019 uma receita bruta de 94,7 bilhões de reais.

Além da produção de celulose, o eucalipto também é fonte de carvão vegetal para gerar energia e de madeira sólida usada em aplicações na

construção civil, móveis, revestimentos, pisos e produção de óleos essenciais (BORA et al., 2016).

A madeira sempre foi uma fonte de energia barata, de fácil acesso e renovável, do ponto de vista energético. Levando em consideração que a indústria mundial de energia atualmente busca por recursos energéticos sustentáveis, a biomassa vem ganhando posição de destaque nesse contexto. Além de atender aos requisitos de sustentabilidade, tem sido apontada como potencial fonte alternativa de energia caso os recursos não renováveis deixem de estar disponíveis (PROTÁSIO et al., 2013).

O gênero *Eucalyptus* se destaca para geração de bioenergia, devido características como: produtividade, elevada densidade de madeira, capacidade de rebrota e qualidade de biomassa (BARREIRO e TOMÉ, 2012).

Isso porque as espécies do gênero *Eucalyptus* possuem elevada eficiência nutricional, com maior capacidade de retranslocação de nutrientes que outras espécies florestais. Isso significa que pouco antes das quedas das folhas, elas migram os nutrientes (principalmente N, P e K) para os galhos, e, portanto, conseguem aproveitar essa disponibilidade de nutrientes para produção de madeira maciça (COSTA; GAMA-RODRIGUES; CUNHA, 2005).

Em virtude do elevado número de florestas plantadas no Brasil faz-se necessários estudos que busquem alternativas para viabilizar a produção do eucalipto em menor tempo e com maiores produtividades, como é o caso do uso de bioativadores.

3.2 Fertilidade do solo e nutrição de planta

3.2.1 Nutrição de planta

A nutrição das plantas, ocorre a partir da absorção dos nutrientes presentes no solo. Esses nutrientes, são requisitados pelas plantas para se ter um bom desenvolvimento, e são oriundos de minerais presentes nas rochas. Esses minerais, são liberados à medida que as rochas sofrem o processo de intemperismo, e convertidos em íons e compostos orgânicos que são liberados gradativamente na solução do solo para ser utilizados pelas plantas (MAULSETH, 2009).

Esses elementos, desempenham funções necessárias ao seu desenvolvimento, e são separados em dois grupos, os macronutrientes e os micronutrientes. Essa separação é tida de acordo com a quantidade do nutriente, e sua necessidade de acordo com a fase de desenvolvimento do vegetal (MARSCHNER, 1995; MENGEL e KIRKBY, 2001; EPSTEIN e BLOOM, 2004).

Tanto os macronutrientes quanto os micronutrientes desempenham um papel de importância nas funções exercidas pelas plantas, e a sua falta pode acarretar desequilíbrios, apresentando assim plantas suprimidas. Como micronutrientes temos: Ferro (Fe), Manganês (Mn), Cobre (Cu), Molibdênio (Mo), Zinco (Zn), Boro (B), Cloro (Cl), Níquel (Ni). E como macronutrientes, tem-se o Enxofre (S), Fósforo (P), Magnésio (Mg), Cálcio (Ca), Potássio (K), Nitrogênio (N), Oxigênio (O), Carbono (C), Hidrogênio (H) (EPSTEIN; BLOOM, 2004).

Conforme Coelho (2015), solos com baixa fertilidade, ou seja, que apresentem capacidade nutricional reduzida tendem a apresentar elevada acidez, esses solos são distribuídos na maioria das regiões produtivas do Brasil. Para Silva (2015), cerca de 70 % dos solos com cultivo no Brasil, apresentam alguma necessidade nutricional.

Dessa forma, tendem a serem “corrigidos” afim de alcançar o objetivo para a produção das plantas, incrementando altas doses de adubo. Essa prática de adubação é consideravelmente comum, e por muitas vezes realizada de forma errada, fato esse, que acaba prejudicando o solo, originando um desequilíbrio nos nutrientes presentes (LOPES, 1994).

A escassez de água e nutrientes em florestas plantadas, são fatores que interferem a produtividade e no desenvolvimento do Eucalipto. As florestas plantadas, em grande maioria se localizam em solos com alta intemperização, e dessa forma restringem de forma significativa a nutrição das plantas. Portanto, a adição de nutrientes minerais ao solo torna-se necessário, visando um bom crescimento e desenvolvimento destas florestas, com ênfase em alta produtividade (GONÇALVES, et al., 2013; STPNEMAN et al., 1996).

3.2.2 Sistema Solo

O solo é considerado um sistema aberto que apresenta constantemente troca de matéria e energia com o meio, não sendo um sistema simples devido as relações que ocorrem em seu interior, entre os organismos que o compõe (macrorganismos, mesorganismos e microrganismos), vegetais e nutrientes (ADDISCOTT, 1995).

Os vegetais apresentam uma parcela maior na implementação de compostos orgânicos primários no solo, que são sintetizados pela ocorrência da fotossíntese, processo que utiliza energia solar, CO₂, água e nutrientes. Já na adição de compostos secundários, os principais responsáveis são os organismos. Os microrganismos presentes no solo, em especial microrganismos heterotróficos, obtém a energia para o seu desenvolvimento através da decomposição dos restos vegetais e da matéria orgânica do solo (VEZZANI, 2001b).

A movimentação dos nutrientes em plantios florestais é realizada devido a absorção dos minerais das camadas mais profundas do solo, que retornam as camadas superficiais pela incidência da chuva sob a parte área da planta, bem como pelo ciclo biogeoquímico. Dessa forma, disponibilizam os nutrientes do material vegetal depositado na camada de superfície, por meio da ação dos microrganismos presentes no solo (VEZZANI, TEDESCO e BARROS, 2001). Para Santana, et al., (2008) a capacidade nutricional de uma floresta está diretamente ligada ao balanço dos minerais presentes no sistema solo-planta, e quando o sistema atinge um nível ótimo, tem-se uma produção sustentável.

3.2.3 Organismos do solo

Os organismos presentes no solo são responsáveis pela transformação da energia e material vegetal, de forma que isso possa ser utilizado de maneira correta para o funcionamento do solo. Esses organismos são classificados em microrganismos, macrorganismos, e mesorganismos, vírus, bactérias, fungos, algas, artrópodes, e protozoários, acarretando grande variedade de populações, onde cada um contribui com as atividades bióticas do ambiente (CARDOSO, 1992).

Esses organismos tem a capacidade de degradar compostos como, polissacarídeos, aminoácidos, proteínas, lipídios, até materiais mais difíceis, como restos de plantas, ceras, e látex, e ainda tem a capacidade de quebrar compostos químicos, que são necessários ao funcionamento das plantas (TORSTENSSON, 1980).

Os macros e mesorganismos realizam a fragmentação física dos restos vegetais, partição do material vegetal, junção de materiais orgânicos e minerais e formação de bioporos e ainda, influenciam diretamente na atividade dos microrganismos presentes no solo fazendo sua regulação (CORREIA e OLIVEIRA, 2005). Os fungos e bactérias são mais conhecidos por atuar nas transformações bioquímicas, como em quebrar moléculas de agrotóxicos (PEPPER, et al., 1996).

Esses organismos fazem parte do que chamamos de biomassa microbiana, sendo considerados como parte “viva” da matéria orgânica do solo. Em plantios florestais, a atividade microbiana desempenha papel importante no solo, como a decomposição de material orgânico, ciclagem de nutrientes, e ainda é considerada uma grande reserva de Nitrogênio, Fósforo e energia (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006).

Essa biomassa, pode ser considerada como um indicador de qualidade do solo, devido a influência do Manejo realizado na floresta, que interfere na densidade desses organismos no solo, bem como sua diversidade e a realização das atividades fundamentais para a floresta (PANKHURST, et al., 1995).

3.2.4. Matéria Orgânica

A matéria orgânica do solo (MOS), é originada a partir da decomposição do material orgânico presente no solo. Esses materiais orgânicos podem ser compostos lábeis, que apresentam a mineralização de forma mais rápida, e compostos mais recalcitrantes, que tendem a ser mais resistentes ao fracionamento, e acumulam sub-produtos de origem microbiana. Os compostos ditos como lábeis, são em sua grande maioria os resíduos das plantas, em estágio inicial de decomposição e células microbianas, onde apresenta maior taxa de decomposição em um menor tempo de permanência no solo (PICCOLO, 1996; MIELNICZUK, 2008).

Os compostos que apresentam maior recalcitrância, apresenta dois terços da matéria orgânica do solo, e em sua composição há presença de substâncias húmicas com alta grau de polarização, sendo moléculas com maior complexidade de vários tamanhos e formas, que são oriundas da ação microbiana sobre os restos dos vegetais. A diferença entre os compostos lábeis e as substâncias húmicas, são de que as substâncias húmicas apresentam diferença na sua estrutura molecular, e apresenta maior permanência no solo (PICCOLO, 1996).

A distribuição da matéria orgânica no solo é variada, essa variância se dá devido a origem, as propriedades físicas, químicas e mineralógicas do solo. Na grande maioria dos solos, há incidência maior da atividade biológica na camada superficial do solo (0-20 cm), devido a ocorrência do depósito do material vegetal, além do efeito das raízes (RASCHE; CADISH, 2013).

A MOS é capaz de influenciar nas propriedades do solo, na disponibilidade de nutrientes para a ocorrência da multiplicação de células microbianas e de plantas no geral, e ainda regula a ciclagem do carbono, realizando sua estabilização. A ocorrência de mudanças na capacidade nutricional de um solo, que acarrete por exemplo uma redução da matéria orgânica, influencia diretamente a biodiversidade da microbiota do solo (RASCHE; CADISH, 2013).

Em relação as propriedades físicas do solo, há evidências que o teor de matéria orgânica, tem a capacidade de melhorar a qualidade do solo, sendo capaz de ampliar a capacidade dos agregados do solo, e afetando de forma positiva também a densidade, porosidade, aeração, capacidade de infiltração, retenção e percolação de água (BAYER; MIELNICZUK, 2008; ZERZGHI et al., 2010). Entre as propriedades químicas, destaca-se a disponibilidade de nutrientes para as culturas, a CTC, a complexação de micronutrientes fundamentais em solos tropicais bastante intemperizados e altamente ácidos. Dessa forma, a matéria orgânica pode ser considerada como uma fonte de nutrientes, disponibilizando para a planta minerais essenciais como Nitrogênio, Fósforo e Enxofre (BAYER; MIELNICZUK, 2008).

3.2.5 Fósforo (P)

O fósforo, é um macronutriente necessário para o desenvolvimento das plantas. É enquadrado como 12º elemento mais abundante na crosta da terra, e se encontra em componentes estruturais de células e em componentes metabólicos móveis. O abastecimento desse elemento essencial se dá a partir da absorção via sistema radicular, e sua absorção é resultante da capacidade de fornecimento desse mineral em substratos, sendo ele, um dos nutrientes que apresentam maior limitação a produtividade em solos tropicais (GATIBONI, 2003a; RAGHOTHAMA, 1999).

A distribuição desse mineral no solo é dependente da natureza química do ligante, bem como a ligação entre o solo e esse mineral. É possível encontrar esse nutriente na forma de P orgânico diéster, P orgânico monoéster, P inorgânico com ligações de compostos como Fe, Al, Ca, óxidos e argilas silicatadas, podendo ainda ser associado a outros íons e moléculas em diferentes tipos de ligações, e dessa forma, o Fósforo presente no solo tende a apresentar, diferentes capacidades de dessorção/abastecimento da solução do solo, sendo fracionado de acordo com a disponibilidade da devolução do mineral no solo (GATIBONI, et al., 2007b).

A labilidade desse elemento, bem como a sua forma e seu grau podem variar de acordo com as propriedades do solo, solos mais jovens com presença de fosfato de cálcio são os maiores fornecedores de fósforo para os organismos, já solos mais velhos (com maior grau de intemperização) é necessário a ciclagem dos fosfatos orgânicos para ocorrer a disponibilização do fósforo (GATIBONI et al., 2008c).

Em solos subtropicais e tropicais, o P é dependente da adsorção que ocorre nos grupos funcionais de colóides inorgânicos. É importante a realização de um diagnóstico para avaliar a disponibilidade desse mineral, sendo isso feito através de análises de solo para verificar a necessidade de adição desse elemento, e em qual dose é melhor aplicada (SANTOS, et al., 2008).

Esse elemento desempenha um papel na planta relacionado com os processos de produção de energia (ATP), fotossíntese, respiração, além disso participa da síntese e composição de ácidos nucléicos, membrana celular,

reações de óxido-redução, ativação/inativação de enzimas, entre outras funções (HISINGER, 2001).

A implantação de florestas geralmente, ocorrem em solos com menor quantidade de fósforo disponíveis para as plantas, e tendem a prejudicar o desenvolvimento de espécies (SANTANA et al., 2008; LEITE et al., 2016). O fósforo, é bastante utilizado na fase inicial das plantas e acarreta em uma maior formação das raízes, e maior comprimento, sendo um elemento considerado importante para o estabelecimento da muda (SCHUMACHER et al., 2004). Bazani, et al., (2014) mencionam em seus estudos que apesar do P ser um macronutriente e apresentar menor concentração na planta, apresenta grande influência na produtividade do Eucalipto.

Dias, et al., (2015), analisando a eficiência dos fosfatos na adubação de duas espécies de Eucalipto (*E. dunnii* e *E. bentamii*) constatou que obteve resposta positiva no uso da adubação fosfatada em relação a testemunha, havendo assim acréscimo na produção de massa seca de matéria seca da parte aérea, caule, ramos, raiz e matéria seca total.

3.2.6 Potássio (K)

Semelhante ao fósforo, o potássio também é um macronutriente requisitado pelas plantas. É o 10º elemento mais abundante na crosta da terra, onde ocorre de forma natural na natureza, sob a forma de alguns compostos. Está presente em minérios formados a partir de cloretos e sulfatos, e ainda em outros diversos minerais, com teores desse elemento que variam entre 2 a 10%. A ação do intemperismo pode acarretar em uma alteração química, essa alteração é capaz de gerar compostos solúveis de potássio que são transportados pelos fluxos de água ou depositados em bacias fechadas (NASCIMENTO e LAPIDO- LOUREIRO, 2004).

Esse elemento é importante no metabolismo vegetal, sendo essencial para a sua sobrevivência. Desempenha funções como a ativação da catálise biológica, através de enzimas promovendo o metabolismo do nitrogênio, e a síntese de proteínas, nas plantas verdes, apresenta também funções reguladoras da osmose, facilitando a absorção e perda de água, promove também a síntese do açúcar disponibilizando-o para os tecidos de

armazenamento das plantas (MARSCHNER, 1995; BOURNE et al., 1988; MENDES, 2013).

A ocorrência desse mineral no solo, está atrelada a forma com que esse elemento se liga a matéria sólida do solo, e ainda pela energia dessas ligações, dessa forma, originando as diferentes formas de Potássio que podemos encontrar no solo: estrutural, trocável, não-trocável e solúvel. As formas, trocáveis, não-trocáveis e solúveis se apresentam em equilíbrio dinâmico, onde qualquer forma de alteração nos teores de K oriundas da adubação do solo, bem como a captação desse mineral pelas plantas e perdas, pode vir a modificar a quantidade desse elemento no solo de acordo com as formas (VILLA; FERNANDES; FAQUIN, 2004; CABBAU et al., 2004)

A disponibilidade desse mineral para os vegetais, bem como a capacidade de suprir a demanda desse nutriente no solo, são dependentes de minerais primários e secundários, da adição desse nutriente no solo através do uso de fertilizantes, e a ciclagem de nutrientes realizada pelas plantas. Portanto, esse nutriente torna-se disponível dependendo da forma em que se encontra presente no solo, e o quanto está armazenado na sua forma (MCLEAN e WATSON, 1985; NACHTINGALL e VALL, 1991).

O Potássio juntamente com o Fósforo, são os nutrientes que maior apresentam influência na produção das plantas de Eucalipto. A adição desses minerais no solo, podem acarretar em um aumento significativo em produtividade, levando em consideração áreas que apresentam baixos teores destes nutrientes (ALMEIDA, et al., 2007).

Teixeira et al., (2006) menciona em seus estudos, que a adubação com potássio pode apresentar influência positiva para as variáveis como altura e massa de matéria seca, em plantas sob condições de estresse hídrico ou até mesmo em condições normais. Sette Jr et al., (2010) menciona em seus estudos, que a adubação potássica pode acarretar em um aumento de diâmetro de tronco em Eucalipto.

3.3 Bioestimulantes

Os bioestimulantes são substâncias sintéticas que possuem ações semelhantes à dos reguladores vegetais, alterando os processos vitais e estruturais das plantas (VIEIRA e CASTRO, 2002). A maioria dos bioativadores em uso hoje são misturas complexas de produtos químicos derivados de um processo biológico ou extração de materiais biológicos (YAKHIN et al., 2017).

Quando aplicados em plantas, esses bioestimulantes podem modificar ou alterar processos metabólicos e fisiológicos específicos, como aumento da divisão e alongamento celular; estimulação da síntese e fotossíntese por clorofila, diferenciação dos botões florais, aumento da vida das plantas, redução dos efeitos das condições climáticas adversas, bem como aumento da absorção de nutrientes, solidificação e aumento do tamanho do fruto (CATANEO et al., 2006).

Quando aplicados no solo esses bioestimulantes favorecem a atividade microbiológica do mesmo, otimizam a liberação nutrientes (ASSIS et al., 2014). Os efeitos positivos associados ao uso de bioestimulantes variam de ganhos em produtividade (DE SOUZA; DE ALMEIDA; ALBERTON, 2017), menor sensibilidade a estresses abióticos (LUCINI et al., 2015), resistência à seca e condições extremas de temperatura (KAUFFMAN; KNEIVEL; WATSCHKE, 2007), bem como a capacidade de aumentar a absorção e o uso de nutrientes (HALPERN et al., 2015).

Estudo com bioestimulante de solo no desenvolvimento inicial do cafeeiro mostrou resultados positivos, promovendo melhor desenvolvimento inicial do cafeeiro, com ganhos em diâmetro, peso verde e seco, número de folhas por muda, área foliar, altura de planta e comprimento de raiz (DE SOUZA et al., 2019).

Dentre os bioestimulante disponíveis para comércio tem-se o Pengergetic®. Ele tem sido amplamente utilizado no Brasil e, entre seus mecanismos de ação, favorece a atividade microbiana do solo e, com isso, aumenta a ciclagem de nutrientes e, conseqüentemente, reduz a utilização de fertilizantes minerais solúveis, proporcionando melhor qualidade de vida aos

produtores rurais e menos agressões ao meio ambiente (BRITO; DEQUECH; BRITO, 2012).

3.3.1 Bioestimulante PENERGETIC®

A tecnologia PENERGETIC consiste na aplicação de produtos PENERGETIC K® e P a partir de argila bentonítica submetidos à aplicação de campos elétricos e magnéticos. Esses produtos, segundo o fabricante, são utilizados (1) como bioestimulante de solos (PENERGETIC K® aplicado no solo) que potencializa e equilibra a atividade microbiana no solo e (2) como bioestimulante de planta, que fornece mais energia ao processo fotossintético e facilita a interação + benefício do micróbio da planta (PENERGETIC P®) (NASCENTE, COBUCCI, 2014). Já existem resultados promissores da utilização desses produtos em soja (DE SOUZA; DE ALMEIDA; ALBERTON, 2017), feijão (DUTRA, 2016), café (FRANCO JUNIOR et al., 2019), rabanete (HATA; SOUSA; DE FREITAS FREGONEZI, 2019). Porém, apesar desses resultados, as pesquisas do uso dessa tecnologia em espécies florestais são incipientes.

Há disponível dois produtos comerciais, sendo eles: o PENERGETIC® Kompost e o PENERGETIC® Pflanzen. O PENERGETIC K® é considerado um bioativador do solo, aumenta e equilibra as atividades microbiológicas no solo, já o PENERGETIC P® é bioestimulante de plantas, fornece mais energia para o processo fotossintético e facilitando a interação planta + microorganismos benéficos (PENERGETIC, 2014).

O PENERGETIC®K acelera a mineralização da matéria orgânica, disponibilizando na solução do solo aqueles nutrientes previamente imobilizados na M.O (NASCENTE; COBUCCI, 2014; PENERGETIC, 2016), promovendo melhor enraizamento, mineralização e solubilização do fósforo imobilizado, reduzindo o uso de insumos (CALEGARI, 2013), possibilitando aos agroecossistemas serem mais produtivos e sustentáveis (BRITO; DEQUECH; BRITO, 2012).

O PENERGETIC®P é um bioativador vegetal com efeito no processo fotossintético, possibilitando aumentar a eficiência da fotossíntese (BRITO; DEQUECH; BRITO, 2012; PENERGETIC, 2016), melhora o estado nutricional da planta, proporcionando um equilíbrio biológico e fisiológico da mesma, o que

resulta em aumento do potencial produtivo, além de reduzir os custos com insumos agrícolas (FERNANDES, SANTINATO; SILVA 2010).

Segundo a empresa Penergetic, são produtos com tecnologia capaz de promover o aumento da vitalidade e equilíbrio dos sistemas biológicos de produção. Dentre os benefícios trazidos pelo produto estão incluídos: redução no uso de fertilizantes, a liberação do Fósforo fixado no solo, aumento da produtividade e sanidade, melhor qualidade do produto, reequilíbrio dos microrganismos do solo e melhor aproveitamento dos insumos agrícolas (PENERGETIC, 2014).

O desenvolvimento de tecnologias que proporcionem maior disponibilidade de P às plantas poderia proporcionar redução da quantidade de fertilizantes P aplicados no solo, trazendo benefícios econômicos e ambientais, uma vez que esses fertilizantes P são produzidos a partir de reservas minerais de caráter não renovável (NASCENTE, COBUCCI, 2014).

A tecnologia Penergetic combina produtos que ativam a biomassa do solo para disponibilizar o fósforo às plantas. A nutrição mineral adequada obtida a partir de boas práticas agrícolas de manejo do solo e fertilização é essencial para obter altos rendimentos de forma economicamente viável.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área de estudo

O trabalho foi desenvolvido no município de Cruzeiro do Iguaçu, na região sudoeste do Paraná, próximo ao Rio Iguaçu (Figura 1). Segundo Alvares et al., (2013), o clima da região classificado de acordo com Köppen, como tipo Cfa (subtropical úmido), sem estação seca definida, apresentando temperaturas médias anuais entre 18 °C e 22°C, com ocorrência de geadas no período de inverno, precipitações médias de 1900 e 2200 mm anuais.

Figura 1 - Localização do experimento no município de Cruzeiro do Iguaçu – PR.



O município está localizado no terceiro planalto paranaense onde os solos são oriundos de derrames basálticos da formação Serra Geral, estas rochas deram origem a solos argilosos que se caracterizam pela significativa presença de minerais como ferro, titânio e manganês (GOMES et al., 2020).

Segundo a Santos et al., (2018), o solo que se encontra com maior predominância nesta região é o Latossolo Vermelho Distrófico típico de textura argilosa, com coloração vermelha acentuada devida a função dos altos teores de óxidos de ferro. Segundo Bognola et al., (2011) esse solo é encontrado em

uma situação onde ele é bem profundo, com uma boa drenagem por possuir macro e microporos bem reorganizado sendo caracterizado como friável há muito friável.

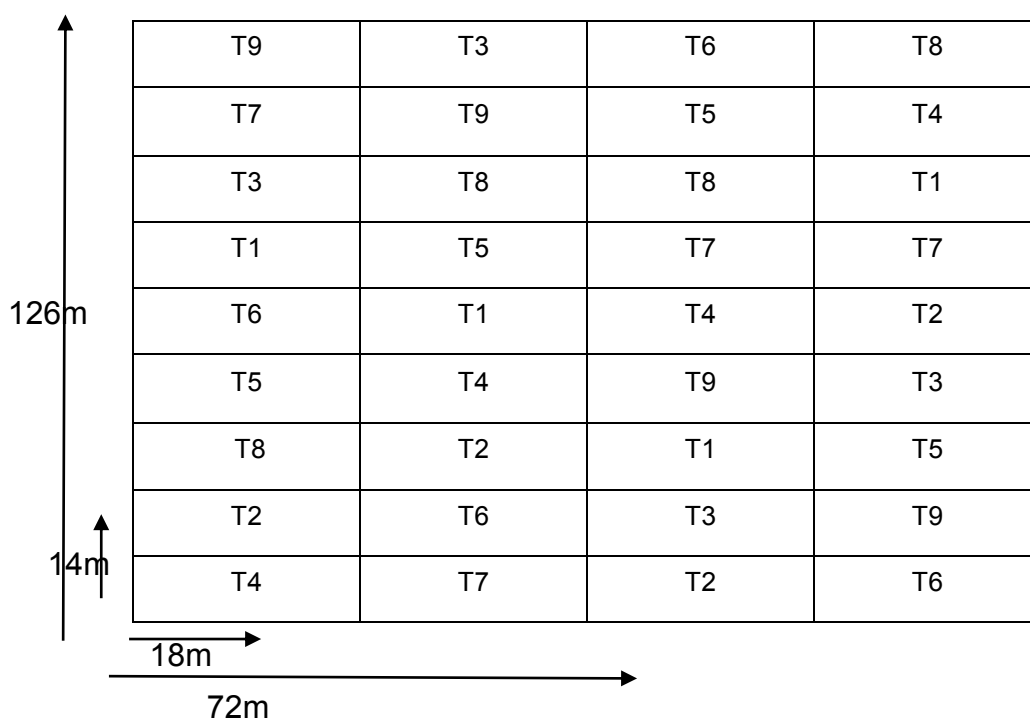
4.2 Plantio e tratos silviculturais

A área do talhão experimental é ocupada por um povoamento advindo do material genético de *Eucalyptus camaldulensis* x *E. grandis*) x *E. urophylla*, o plantio foi realizado no ano de 2018. O preparo foi realizado em área total utilizando capina química, a subsolagem foi realizada em linha, com profundidade de 0,60cm, o espaçamento utilizado é de 1,80mX3,00m. A adubação foi realizada aproximadamente 10 dias após o plantio utilizando a tecnologia HPN, adubo de liberação lenta com a formulação 12%N, 18%P, 12 %K e 14%S+0,5%B+0,5Cu+0,5Zn em torno de 400kg/ha aplicado em covetas laterais. O solo do local é composto por 624g/kg de argila, 311 g/kg de silte e 65 g/kg de areia e apresenta 26 g/dm³ de matéria orgânica.

4.3 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi de blocos inteiramente casualizados, com nove tratamentos distribuídos em quatro blocos, totalizando 36 parcelas. Cada parcela foi constituída de sete plantas na linha com distância de 1,80m e sete plantas na entre linha com distância de 3,00 metros, totalizando 252 m² por parcela e um total de 49 árvores. A área total do bloco foi de 2.268 m². A área total do projeto foi de 9.072 m². O Quadro 1 representa a disposição dos tratamentos utilizando o bioestimulante PENERGETIC® em cada unidade amostral.

Quadro 1 - Representação da disposição dos tratamentos utilizando diferentes dosagens de Penergetic



Fonte: A autora, 2021.

Foram utilizadas diferentes combinações nas concentrações de ambos os bioestimulante penergetic® K e de planta penergetic® P, sendo o tratamento 1 (T1) a testemunha, sem a aplicação do produto (Quadro 2):

Quadro 2 – Distribuição das diferentes doses do bioativador Penergetic solo e planta em cada tratamento realizado

Tratamento	Penergetic Solo (g/ha)*	Penergetic Planta (g/ha)*
T1	0	0
T2	0	450
T3	0	900
T4	450	0
T5	900	0
T6	450	450
T7	450	900
T8	900	450
T9	900	900

*Dosagem de produto em gramas/hectare.

Fonte: A autora, 2021.

4.4 Aplicação doses do bioestimulador

O produto, comercialmente formulado em pó, foi aplicado no momento do plantio das mudas. O pó foi diluído em água, para cada tratamento (Quadra 2) foi utilizado 50mL de água. A aplicação foi realizada utilizando bomba costal, onde foi estimado a queda de 0,250 mL de calda por planta. A aplicação foi realizada dessa forma tanto para o PENERGETIC P® aplicado na planta quanto para o PENERGETIC K® aplicado no solo.

4.5 Obtenção dos dados

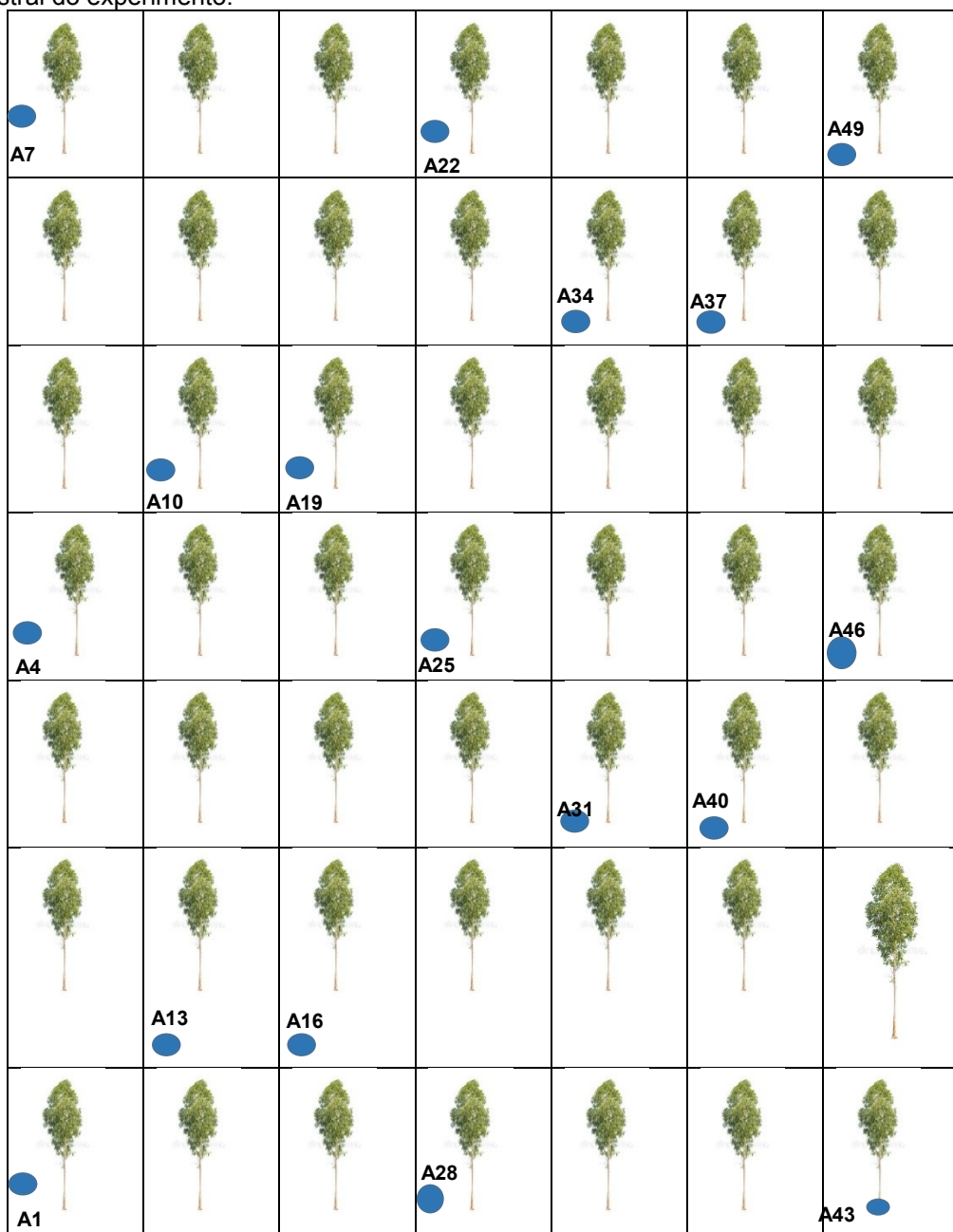
Inicialmente realizou-se o reconhecimento da área, onde os blocos e as parcelas foram identificadas, posteriormente, o inventário florestal foi realizado, o qual teve como finalidade o levantamento das variáveis dendrométricas do povoamento. A próxima etapa foi a derrubada das árvores para a coleta das folhas, a qual foi realizada para reconhecimento do estado nutricional do povoamento e a cubagem rigorosa para estimativa de volume.

4.5.1 Inventário Florestal

O povoamento estudado foi avaliado com 2,7 anos. Para a obtenção dos dados, foi realizado inventário florestal em todas as unidades amostrais. A primeira variável direta coletada foi o diâmetro a altura do peito (DAP), variável medida em todos os indivíduos a 1,30m a partir do nível do solo, facilitando a padronização do ponto de coleta e o manuseio dos instrumentos (MACHADO e FIGUEIREDO, 2003), o equipamento utilizado foi fita métrica graduada em centímetros.

A segunda variável avaliada foi a altura total, que foi mensura em 20% dos indivíduos da unidade amostral, com o uso do equipamento hipsômetro Vertex Haglof IV. Como o esquema de medição de altura, a árvore 1 de cada unidade amostrais foi amostrada, e a partir desta a cada três indivíduos era mensurada um, equivalendo a 20% de todas as árvores conforme (Figura 2):

Figura 2 - Representação esquemática da mensuração da altura total realizada em cada unidade amostral do experimento.



Legenda

● Indivíduos onde realizou-se a mensuração das alturas

A1 Árvore 1

Fonte: A autora, 2021.

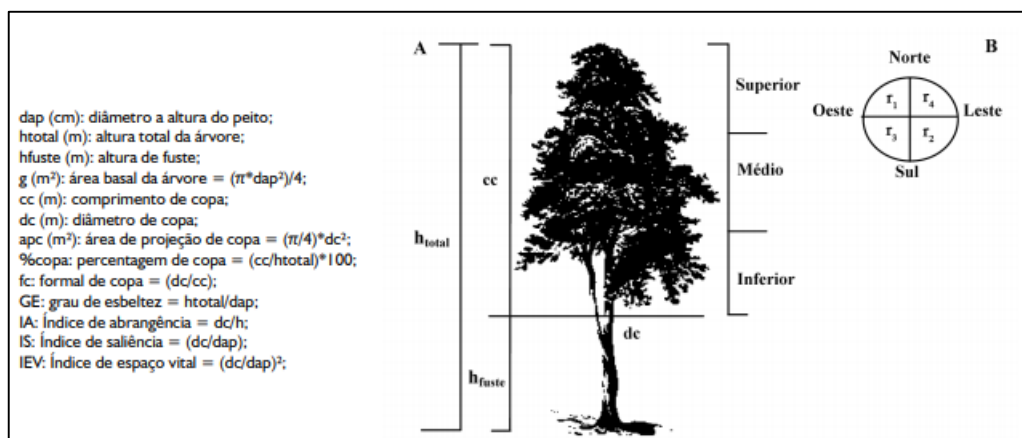
4.5.2 Análise Foliar

A metodologia utilizada para coleta das folhas foi adaptada segundo Surrage e Haag (1974). As folhas foram coletadas em ramos localizados no terço médio das árvores nos quatro sentidos cardiais, e mais quatro ramos

intercalados entre estes (Figura 3). As folhas maduras foram coletadas entre a terceira, quarta e quinta ou quinta, sexta e sétima folha. Cada amostra continha aproximadamente 150g de folhas. Após a coleta as folhas foram enviadas para análise em laboratório.

Após a coleta as folhas foram enviadas para análise química em laboratório, as técnicas utilizadas foram: ácido sulfúrico para determinação de (N); nitroperclórico para determinação de (P, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn, Na, Al) e Via seca parra (Br). A análise foliar foi realizada devido a necessidade de avaliar a qualidade nutricional do povoamento, a qual foi realizada separadamente conforme os tratamentos utilizados.

Figura 3 - Representação esquemática do método utilizado na coleta de folhas



Fonte: WINK et al., 2012.

4.5.3 Cubagem rigorosa

A cubagem rigorosa é utilizada para estimar o volume do fuste de uma árvore, o método utilizado na cubagem das árvores foi Smalian, a qual define que a árvore deve ser seccionada em n secções e na sua extremidade será realizada a mensuração do DAP / CAP (MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2014). As secções onde foram mensurados diâmetros foi a: 0,1m; 0,7m; 1,30m; 2m e então a cada dois metros, não foram definidos diâmetros mínimos.

Em cada unidade amostral, foi abatido um indivíduo, a qual realizou-se a cubagem, esta foi definida baseando-se no DAP médio de cada unidade amostral. O corte das árvores foi necessário, visando facilitar a mensuração nas diferentes secções em que foram coletados os diâmetros.

4.6 Análise estatística

Os ajustes dos modelos hipsométricos foram realizados para cada tratamento, buscando reduzir os *outliers*. Os modelos de relação hipsométrica (Tabela 1), são comumente empregados para expressar a relação hipsométrica de árvores (SANQUETTA et al., 2013), selecionando aquele que melhor se ajusta aos dados, os testes foram realizados através do pacote Office Excel®.

O critério de seleção foi para o menor erro padrão da estimativa em porcentagem ($S_{yx}\%$) e o maior coeficiente de determinação ajustada ($R^2_{aj.}$), maior “F” calculado e análise gráficos dos resíduos este procedimento de escolha é recomendado por Pizatto (1999), Donadoni (2010) e Sanquetta *et al.*, (2013).

Tabela 1 - Modelos hipsométricos utilizados para estimar alturas totais nos diferentes tratamentos utilizando Penegetic

	Modelos hipsométricos	Autores
1	$\ln H = B_0 + B_1 \frac{1}{dap}$	CURTIS, 1967
2	$\ln H = B_0 + B_1(\text{LOG}(dap))$	STOFELS

Em que: Ln: Logaritmo neperiano; Log: Logaritmo na base 10; V: Volume em metros cúbicos; DAP: Diâmetro a altura do peito em centímetros; H: Altura total; B0: Interceptor; B1: Coeficiente de inclinação.

Fonte: AZEVEDO et al, 2011.

Para realizar o ajuste do modelo foram utilizados as variáveis diretas coletadas à campo, as alturas observadas e diâmetros mensurados, para tal foi utilizado apenas 50% dos dados, sendo que o restante dos dados foram separados para realização da validação cruzada pelo método de k-fold.

A partir das distribuições diamétricas observadas permitiram inferir a dinâmica da predição do volume do povoamento estudado, utilizou-se a elaboração de uma equação para melhor representação. Para o ajuste da equação utilizou como variável depende o volume obtido através da cubagem, e como variáveis independentes o DAP e altura em sua forma simples, inversa e logarítmica. Para verificação da predição da equação utilizou-se parte da base de dados para ajuste do modelo. A equação foi validada a partir do método de validação cruzada de K-fold, selecionada a partir da obtenção do menor percentual de erro (RMSQ).

Após o ajuste e validação, a escolha da equação que melhor estimou os dados de volume para esse povoamento foi a equação 2, com RMSQ de 17% (Tabela 2). Após essa definição foi convertida em forma exponencial para utilização da estimativa do volume das demais parcelas.

Tabela 2- Equações avaliadas para estimativas de volume dos plantios de eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis* x *E. grandis*) x *E. urophylla*) submetidos a diferentes dosagens de Pengergetic solo e planta.

Equações avaliadas	
1	$\log(v) = b_0 + b_1 \cdot 1/dap + e$
2	$\log(v) = b_0 + b_1 \cdot \log(dap) + e$
3	$\log(v) = b_0 + b_1 \cdot \log(dap) + b_2 \cdot \log(ht) + e$

Em que: Log: Ln: Logaritmo neperiano; Log: Logaritmo na base 10; V: Volume em metros cúbicos; DAP: Diâmetro a altura do peito em centímetros; H: Altura total; B0: Interceptor; B1: Coeficiente de inclinação.

Fonte: A autora, 2021.

Os conjuntos de dados de inventário florestal, cubagem rigorosa e análise foliar foram submetidos ao teste de normalidade (Shapiro Wilk) e homogeneidade de variância (Bartlett) e, em seguida, análise de variância e teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Para as variáveis em que os dados não atenderam os pressupostos de normalidade e homogeneidade da variância, realizou-se a transformação pelo procedimento Box-Cox. As análises estatísticas foram processadas no software R versão 3.1.1. (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2019). Para as variáveis HT (altura total) e DAP (diâmetro a altura do peito) realizou-se o teste de média (Tukey ($p \leq 0,05$)), e também procedeu-se análise de agrupamento por *Boxplot*, que proporciona uma ideia de dispersão e distribuição dos dados.

O software IBM SPSS Statistics Corporation, versão 25 (IBM SPSS, 2020) foi utilizado para montar a matriz de correlação de Pearson entre todos os atributos pesquisados, contendo todas as combinações pareadas possíveis. Objetivou-se detectar a existência de correlações significativas ($p \leq 0,05$) entre os atributos da planta como altura, diâmetro e volumetria (variáveis dependentes) e os nutrientes foliares: N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Zn, Cl, Al (variáveis independentes).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados serão apresentados em três tópicos: o primeiro apresenta os resultados das variáveis dendrométricas avaliadas (diâmetro, altura e volume) em função das diferentes tratamentos de penergetic solo e planta testados. O segundo aborda a avaliação nutricional do eucalipto a partir da análise foliar o teor de macronutrientes e micronutrientes, enquanto o terceiro tópico apresenta a análise da correlação de Pearson tanto para as variáveis dendrométricas, quanto para os teores foliares encontrados em indivíduos de eucalipto onde foi aplicado diferentes dosagens de Penergetic solo e planta, utilizando doses de 0; 450 e 900g e suas combinações.

5.1 Variáveis dendrométricas

Os modelos hipsométricos relacionam altura e diâmetros O modelo 1, apresentou os melhores resultados para representação dos tratamentos citados na Tabela 2, sendo eles o T1, T2, T5, T6 e T9, pois apresentaram menor erro padrão e maior R^2 ajustado. O T6 (450g.ha⁻¹ Penergetic solo/ 450.ha⁻¹ Penergetic planta), apresentou o menor R^2 ajus e Fc entre os tratamentos, o que pode ser explicado devido ao fato da existência de *outliers*, nos diâmetros observados dentro do tratamento.

Tabela 3 - Parâmetros da equação hipsométrica utilizada para estimativa de alturas totais de *Eucalyptus camaldulensis* x *E. grandis*) x *E. urophylla* localizado no sudoeste do Paraná

Tratamentos	Fc	R ² aj	Sxy	Syx%	B0	B1
T1	88,4777	0,72609	0,043635313	0,256678	3,320312	-5,10921
T2	54,2744	0,603509	0,055748995	0,32755	3,494789	-6,88241
T5	108,210	0,743429	0,051296733	0,312785	3,29271	-4,99073
T6	26,3700	0,394127	0,032785519	0,197384	3,135117	-3,44607
T9	40,18046	0,521152	0,03908068	0,230973	3,178634	-3,66774

Em que: Fc: F calculado; R²aj: R-Quadrado ajustado; Sxy: Erro padrão; Syx%: Erro padrão em porcentagem; B0: Intercepto; B1: Coeficiente de inclinação.

Fonte: Autora, 2021.

O modelo utilizado para melhor representação do T4 e T8 foi o modelo 2 de Stofells, conforme dados apresentados na Tabela 4. O T4 também apresentou indivíduos que se diferenciaram do restante, fazendo com que o modelo não apresentasse um R^2 ajus alto, bem como um Fc baixo.

Tabela 4 - Parâmetros da equação hipsométrica utilizada para estimativa de alturas totais de *Eucalyptus camaldulensis* x *E. grandis*) x *E. urophylla* localizado no sudoeste do Paraná.

Tratamentos	Fc	R ² aj	Sx	Syx%	B0	B1
T3	18,95489	0,332776	0,7878252	4,780493	4,86167	11,30057
T4	9,294738	0,183128	0,9926203	6,196132	6,411866	8,945161
T7	14,91656	0,268056	1,1321924	6,751296	-0,60506	17,16345
T8	27,51677	0,398648	1,3465897	7,565111	-11,2283	27,69964

Em que: Fc: F calculado; R²aj: R-Quadrado ajustado; Sxy: Erro padrão; Syx%: Erro padrão em porcentagem; B0: Interceptor; B1: Coeficiente de inclinação.

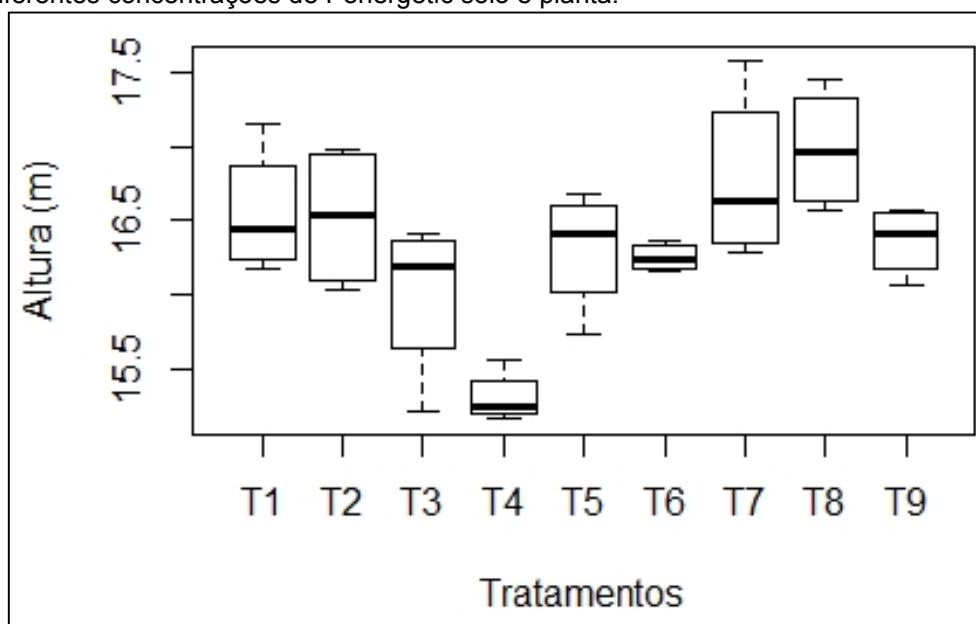
Fonte: A autora, 2021.

A variação nos diâmetros pode acontecer devido as características climáticas e edáficas dentro da área do experimento, pois estas podem influenciar no desenvolvimento das plantas e mesmo que consideremos as mesmas dosagens de Penergetic aplicado nas repetições dos tratamentos, levando a variações no crescimento devido as características locais diferentes.

Feito isso, pode ser observado na Figura 4 o gráfico de *boxplot* em relação à altura do eucalipto nos diferentes tratamentos avaliados, onde pode-se observar que a espécie respondeu de forma diferente em cada um dos tratamentos.

Entre os tratamentos avaliados e suas diferentes combinações, o tratamento 4 apresentou o menor altura (15,30m) para a variável altura (450g.ha⁻¹ Penergetic solo/ 0.ha⁻¹ Penergetic planta), e o tratamento 8 o melhor desempenho (16,98m) para essa variável (900g.ha⁻¹ Penergetic solo/ 450.ha⁻¹ Penergetic planta). Os demais tratamentos apresentaram comportamento semelhante a testemunha (T1). Mas, não houve diferença significativa entre os tratamentos testemunha e 7, 8 e 9.

Figura 4 - Gráfico *Boxplot* da altura do eucalipto *Eucalyptus camaldulensis* x *E. grandis*) x *E. urophylla* sob diferentes concentrações de Penergetic solo e planta.

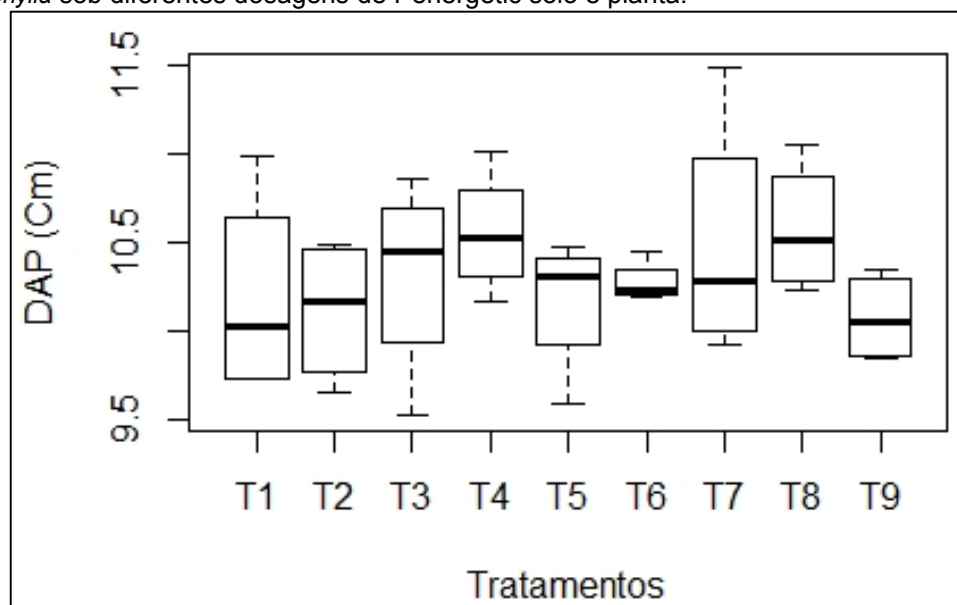


*A caixa representa os valores mínimos e máximos para a variável altura, a linha contida dentro da caixa representa a mediana.

Fonte: A autora, 2021.

A Figura 5 apresenta o gráfico de *boxplot* em relação ao diâmetro à altura do peito. Para a variável DAP não foi constatada diferença estatística, entre os tratamentos.

Figura 5 - Gráfico *Boxplot* do diâmetro (DAP) de eucalipto *Eucalyptus camaldulensis* x *E. grandis*) x *E. urophylla* sob diferentes dosagens de Penergetic solo e planta.



*A caixa representa os valores mínimos e máximos para a variável diâmetro, a linha contida dentro da caixa representa a mediana.

Fonte: A autora, 2021.

As diferentes dosagens do Penergetic planta e solo não foram capazes de influenciar no diâmetro das plantas de *Eucalyptus camaldulensis* x *E. grandis* x *E. urophylla* submetidos aos diferentes tratamentos realizados. Ryan et al., (2010) mencionaram em seus estudos que a produção de biomassa de eucalipto pode sofrer variação devido a presença de recursos no sítio vegetal, que apresentam interferência nos processos fisiológicos da planta, como respiração, fotossíntese, produção de folhas, entre outros, indicando que são vários os fatores além da aplicação de penergetic que podem vir a influenciar o desenvolvimento do diâmetro das plantas avaliadas.

Outro fator que pode ter influência nos valores encontrados para o DAP, é a densidade de plantio, visto que plantios mais adensados tendem a apresentar maior crescimento em altura e menor crescimento em diâmetro. Todos os tratamentos apresentaram DAP variando entre 8,1 a 12 cm (Tabela 5) apresentando dessa forma baixa amplitude, o que significa que as plantas eram homogêneas, explicando o fato de a análise estatística não ter detectado diferenças significativas.

Tabela 5 - Frequência relativa (%) das árvores de *Eucalyptus camaldulensis* x *E. grandis* x *E. urophylla* para cada classe de DAP nos tratamentos com diferentes dosagens de penergetic solo e planta.

Tratamento	Classes de diâmetro (cm)					
	0 – 2,0	2,1 – 4,0	4,1 – 6,0	6,1 – 8,0	8,1 – 10,0	10,1–12,0
T1	0,0	0,0	0,0	0,0	50%	50%
T2	0,0	0,0	0,0	0,0	50%	50%
T3	0,0	0,0	0,0	0,0	25%	75%
T4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100%
T5	0,0	0,0	0,0	0,0	25%	75%
T6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100%
T7	0,0	0,0	0,0	0,0	25%	75%
T8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100%
T9	0,0	0,0	0,0	0,0	50%	50%

Fonte: A autora, 2021.

Os valores de DAP obtidos no presente trabalho estão próximos aos relatados por Jesus et al., (2021) (7,8 a 10 cm), que avaliaram densidade de plantio nas características dendrométricas de plantações de eucalipto de rápido crescimento, o que indica que o crescimento em diâmetro dessa população de eucalipto está dentro dos padrões relatados para a espécie.

Levando em consideração o espaçamento de plantio utilizado nesse estudo (3 x 1,8 m), este, pode ter sido uma das causas da competição pelos recursos naturais e acarretando efeito direto no diâmetro das plantas, uma vez em plantios mais densos ocorre a estagnação de crescimento em idades mais jovens (FERREIRA; FREITAS; FERREIRA, 1997). Contudo, pode se citar ainda a relação com a idade das plantas (2,7 anos), sendo um povoamento jovem em constante modificações da morfometria, pois sabe-se que quanto maior a idade, maior será a produção estocada.

Na Tabela 6 observa-se a análise descritiva do DAP das árvores, os dados seguiram distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$).

Tabela 6 - Estatística descritiva do DAP do plantio de eucalipto *Eucalyptus camaldulensis* x *E. grandis*) x *E. urophylla* localizado no sudoeste do Paraná.

Estatística	DAP (cm)
	Valores
Média	10,31
Mediana	10,31
Variância	0,19
Desvio Padrão	0,44
Mínimo	9,52
Máximo	11,48
CV	4,23
Assimetria	0,52
Curtose	0,42
W (p)	0,43

W = Shapiro-Wilk.

Fonte: A autora, 2021.

A distribuição dos dados de DAP tenderam à assimetria positiva onde a média e a mediana apresentam o mesmo valor, e também curtose positiva apresentando uma calda da curva diferente que a distribuição normal. O coeficiente de variação (4,23) (CV) foi classificado como baixo, segundo Pimentel-Gomes (1985), indicando homogeneidade entre os dados.

Na Tabela 7 apresenta as médias obtidas para as variáveis dendrométricas do povoamento entre os tratamentos. Os dados apresentaram resposta significativa para a variável altura, não apresentando o mesmo comportamento para as demais.

Tabela 7 - Análise das variáveis dendrométricas do eucalipto *Eucalyptus camaldulensis* x *E. grandis* x *E. urophylla* localizado no sudoeste do Paraná.

Tratamento	Altura (m)	DAP (cm)	Volume m ³ 0,10ha ⁻¹
T1	16,55 ab	10,17 ^{ns}	0,084 ^{ns}
T2	16,51 ab	10,12	0,086
T3	16,00 bc	10,31	0,080
T4	15,30 c	10,55	0,080
T5	16,30 ab	10,17	0,084
T6	16,25 abc	10,27	0,082
T7	16,78 ab	10,48	0,081
T8	16,98 a	10,57	0,081
T9	16,36 ab	10,07	0,083
CV(%)	8,57	16,52	0,741

Médias seguidas de letras distintas, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

ns= não significativo. Tratamentos citados: T1: Sem aplicação; T2: 0g.ha⁻¹ Penergetic solo/ 450.ha⁻¹; T3: Penergetic planta 0g.ha⁻¹ Penergetic solo/ 900g.ha⁻¹; T4: Penergetic planta 450g.ha⁻¹ Penergetic solo/ 0g.ha⁻¹; T5: Penergetic planta 900g.ha⁻¹ Penergetic solo/ 0g.ha⁻¹; T6: Penergetic planta 450g.ha⁻¹ Penergetic solo/ 450g.ha⁻¹; T7: Penergetic planta 450g.ha⁻¹ Penergetic solo/ 900g.ha⁻¹; T8 Penergetic planta 900g.ha⁻¹ Penergetic solo/ 450g.ha⁻¹; T8: Penergetic planta 900g.ha⁻¹ Penergetic solo/ 900g.ha⁻¹

Fonte: A autora, 2021.

Nota-se que para os tratamentos avaliados a média da altura superou os 16,00 metros, exceto o tratamento 4 (450 g/L de penergetic solo e 0 penergetic planta). O tratamento 8 apresentou diferença significativa em relação aos demais (16,98 m) não é verdade. Ele se diferenciou apenas dos tratamentos T3 e T4, onde utilizou-se (900 g/L de penergetic solo e 450 penergetic planta). O tratamento 4 teve a menor média (15,30) (Figura 4) (Tabela 7).

Em plantio de café Catuiá vermelho IAC 144 com 7 anos, utilizando bioestimulantes a base de extratos de alga, concluíram que o produto foi capaz de promover um aumento de 30% a 70% na produtividade se comparada com a testemunha, sem aplicação, a dosagem em que se obteve os resultados foi de 2L/há (FERNANDES e SILVA, 2021).

No entanto, esse resultado também não é suficiente para afirmar que é decorrência da aplicação de penergetic tanto quanto de solo quanto de planta, visto que como mencionado anteriormente há outros fatores que influenciam no crescimento das plantas. Dessa forma, suponha-se que as concentrações do bioestimulante avaliadas em separado e em combinações, não favoreceu acréscimo significativo a altura do eucalipto, além de não proporcionar ganhos no diâmetro e o volume, já que não houve diferença entre tratamentos utilizando diferentes doses de Penergetic solo e planta (Figura 5) (Tabela 7).

O mecanismo de ação do bioestimulante tanto de solo quanto de planta em aumentar a disponibilidade dos nutrientes no solo e influenciar nas

características de crescimento e desenvolvimento de plantas, pode não ter acontecido. Porém, foi uma única aplicação dos produtos no experimento, o que pode não ter explanado o efeito desejável. Dessa forma, recomenda-se mais estudos em relação a sua ação sobre o Eucalipto, testando maior número de aplicações do produto, e diferentes concentrações.

Plantios com densidades muito baixas tendem a apresentar uma resposta diferente ao potencial produtivo do sítio, em termos de luz, nutrientes e água, por outro lado, densidades maiores podem suprimir a capacidade produtiva da espécie (SCHNEIDER et al., 1998). Assim, a densidade utilizada para o povoamento pode ter influenciado na capacidade produtiva para essa espécie sob essas condições avaliadas, onde os recursos podem ter sido limitados ao crescimento da espécie, e dessa forma não ter apresentado diferença significativa entre os tratamentos avaliados com o uso do bioestimulante.

5.2 Estado nutricional do eucalipto

Os resultados da análise foliar do eucalipto 36º mês pós-plantio (Tabela 8) evidenciaram que os tratamentos com aplicação do bioestimulante não foram significativos em relação às diferentes dosagens do bioestimulante Penergetic aplicado no solo e planta do povoamento de eucalipto.

Tabela 8 - Resultado da análise foliar de macronutrientes de eucalipto *Eucalyptus camaldulensis* x *E. grandis*) x *E. urophylla* localizado no sudoeste do Paraná.

Tratamento	Macronutrientes (g kg ⁻¹)					
	Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio	Enxofre
T1	21,20 ^{ns}	1,30 ^{ns}	10,75 ab	4,95 ^{ns}	2,38 ^{ns}	0,92 ^{ns}
T2	23,14 ^{ns}	1,39 ^{ns}	12,00 a	5,50 ^{ns}	2,47 ^{ns}	1,18 ^{ns}
T3	22,35 ^{ns}	1,36 ^{ns}	11,18 ab	5,63 ^{ns}	2,39 ^{ns}	0,57 ^{ns}
T4	23,59 ^{ns}	1,30 ^{ns}	12,00 a	5,11 ^{ns}	2,59 ^{ns}	0,90 ^{ns}
T5	22,47 ^{ns}	1,37 ^{ns}	12,00 a	5,28 ^{ns}	2,61 ^{ns}	0,73 ^{ns}
T6	21,63 ^{ns}	1,25 ^{ns}	10,68ab	5,29 ^{ns}	2,36 ^{ns}	1,04 ^{ns}
T7	23,97 ^{ns}	1,27 ^{ns}	10,93ab	4,80 ^{ns}	2,29 ^{ns}	0,75 ^{ns}
T8	23,26 ^{ns}	1,26 ^{ns}	10,00ab	5,29 ^{ns}	2,48 ^{ns}	0,73 ^{ns}
T9	22,28 ^{ns}	1,09 ^{ns}	8,37 b	4,07 ^{ns}	2,16 ^{ns}	0,87 ^{ns}
CV(%)	10,84	13,02	13,56	14,13	17,99	37,06

Médias seguidas de letras distintas, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). ns= não significativo. **Fonte:** A autora, 2021.

Houve diferença significativa entre os tratamentos apenas no teor foliar de K, sendo que para os demais macronutrientes avaliados não houve diferença. Fazer escritas mais diretas. Isso em todo o texto.

Apesar da diferença estatística detectada para a concentração foliar de potássio, os tratamentos com aplicação de Penergetic não diferiu da testemunha onde não houve aplicação do bioestimulante. Além disso, os valores de potássio encontrados nas folhas estão dentro dos intervalos considerados normais de 9 a 10 g kg⁻¹ (MALAVOLTA et al., 1997), com exceção do tratamento 9. Segundo Silveira e Malavolta (2000), o potássio é um dos macronutrientes que maior influenciam na produtividade do eucalipto.

Em plantios florestais o potássio é o segundo ou terceiro nutriente mais acumulado pela espécie, ficando abaixo do nitrogênio e do cálcio (BELLOTE, 1979). Em estudo realizado por Haag et al. (1976), as concentrações de potássio nas folhas, em g kg⁻¹, foram de 8,38, 8,34, 8,32, 8,29 e 7,4 para *E. robusta*, *E. grandis*, *E. saligna*, *E. propinqua* e *E. dunnii*, respectivamente.

Os teores de nitrogênio variaram entre 21,20 g kg⁻¹ e 23,97 g kg⁻¹, porém sem diferenças estatísticas entre os tratamentos. Para Malavolta et al., (1997) a concentração de N que está associado a produtividades elevadas, está entre 21 e 23 kg ha⁻¹. Já para Gonçalves (2011) essa concentração varia entre 21 e 30 kg ha⁻¹. Os dados encontrados no presente trabalho estão de acordo com os valores apresentados pelos autores acima, sugerindo que esse nutriente não será limitante para o desenvolvimento e produtividade desse povoamento de eucalipto.

A concentração de fósforo foliar foi de 1,09 e 1,39 g kg⁻¹. Segundo Silveira e Gava (2004), considerando dados estudados por outros autores sobre a concentração adequada desse macromineral, destacaram que para o período juvenil do eucalipto a faixa adequada encontra-se entre 1,00 e 4,00 g ha⁻¹. Dessa forma, observa-se que os resultados obtidos nesse estudo estão dentro da faixa considerada adequada para espécie.

O fósforo é o nutriente que mais limita o crescimento do eucalipto, devido as concentrações naturalmente baixas e à elevada capacidade de absorção de P da maioria dos solos brasileiros (BARROS; NOVAIS, 1999). Porém, apesar de a análise foliar ter mostrados concentrações adequadas não se pode afirmar que isso é decorrente da aplicação Penergetic e nem justificar o investimento de sua

aplicação, visto que esse resultado pode ter sido influenciado pela adubação de N-P-K que o povoamento recebeu.

Os teores de Ca nas folhas ficaram em torno 5,63 a 4,07 g kg⁻¹ entre os tratamentos, sendo abaixo dos valores considerados adequados por Martinez et al., (1999), entre 8,0 a 12,0 g kg⁻¹, e por Silveira et al., (2004), na faixa de 7,1 a 11,0 g kg⁻¹. Isso pode ter consequências no teor de lignina, uma vez que o cálcio participa da síntese da parede celular, na fase secundária do desenvolvimento e no processo de lignificação (SILVEIRA et al., 2001).

Já as concentrações de magnésio nas folhas variariam de 2,16 a 2,59 g kg⁻¹, Malavolta et al., (1997) citam que os teores adequados associados a altas produtividade de *E. grandis* está entre 2,5 a 3,0 g kg⁻¹. De acordo com Gonçalves (2011), a faixa considerada ideal de Mg nas folhas para plantios de eucalipto no Brasil é de 2,0 a 3,0 g kg⁻¹. Dessa forma, os valores encontrados neste estudo estão dentro da faixa adequada para a espécie, enfatizando que a deficiência desse micronutriente não será limitante ao desenvolvimento e produtividade desse povoamento de eucalipto. Para os demais nutrientes analisados, embora tenham sido observadas diferenças nas concentrações médias, elas não foram estatisticamente significativas.

O fato de a maioria dos macronutrientes não ter apresentado diferença significativa entre os tratamentos, mas sua concentração está dentro dos intervalos considerados normais e, em alguns casos superiores, para a espécie pode ser explicado pela adubação mineral realizada e pela mineralização da matéria orgânica ocorrida após o plantio (ZAMALVIDE; FERRANDO, 2010).

Além disso, o eucalipto normalmente tem alta eficiência na absorção dos nutrientes, visto que evoluíram enquanto cresciam em solos pobres sem nutrientes. Em condições em que se tem elevada disponibilidade de nutrientes, os plantios de eucalipto podem absorver grandes quantidades de nutrientes, elevando o teor de nutrientes em sua biomassa foliar (ROCHA et al., 2019).

Para os teores foliares de micronutrientes não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 9).

Tabela 9 - Resultado da análise foliar de dos plantios de eucalipto *Eucalyptus camaldulensis* x *E. grandis*) x *E. urophylla* localizado no sudoeste do Paraná.

Tratamentos	Micronutrientes (mg kg ⁻¹)					
	Cobre	Ferro	Manganês	Zinco	Alumínio	Boro
T1	9,51 ^{ns}	92,50 ^{ns}	237,50 ^{ns}	138,25 ^{ns}	73,75 ^{ns}	33,94 ^{ns}
T2	9,80 ^{ns}	160,00 ^{ns}	336,25 ^{ns}	132,71 ^{ns}	156,25 ^{ns}	32,78 ^{ns}
T3	9,63 ^{ns}	107,50 ^{ns}	318,75 ^{ns}	127,83 ^{ns}	86,25 ^{ns}	40,34 ^{ns}
T4	8,25 ^{ns}	95,00 ^{ns}	326,25 ^{ns}	99,21 ^{ns}	73,75 ^{ns}	31,53 ^{ns}
T5	7,72 ^{ns}	96,25 ^{ns}	337,50 ^{ns}	125,53 ^{ns}	92,50 ^{ns}	34,44 ^{ns}
T6	9,56 ^{ns}	91,25 ^{ns}	272,50 ^{ns}	125,35 ^{ns}	76,25 ^{ns}	34,58 ^{ns}
T7	9,98 ^{ns}	82,50 ^{ns}	332,50 ^{ns}	114,22 ^{ns}	71,25 ^{ns}	34,24 ^{ns}
T8	8,40 ^{ns}	105,00 ^{ns}	343,75 ^{ns}	151,62 ^{ns}	98,75 ^{ns}	31,61 ^{ns}
T9	7,62 ^{ns}	67,50 ^{ns}	242,50 ^{ns}	85,10 ^{ns}	53,75 ^{ns}	34,55 ^{ns}
CV (%)	20,99	50,41	25,21	53,44	71,36	16,70 ^{ns}

Médias seguidas de letras distintas, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). ns= não significativo.

Esses resultados podem ser atribuídos a capacidade das árvores em manter certo equilíbrio entre os teores desses nutrientes nas folhas, mesmo havendo maior disponibilidade dos elementos no solo (SILVA et al., 2008). Isso significa que mesmo havendo mais disponibilidade no solo, a planta não o absorve, a fim de manter o equilíbrio nutricional.

Hernandez et al., (2009), atribuíram a concentração de minerais em diferentes estruturas de eucalipto, associado ainda a sua produção de biomassa, ao fato da densidade de plantio escolhida, bem como com a fertilidade do solo. Poggiani e Schumacher (1993) mencionam ainda, que a capacidade nutricional das espécies e a idade escolhida para corte, apresentam influencia no acúmulo de nutrientes por parte dessas plantas em seus diferentes compartimentos.

A realização de uma única aplicação de Penergetic no momento do plantio pode não ter proporcionado acréscimo nas variáveis avaliadas, bem como o efeito residual do produto, que não é estabelecido, e com isso pode ter influenciado diretamente no desenvolvimento das plantas, tendo efeito oposto ao esperado. Vale lembrar também que a literatura não apresenta informações sobre efeito residual ou intervalos de aplicações de produto adequadas para a cultura do eucalipto, e dessa forma, necessita de mais estudos para essa cultura.

Outra limitação, é devido a escolha da avaliação das variáveis dendrométricas altura e diâmetro após 36 meses da aplicação do bioestimulante, dessa forma pode não ser suficiente para detectar a real influência da aplicação do produto, sugerindo que essa avaliação seja contínua e com menores intervalos, ou pelo menos que seja realizada uma avaliação mais completa ao

final da rotação planejada. Além disso, a falta de análise de solo no momento da instalação do experimento, não permitiu analisar se a fertilidade natural do solo seria suficiente para proporcionar pleno desenvolvimento das plantas, compreendendo assim, que sejam realizadas pelo menos uma vez ao ano, obtendo dessa forma maiores informações sobre as condições de campo.

Entretanto, apesar das limitações esses resultados preliminares fornecem dados válidos e relevantes para a utilização de Penergetic em floresta de eucalipto plantada e para futuros ensaios com Penergetic, recomenda-se aplicações com menores intervalos de tempo (por exemplo, aplicações a cada 6 meses), por um período de tempo maior e avaliações da biologia do solo, do teor de nutrientes nos diferentes compartimentos da planta, crescimento da área radicular, e variáveis dendrométricas (anos sucessivos), pois isso poderia ajudar a quantificar mais precisamente, os possíveis efeitos do Penergetic e sua relação custo/benefício.

5.3. Análise de correlação de Pearson

Por meio do estudo da correlação de Pearson, é possível observar correlações positivas e negativas entre as variáveis dendrométricas. As variáveis dendrométricas tendem a apresentar relação proporcional de acordo com a fisiologia da planta. Esse crescimento é proporcional em altura e diâmetro, isso pode ser confirmado quando observado a correlação positiva entre as variáveis dendrométricas diâmetro e altura (tabela 10).

Tabela 10 - Coeficiente de correlação de Pearson entre as variáveis dendrométricas em povoamento de eucalipto com aplicação de diferentes dosagens de penergetic solo e planta

Atributos ¹	Coeficiente de Correlação ²		
	DAP (cm)	HT (m)	V cc (m ³)
DAP (cm)	1,0	-	-
HT (m)	0,474**	1,0	-
V cc (m ³)	-0,884**	-0,271 ^{ns}	1,0

Em que: ¹DAP: Diâmetro a altura do peito (1,30 m); HT: altura das árvores; Vcc: volume com casca, em m³; ²coeficiente: * significativo a 5%; ns: não significativo. **Fonte:** Autora, 2021.

A correlação entre planta foi significativa apenas para o para DAP x HT ($r = 0,474^{**}$), confirmando que, a existência de relação entre o Diâmetro e a

Altura, ou seja, com o crescimento em altura do eucalipto há um crescimento em DAP da espécie (Tabela 10). Resultados similares foram observados por Lima et al., (2017), com correlação positiva entre o DAP e altura de ($r = 0,624$), demonstrando a interação entre as variáveis. Essa correlação positiva, entre essas variáveis dendrométricas tendem a apresentar influência sobre o volume do povoamento, tendo em vista que a altura é dependente do diâmetro, e pode afetar as condições físicas e químicas da madeira.

Verificou-se que houve correlação significativa negativa entre o DAP x Volume cc (m^3) ($r = -0,884^*$) (Tabela 10). Esse resultado obtido para a correlação inversa e alta entre o DAP e volume com casca pode estar atrelado ao fato dos dados apresentarem uma baixa amplitude.

Outro fato pode ser explicado devido ao espaçamento utilizado para esse povoamento (3 x 1,8m). Acredita-se que o espaçamento utilizado para sítio tenha influenciado na produção volumétrica, devido ao seu intenso adensamento, e dessa forma reduzindo a produção final da cultura. Esse resultado pode ser comprovado quando observado o diâmetro médio obtida para esse povoamento (Tabela 5) que apresentou amplitude de 8 e 12,5 cm em mais de 50% das árvores.

Verificaram que houve incidência do espaçamento sobre a produção do Eucalipto. De acordo o estudo realizado por Inoue et al., (2011), para a cultura do Pinus, observaram a influência do espaçamento no crescimento em altura, constatando que os maiores espaçamentos favorecem em maiores alturas de plantas de seis anos. Desta forma, o espaçamento utilizado neste estudo pode ter influenciado na correlação negativa encontrada entre a altura e o volume com casca do eucalipto. O adensamento dos indivíduos influenciou em um menor acréscimo em altura, obtendo média de 16,30 m, estimadas a partir de equação matemática.

Observou o efeito significativo entre a altura total do eucalipto e o nutriente foliar apenas entre o potássio, sendo a relação moderada negativa ($r = -0,388^*$). As demais variáveis dendrométricas não foram observadas correlações significativas com os nutrientes das folhas.

Silveira e Malavolta (2000) em seus estudos, mencionam que o potássio não desempenha função estrutural na planta, porém auxilia em outros processos químicos e bioquímicos necessários para as plantas. Destacam ainda, que a

adição deste nutriente pode favorecer a resistência das plantas a períodos de seca e também de geadas, isso é possível por conta da retenção de água, pois esse nutriente age sob o potencial osmótico da planta.

A ausência de correlações entre as variáveis dendrométricas e os nutrientes foliares do eucalipto, indicam que esses elementos não são limitantes ao crescimento da espécie, e que o crescimento ocorre independente dos teores do bioestimulante Pengergetic aplicado no solo e na planta. E dessa forma, proporciona um bom desenvolvimento para as plantas avaliadas nessas condições.

Em plantios florestais o potássio é o segundo ou terceiro nutriente mais acumulado pela espécie, ficando abaixo do nitrogênio e do cálcio (BELLOTE, 1979). Em estudo realizado por Haag et al., (1976), as concentrações de potássio nas folhas, em g kg^{-1} , foram de 8,38, 8,34, 8,32, 8,29 e 7,4 para *E. robusta*, *E. grandis*, *E. saligna*, *E. propinqua* e *E. dunnii*, respectivamente.

Neste estudo os teores médios de potássio nas folhas variam de 12,0 a $8,37 \text{ g kg}^{-1}$ (Tabela 4), esses valores estão dentro das faixas associadas a altas produtividade de acordo com Malavolta et al., (1997). Essa correlação negativa entre HT e o potássio contidos nas folhas, são interpretadas como efeito de diluição do nutriente, devido ao crescimento das árvores (BELLOTE; SILVA, 1999).

Para os macronutrientes foliares, verifica-se correlação significativa positiva entre os teores de N x P ($r = 0,419^*$) e N x Mg ($r = 0,377^*$) (Tabela 11). Em relação ao fósforo das folhas, observa-se correlação significativa positiva com os nutrientes foliares K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Al (Tabela 11). O potássio apresentou correlação positiva com Ca, Mg e Mn. Já o cálcio correlacionou positivamente com Mg, Cu e Mn, apenas para o enxofre que não foi observada correlações significativas com os nutrientes (Tabela 11)

Atributos ¹	Coeficiente de Correlação ²												
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na	Al
N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P	0,419*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K	0,324 ^{ns}	0,546**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ca	0,203 ^{ns}	0,608**	0,557**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mg	0,377*	0,737**	0,441**	0,583**	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S	-0,286 ^{ns}	0,123 ^{ns}	0,101 ^{ns}	0,007 ^{ns}	0,171 ^{ns}	-	-	-	-	-	-	-	-
B	-0,037 ^{ns}	0,065 ^{ns}	-0,179 ^{ns}	0,050 ^{ns}	-0,324 ^{ns}	-0,158 ^{ns}	-	-	-	-	-	-	-
Cu	0,225 ^{ns}	0,529**	0,181 ^{ns}	0,362*	0,223 ^{ns}	0,212 ^{ns}	-	-	-	-	-	-	-
Fe	0,038 ^{ns}	0,469**	0,236 ^{ns}	0,270 ^{ns}	0,288 ^{ns}	0,075 ^{ns}	-	-	-	-	-	-	-
Mn	0,149 ^{ns}	0,404*	0,532**	0,404*	0,469**	0,068 ^{ns}	-0,432**	-0,073 ^{ns}	0,376*	-	-	-	-
Zn	-0,240 ^{ns}	0,244 ^{ns}	-0,153 ^{ns}	0,037 ^{ns}	0,130 ^{ns}	0,241 ^{ns}	0,092 ^{ns}	0,381*	0,325 ^{ns}	0,230 ^{ns}	-	-	-
Na	0,161 ^{ns}	-0,010 ^{ns}	-0,200 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	-0,071 ^{ns}	-0,216 ^{ns}	0,243 ^{ns}	0,118 ^{ns}	-0,069 ^{ns}	0,008 ^{ns}	0,180 ^{ns}	-	-
Al	0,023 ^{ns}	0,402*	0,215 ^{ns}	0,239 ^{ns}	0,253 ^{ns}	0,110 ^{ns}	-0,105 ^{ns}	0,231 ^{ns}	0,975**	0,399*	0,263 ^{ns}	-0,022 ^{ns}	-

Tabela 11 - Matriz de correlação de Pearson entre os nutrientes foliares do eucalipto com aplicação de diferentes dosagens de peneirado solo e planta

Em que: ¹Nutrientes foliares: N (nitrogênio); P (fósforo); B (boro); Fe (ferro); Cu (cobre) K (potássio); Ca (Cálcio); Mg (magnésio); Mn (manganês); Zn (Zinco); Na (Sódio); Al (alumínio); ²coeficiente: * significativo a 5%, ** significativo a 1%; ns: não significativo.

Fonte: Autora, 2021.

Essa correlação positiva entre os macronutrientes foliares do eucalipto pode ser interpretada como sendo decorrente da interação entre os nutrientes, cuja extração pelas plantas encontra-se associada com a taxa de mineralização e com o teor de matéria orgânica acumulada no solo, principal fonte da disponibilidade desses nutrientes no solo (GUEDES et al., 2006).

Além disso, as correlações positivas apontam em um acréscimo na oferta dos nutrientes no solo, através de adubações e calagens realizadas em rotações anteriores e florestal atual no qual possibilitará uma maior absorção pelas plantas e, conseqüentemente, maior crescimento delas, especialmente nos locais onde se observam os menores crescimentos (BELLOTE; FERREIRA, 1995).

Em relação aos micronutrientes foram observadas correlações significativas positivas entre os pares B x Cu ($r = 0,380^*$); Cu x Zn ($r = 0,381^*$); Fe x Mn ($r = 0,376^*$); Fe x Al ($r = 0,975^{**}$) e Al x Mn ($r = 0,399^*$) (Tabela 11).

A correlação negativa entre os micronutrientes do eucalipto foi significativa para o par B x Mn ($r = -0,432^{**}$). Os demais elementos não apresentaram correlações significativas.

A ausência da correlação entre as demais variáveis analisadas é devida, provavelmente, ao tempo decorrido entre a aplicação do bioestimulante no solo e planta e a amostragem (aos 3 anos de idade). Durante esse período, uma parte do bioativador pode ter sido absorvida, outra perdida por lixiviação e outra imobilizada (BELLOTE; FERREIRA, 1995).

CONCLUSÃO

As concentrações de macronutrientes e micronutrientes nas folhas foram encontradas dentro dos intervalos normais para a espécie e em alguns casos acima do nível superior indicado na literatura, portanto não foram limitantes para o crescimento das árvores.

A aplicação da tecnologia Penergetic não proporcionou incremento ao volume de madeira produzida como o esperado, dessa forma cabe ressaltar que pode ser necessária maiores aplicações do produto, a fim de avaliar um efeito mais significativo sobre a produtividade de uma floresta.

As correlações significativas encontradas mostraram uma oferta de nutrientes no solo, porém, com pouca evidência sobre as variáveis dendrométricas.

A aplicação do Penergetic apresentou efeito significativo para altura, mas pouco expressivo, indicando a necessidade da realização de novos estudos para a espécie, no povoamento estudado em idade final de rotação, desenvolvendo avaliações de solo e biomassa para obter resultados mais assertivos do uso do produto em plantios de eucalipto.

REFERÊNCIAS

ADDISCOTT, T.M. Entropy and sustainability. *European Journal of Soil Science*. P.161-168, 1995.

ALMEIDA, J. C. R. et al. Índice de área foliar de *Eucalyptus grandis* em resposta à adubação com potássio e sódio. In: SEMINÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARAÍBA DO SUL, 1, 2007, Taubaté. **Anais** [...]. Taubaté: [s.n.], 2007. p. 1-7.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p.711–728, 2013.

ASSIS, Rafael Tadeu de et al. **Novas tecnologias para a agricultura brasileira**. Araxá: Instituto de ciências da saúde, agrárias e humanas (ISAH), 2014.

AZEVEDO, G., SOUSA, G. T., SILVA, H., BARRETO, P., & NOVAES, A. Seleção de modelos hipsométricos para quatro espécies florestais nativas em plantio misto no planalto da conquista na Bahia. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, n. 12, 2011.

BARREIRO, Susana; TOMÉ, Margarida. Analysis of the impact of the use of eucalyptus biomass for energy on wood availability for eucalyptus forest in Portugal: a simulation study. **Ecology and Society**, v. 17, n. 2, 2012.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2ed. Porto Alegre. p 7-18. 2008.

BAZANI, J. H.; BATISTUZZO, G. Z. B.; ZUCON, A. R. S.; PRIETO, M. R.; GONÇALVES, J. L. M.; ROCHA, J. H. T.; MELO, E. A. S. C. Qualidade silvicultural: a fertilização de base e sua influência no desenvolvimento inicial de plantações de eucalipto. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 24, n. 45, 2014.

BOGNOLA, I. A.; FRITZSONS, E.; GRABIAS, J.; AGUIAR, A. V. **Caracterização dos solos experimentais com Grevilia, no Estado do Paraná**. Documento 228. Embrapa Florestas, n. 228, p.1-33, 2011.

BORA, Karen Christiane et al. Favorabilidade climática para a ferrugem do eucalipto no estado do Paraná. **Summa Phytopathologica**, v. 42, n. 1, p. 24-42, 2016.

BOOTH, Trevor H. Eucalypt plantations and climate change. **Forest ecology and management**, v. 301, p. 28-34, 2013.

BOURNE, G. H.; JEON, K. W.; FRIEDLONGER, M. Potassium estimation uptake and its role in the physiology and metabolism flowering plants. **International Review of Cytology**, v.110, p.205-254, 1988.

BRISOLAL, Susan Hussar; DEMARCO, Diego. Análise anatômica do caule de *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla* e *E. grandis x urophylla*: desenvolvimento da madeira e sua importância para a indústria. **Scientia Forestalis**, v. 39, n. 91, p. 317-330, 2011.

BRITO, Osmar Rodrigues; DEQUECH, Fernando Karam; BRITO, Rafael Mizubuti. Use of penergetic procutts P and K in snap bean production. **Annual report of the bean improvement cooperative**, v. 55, p. 279-280, 2012.

BRUNELLE, Thierry et al. Evaluating the impact of rising fertilizer prices on crop yields. **Agricultural economics**, v. 46, n. 5, p. 653-666, 2015.

CABBAU, A. R. FAQUIN, V.; FERNANDES, L. A.; ANDRADE, A. T.; SOBRINHO, R. R. de L. Resposta e níveis críticos de potássio para o arroz cultivado em solos de várzea inundados. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, n. 1, p. 75-86, 2004.

CALEGARI, A. **Rotação de culturas em sistema de plantio direto**. In: encontro regional de sistemas produtivos. [s.l.]: CAT Sorriso, 2013.

CARDOSO, E. J. B. N. Ecologia microbiana do solo. In: CARDOSO, E. J. B. N; TSAI, S. M; NEVES, M. C. P. **Microbiologia do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p. 33-57. 1992.

CARVALHO, Wellyngton Tadeu Vilela et al. Pastagens degradadas e técnicas de recuperação: **Revisão. Pubvet**, v. 11, p. 0947-1073, 2017.

CASTRO, Paulo Roberto de Camargo et al. Análise da atividade reguladora de crescimento vegetal de tiametoxam através de biotestes. **Revista UEPG: Ciências Exatas e da Terra, Agrárias e Engenharias**, Ponta Grossa, v. 13, n. 1, p. 25-29, Jan./June. 2007.

CATANEO, Ana Catarina et al. **Action of Cruiser insecticide on germination of soyabean seeds under stress condition**. In: Brazilian Congress of Soyabean. p. 90. 2006.

COELHO, C. J.; MATIELLO, R. R.; MOLIN, D.; JORIS, H. A. W.; CAIRES, E. F.; GARDINGO, J. R. Selection of maize hybrids for tolerance to aluminum in minimal solution. **Genetics and Molecular Research**, v. 14, p.134-144, 2015.

CORREIA, M.E.F.; OLIVEIRA, L.C.M. Importância da fauna de solo para a ciclagem de nutrientes. In: AQUINO, A.M.; ASSIS, R.L. **Processos biológicos no sistema solo-planta: ferramentas para uma agricultura sustentável**. Embrapa Agrobiologia. Brasília: Embrapa In - formação Tecnológica, 2005. p.77-99.

COSTA, Gilmar Santos; GAMA-RODRIGUES, Antônio Carlos da; CUNHA, Gláucio de Melo. Decomposição e liberação de nutrientes da serapilheira foliar em povoamentos de *Eucalyptus grandis* no norte fluminense. **Revista Árvore**, v. 29, n. 4, p. 563-570, 2005.

DE MORAES GONÇALVES, Jose Leonardo et al. Integrating genetic and silvicultural strategies to minimize abiotic and biotic constraints in Brazilian eucalypt plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 301, p. 6-27, 2013.

DE PASCALE, Stefania; ROUPHAEL, Youssef; COLLA, Giuseppe. Plant biostimulants: innovative tool for enhancing plant nutrition in organic farming. **Eur. J. Hortic. Sci.**, v. 82, n. 6, p. 277-285, 2017.

DE SOUZA, Adriano Aparecido; DE ALMEIDA, Fábio Zanuto; ALBERTON, Odair. Growth and yield of soybean with Penegetic application. **Scientia Agraria**, v. 18, n. 4, p. 95-98, 2017.

DE SOUZA, Eduardo Martins et al. Efeito do bioativador de solo no desenvolvimento inicial do cafeeiro. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 9, n. 04, p. 60-65, 2019.

DIAS, Luciana Patrícia Rosa et al. Eficiência relativa de fosfatos naturais na adubação de plantio de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden e *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage em solo sem e com calagem. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 1, p. 37-48, 2015.

DUTRA, Rodrigo Luiz da Silva. **Eficiência no uso de fósforo em genótipos de feijão com uso de bioativadores de solo**. 2016. 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2016.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Embrapa: Rio de Janeiro, 2006, 306 p. 403-408.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives**. 2. ed. Sunderland: Sinauer Associates. 380 p. 2004.
FAO. Global Forest Resources Assessment 2020.

FERNANDES, A. L. T.; SANTINATO, R.; SILVA, R. O. Estudo da viabilidade de disponibilização de potássio e fósforo em solos de cerrado com a utilização do penegetic. 2010.

FERREIRA, Carlos Alberto; FREITAS, M. de; FERREIRA, Mario. **Densidade básica da madeira de plantações comerciais de eucaliptos, na região de MOGI-GUAÇÚ (SP)**. IPEF, v. 18, 1979.

FRANCO JUNIOR, Kleso Silva et al. **Influence of the use of coverage plants and the bioactivator in the physical-biological characteristics of soil cultivated with coffee**. 2019.

FRANCO JUNIOR, Kleso Silva. **Uso de bioativador de solo associado a diferentes coberturas vegetais e a influência nas características químicas, físicas e microbiológicas.** Dissertação (mestrado) – Programa de pós graduação em Sistemas de Produção agropecuária – Universidade José Rosário Vellano, Alfenas, 2017.

GATIBONI, L. C. **Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas.** 2003. 20 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S.; KAMINSKI, J.; FLORES, J. P. C. Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 691–699, Ago., 2007.

GATIBONI, L.C; BRUNETTO, G; KAMINSKI, J; RHEINHEIMER, D dos S; CERETTA, C, A.; BASSO, C, J. Formas de fósforo no solo após sucessivas adições de dejetos líquidos de suínos em pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. vol. 32, núm. 4. p: 1753-1761. Viçosa. 2008.

GOMES, J. B. V.; WREGE, M. S.; HOLLER, W. A.; BOGNOLA. I. A. Características gerais dos municípios da Bacia do Paraná 3 e Palotina. **Embrapa Florestas-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2020.

GONÇALVES, J. L. et al. Integrating genetic and silvicultural strategies to minimize abiotic and biotic constraints in Brazilian eucalypt plantations. **Forest Ecology and Management**. Amsterdam, v. 301, pag. 6-27. 2013.

HALPERN, Moshe et al. The use of biostimulants for enhancing nutrient uptake. **Advances in agronomy**, v. 130, p. 141-174, 2015.

HATA, Fernando Teruhiko; SOUSA, Virgínia; DE FREITAS FREGONEZI, Gustavo Adolfo. Low-cost organic fertilizations and bioactivator for arugula-radish intercropping. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, p. 773-778, 2019.

HERNÁNDEZ, J.; PINO, A.; SALVO, L.; ARRARTE. G. Nutrient export and harvest residue decomposition patterns of a *Eucalyptus dunnii* Maiden plantation in temperate climate of Uruguay. **Forest Ecology and Management**, v.258, n.2, p.92-99, 2009.

INDUSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. **Relatório Anual**, 2020.

IPEA - REVISTA DESAFIOS DO DESENVOLVIMENTO. São Paulo. **A maior e mais ousada iniciativa do nacional-desenvolvimentismo**, 2016. Disponível em:

https://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com_content&view=article&id=3297&catid=28&Itemid=39. Acessado em 11 abr. 2021.

JESUS, Humberto de; SOUSA, João Marcos Rebessi de; GUERRA, Saulo Philipe Sebastião. Efeito da adubação mineral e densidade de plantio nas características dendrométricas de plantações de eucalipto de rápido crescimento. **Ciência Florestal**, v. 31, p. 350-366, 2021.

KAUFFMAN, Gordon L.; KNEIVEL, Daniel P.; WATSCHKE, Thomas L. Effects of a biostimulant on the heat tolerance associated with photosynthetic capacity, membrane thermostability, and polyphenol production of perennial ryegrass. **Crop science**, v. 47, n. 1, p. 261-267, 2007.

KEENAN, Rodney J. et al. Dynamics of global forest area: Results from the FAO Global Forest Resources Assessment 2015. **Forest Ecology and Management**, v. 352, p. 9-20, 2015.

LEITE, J.N.F.; CRUZ, M.C.P. da; FERREIRA, M.E.; ANDRIOLI, I.; BRAOS, L.B. Frações orgânicas e inorgânicas do fósforo no solo influenciados por plantas de cobertura e adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.51, n. 11, p. 1880-1889, 2016.

LOPES, A. S; GUILHERME, L. A. G. **Solos sob o cerrado: manejo da fertilidade para a produção agropecuária**. 2.ed. 62.p. São Paulo. 1992.

LUCINI, Luigi et al. The effect of a plant-derived biostimulant on metabolic profiling and crop performance of lettuce grown under saline conditions. **Scientia Horticulturae**, v. 182, p. 124-133, 2015.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. Curitiba: Editoradado pelos autores, 2003.309p.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO-FILHO, A. **Dendrometria**. 2ªEdição. Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava 316p, 2014.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. New York: Academic Press. 889 p. 1995.

MAUSETH, J.D. **Botany: an introduction to plant biology**. 4. ed. 2009.

MCEWAN, Andrew et al. Past, present and future of industrial plantation forestry and implication on future timber harvesting technology. **Journal of Forestry Research**, v. 31, n. 2, p. 339-351, 2020.

MENDES, H. S. J.; DE PAULA, N. F.; SCARPINATTI, E. A.; DE PAULA, R. C. Respostas fisiológicas de genótipos de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* à disponibilidade hídrica e adubação potássica. **Revista Cerne**, Lavras. v. 19, n. 4, 2013.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 5. ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 849 p. 2001.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMAR - GO, F.A.O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. Porto Alegre. p.1-5. 2008.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2006. 626 p.

NASCENTE, Adriano Stephan; COBUCCI, Tarcisio. Phosphate fertilization in the soil and penergetic application in the grain yield of common bean. In: **Embrapa Arroz e Feijão-Resumo em anais de congresso (ALICE)**. In: world congress of soil science, 20., 2014, Jeju, Korea. Soils embrace life and universe. Jeju: International Union of Soil Sciences, 2014., 2014.

NASCIMENTO, M.; LOUREIRO, F. E. V. L. Fertilizantes e sustentabilidade: o potássio na agricultura brasileira, fontes e rotas alternativas. Rio de Janeiro. **CETEM/MCT**, 2004.

NACHTIGALL, G.R. & VAHL, L.C. Capacidade de suprimento de potássio dos solos da região do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. p.37-42. 1991.

PANKHURST, C.E et al. Evaluation of soil biological properties as potential bioindicators of soil health. **Australian Journal of Agricultural Research, Malden**, v. 35, n. 7, p. 1015-1028, 1995.

PENERGETIC. Bioativação do sistema solo-plantas, 2014. Disponível em: <http://www.penergetic.com.br/c/5/bioativacao/> Acesso em: 01 mai. 2020.

PEPPER, I. L; GERBA, C. P; BRUSSEAU, M. L. **Pollution Science**. London, 397p. 1996.

PICCOLO, A. Humus and soil conservation. In: PICCOLO, A. **Humic substances in terrestrial ecosystems**. Amsterdam. p.225-264. 1996.

POGGIANI, F.; SCHUMACHER, M.V. Exportação de biomassa e nutrientes através da exploração dos troncos e das copas de um povoamento de *Eucalyptus saligna*. **IPEF**,n.25, p.37-39, 1993.

PROTÁSIO, Tiago de Paula et al. Seleção de clones de Eucalyptus para a produção de carvão vegetal e bioenergia por meio de técnicas univariadas e multivariadas. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 97, p. 15-28, 2013.

RAGHOTHAMA, K.G. Phosphate acquisition. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**. Palo Alto, v. 50, p. 665–693, 1999.

RASCHE, F.; CADISCH, G. The molecular microbial perspective of organic matter turnover and nutrient cycling in tropical agroecosystems - What do we know?. **Biology and Fertility of Soils**. Berlin, v. 49, p. 251-262, 2013.

RODRIGUES, R. B. et al. Opções de troca de produtos na indústria de fertilizantes. **Revista Administração**, São Paulo, v. 50, n. 2, p. 129-140, Apr./June. 2015.

SANTANA, R.C.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; LEITE, H.G; COMERFORD, N.B. Alocação de nutrientes em plantios de eucalipto no Brasil. **Revista Brasileira de ciência do Solo**. 2008.

SANTAROSA, E.; PENTEADO JÚNIOR, J. F.; GOULART, ICG dos R. Transferência de tecnologia florestal: cultivo de eucalipto em propriedades rurais: diversificação da produção e renda. **Embrapa Florestas-Fôlder/Folheto/Cartilha (INFOTECA-E)**, 2014.

SARRUGE, J. R. & HAAG, H. P. **Análises químicas em plantas**. Piracicaba, ESALQ. 1974. 56 p.

SANTOS, D.R.; GATIBONI, L.C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**. Santa Maria, v. 38, n. 2, p. 576–586, 2008.

SANTANA, R.C.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; LEITE, H.G.; COMERFORD, N.B. Alocação de nutrientes em plantios de eucalipto no Brasil. **Revista Brasileira de ciência do Solo**. pag.2723-2733, 2008.

SCHUMACHER, M. V.; CECONI, D. E.; SANTANA, C. A. Influência de diferentes doses de fósforo no crescimento de mudas de angico-vermelho (*Parapiptadeniariigida* (Bentham) Brenan). **Revista Árvore**. v.28, n.1, p.149-155. 2004.

SCHNEIDER, Paulo Renato et al. Produção de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden em diferentes intensidades de desbaste. **Ciência Florestal**, v. 8, n. 1, p. 129-140, 1998.

SILVA, Ivo Ribeiro da et al. Formas, relação quantidade/intensidade e biodisponibilidade de potássio em diferentes Latossolos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 10, p. 2065-2073, 2000.

SILVA, M. L. **Nutrição de plantas em sistemas de produção agroecológico**. Lavras – MG. UFLA. 151p. 2015.

SILVA, Paulo Henrique Muller da et al. Volume de madeira e concentração foliar de nutrientes em parcelas experimentais de *Eucalyptus grandis* fertilizadas com lodos de esgoto úmido e seco. **Revista Árvore**, v. 32, n. 5, p. 845-854, 2008.

SILVEIRA, Ronaldo Luiz Vaz de Arruda et al. **Seja o doutor do seu eucalipto**. Arquivo do agrônomo - nº 12. 2001.

SOUSA, Djalma Martinhão Gomes de.; LOBATO, Edson. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Embrapa Cerrados. 2004.

STAPE, J. L. **Production ecology of clonal eucalyptus plantation in northeastern Brazil**. 2002. 225f. [Tese] - Universidade do Colorado, Fort Collins, 2002.

STONEMAN, G. L. et al. Growth and water relations of *Eucalyptus marginata* (jarrah) stands in response to thinning and fertilization. **Tree Physiology**, v. 16, p. 267-274, 1996.

TEAM, R. Core et al. R: A language and environment for statistical computing. 2019.

TEIXEIRA, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; ARTHUR JUNIOR, J. C. Crescimento e partição de matéria seca de mudas de eucalipto em função da adubação potássica e água do solo. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 53, n. 310, p. 662-671, 2006.

TORSTENSSON, L. Role of microorganisms in decomposition. In: HANCE, R.J. **Interactions between herbicides and the soil**. London, 349p. 1980.

TRUGILHO, Paulo Fernando; LIMA, José Tarcísio; MENDES, Lourival Marin. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, v. 2, n. 1, p. 94-111, 1996.

VEZZANI, F.M.; TEDESCO, M.J.; BARROS, N.F. Alterações dos nutrientes no solo e nas plantas em consórcio de eucalipto e acácia negra. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 2001.

VIEIRA, Elvis Lima.; CASTRO Paulo Roberto de Camargo. **Ação de Stimulate no desenvolvimento inicial de plantas de algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.)**. Piracicaba: USP, Departamento de Ciências Biológicas, 2002.

VILLA, M. R.; FERNANDES, L. A.; FAQUIN, V. Formas de potássio em solos de várzea e sua disponibilidade para o feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 28, n. 4, p. 649-658, 2004.

YAKHIN, Oleg I. et al. Biostimulants in plant science: a global perspective. **Frontiers in plant science**, v. 7, p. 2049, 2017.

ZAMALVIDE, J., FERRANDO, M. 2010. **Algunas consideraciones generales en relación al tema "Fertilización de Eucalyptus"**. In: Jornadas de Actualización Técnica; 10 Años de Investigación en la Producción Forestal (2010, Montevideo). Trabajos presentados. Montevideo, Facultad de Agronomía. pp. 38-47. 2010

ZERZGHI, H.; GERBA, C. P.; BROOKS, J. P.; PEPPER, I. L. Long-term effects of land application of class b biosolids on the soil microbial populations, pathogens, and activity. **Journal of Environmental Quality**. v.39. p. 402-408. 2010.

