



GIOVANNA BARROS FERREIRA

**PLANTIO DE EUCALIPTO NO CERRADO:
AVALIAÇÃO DA FERTILIDADE E CUSTOS ENVOLVIDOS
NA CORREÇÃO DO SOLO**

**Brasília – DF
Setembro de 2022**



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**PLANTIO DE EUCALIPTO NO CERRADO:
AVALIAÇÃO DA FERTILIDADE E CUSTOS ENVOLVIDOS
NA CORREÇÃO DO SOLO**

Giovanna Barros Ferreira

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Alcides Gatto

Brasília - DF
Setembro de 2022



Universidade de Brasília - UnB
Faculdade de Tecnologia - FT
Departamento de Engenharia Florestal – EFL

**PLANTIO DE EUCALIPTO NO CERRADO:
AVALIAÇÃO DA FERTILIDADE E CUSTOS ENVOLVIDOS
NA CORREÇÃO DO SOLO**

Estudante: Giovanna Barros Ferreira

Matrícula: 17/0104125

Orientador: Prof. Dr. Alcides Gatto

Menção: _____

Prof. Dr. Alcides Gatto

Orientador

Profa. Dra. Fabiana Piontekowski Ribeiro

Membro da Banca

Ms. Natália Cássia de Faria Ferreira

Membro da Banca

Brasília-DF

Setembro de 2022

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, por sempre terem me apoiado e me incentivado a alcançar mais uma conquista em minha vida.

À minha família, em especial à minha irmã Anna Paula que sempre foi uma inspiração para mim e meu apoio maior longe de casa.

Ao meu orientador e professor, Alcides Gatto, por toda paciência, auxílio e conhecimentos compartilhados ao longo dessa jornada.

Aos meus colegas de curso, por todas as experiências e momentos juntos, sem os quais teria sido muito mais difícil o caminho até aqui.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Mapa de localização da Fazenda Água Limpa, pertencente à Universidade de Brasília, Distrito Federal. 12
- Figura 2.** Área de reforma de plantio de eucalipto 13

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características químicas e granulométricas na área de plantio de eucalipto na Fazenda Água Limpa – UnB.	18
Tabela 2. Interpretação da acidez ativa (pH) do solo.	19
Tabela 3. Interpretação dos teores da matéria orgânica, acidez trocável, acidez potencial, saturação por alumínio e saturação por bases.....	19
Tabela 4. Interpretação dos teores de Ca e Mg.	21
Tabela 5. Interpretação dos teores de P e K.	22
Tabela 6. Recomendação de adubação nitrogenada para plantio de eucalipto com base no teor de MO.....	26
Tabela 7. Recomendação de adubação fosfatada e potássica para plantio de eucalipto com base no teor de argila do solo.	27

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	MATERIAIS E MÉTODOS	11
2.1	Caracterização da área de estudo	11
2.2	Coleta de dados.....	14
2.3	Cálculo para recomendação de calagem	14
2.3.1	Método de neutralização do Al^{3+} trocável e elevação dos teores de Ca e Mg trocáveis 14	
2.3.2	Método com base na correlação pH x saturação por bases (V).....	16
2.4	Cálculo para recomendação de gessagem	16
2.5	Cálculo para recomendação de adubação.....	17
2.6	Análise dos custos necessários	17
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
3.1	Análise química do solo na área de plantio de eucalipto	18
3.2	Interpretação dos indicadores de acidez no solo	19
3.3	Matéria orgânica	19
3.4	Interpretação dos teores de Ca e Mg trocáveis.....	20
3.5	Interpretação dos teores de fósforo e potássio.....	21
3.6	Recomendação de calagem para a área de plantio de eucalipto	23
3.7	Recomendação de gessagem para a área de plantio de eucalipto	25
3.8	Recomendação de adubação mineral para a área de plantio de eucalipto	25
3.9	Análise dos custos necessários para realizar calagem, gessagem e adubação para o de plantio de eucalipto.....	28
4	CONCLUSÕES.....	31
5	REFERÊNCIAS	32

1 INTRODUÇÃO

O setor florestal e a agricultura são considerados destaque na economia brasileira, e estão inseridos em um processo de grandes transformações através das inovações tecnológicas. Tais transformações como as práticas de manejo e melhoramento genético surgiram por consequência do aumento da urbanização e da crescente demanda por alimentos, produtos agrícolas e florestais. Com o aumento exponencial da demanda por estes produtos, a procura por espécies com potencial econômico fez com que o setor florestal brasileiro se desenvolvesse bastante, tornando-se um dos segmentos mais importantes na cadeia produtiva do país (ARAÚJO et al., 2021).

Embora a preocupação com a segurança alimentar não seja recente, a partir do ano de 2020, onde se iniciou a pandemia da COVID-19 e as ações para diminuir a propagação do vírus, as economias e os sistemas alimentares foram ainda mais impactados com a insegurança alimentar (NILES et al., 2020). Estima-se que até 2050 será preciso o suprimento de mais de nove bilhões de pessoas com recursos naturais, o que exige maior capacidade de produção a fim de garantir o fornecimento de alimentos e recursos requeridos ao bem-estar humano que decrescem com o passar dos anos, ao mesmo tempo garantindo alimentos adequados para a saúde das pessoas (COLE et al., 2018).

Com base no crescimento da população mundial, além da demanda por alimentos, a exigência por produtos florestais como: a celulose, painéis, compensados obteve aumento considerável, e com isso surgiu uma grande preocupação com os índices produtivos, para que seja capaz de atender a demanda existente (FREITAS; MENDONÇA, 2016). Desta forma, se faz necessário que em uma pequena porção de terra seja possível atingir o máximo de rendimento possível da produção. Essa preocupação com a produtividade influenciou a intensificação em investimento em pesquisas e desenvolvimento de novas tecnologias voltadas a melhoria da qualidade química, física e biológica do solo (VILLAREAL, 2016).

No Brasil, atualmente, a espécie florestal mais plantada corresponde ao *Eucalyptus sp.*, uma espécie exótica cultivada em grande escala, devido a sua capacidade de suprimento das demandas industriais do setor florestal, como a produção de papel e celulose, madeira, laminados, produtos não-madeireiros, entre outros. De acordo com o Relatório Anual IBÁ, de 2021, no ano de 2020, o país apresentou uma produtividade média de 36,8 m³ ha⁻¹ correspondente aos plantios de eucalipto existentes. Esse valor se mostrou crescente, pois no ano de 2019, a produtividade média dos plantios de eucalipto foi de 35,2 m³ ha⁻¹ (IBÁ, 2020).

Segundo dados da *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO) (2004), uma tonelada de fertilizante aplicado em um hectare, aliado de fatores que permeiam sua máxima absorção como a incorporação correta e parcelamento das doses, equivale a quatro novos hectares sem adubação adequada. Desta forma, é nítido como a fertilidade do solo se mostra de grande relevância para a produção agrícola e florestal (LOPES; GUILHERME, 2007).

As características do gênero *Eucalyptus* permitem sua adaptação a diferentes climas e solos, como no caso de solos ácidos e álicos, o que a induz ao seu plantio em área de Cerrado (GODOI, 2020). A maioria dos solos do Cerrado, especialmente os Latossolos, apresentam alta acidez, elevados teores de Al trocável, baixa disponibilidade de elementos básicos para o desenvolvimento de culturas como os cátions cálcio (Ca) e magnésio (Mg), baixa disponibilidade de fósforo (P) disponível (GATTO et al., 2014), e de micronutrientes como boro (B) e cobre (Cu), essenciais para o ciclo de desenvolvimento das plantas. Assim, torna-se fundamental a utilização de corretivos agrícolas, a exemplo do calcário para elevar o pH, os teores de Ca e Mg, e a disponibilidade de nutrientes às plantas (VIEIRA; WEBER, 2017).

Dessa forma, o manejo adequado do solo é imprescindível para aumentar a produtividade e evitar a degradação das áreas cultiváveis. Dentre os principais tipos de manejo do solo, se destacam a calagem, a gessagem e adubação, que são práticas adequadas para manutenções e reparos adequados (AMARAL, 2020). A calagem possibilita que a planta consiga explorar melhor o solo, água e nutrientes disponíveis, fornecendo Ca e Mg, diminuindo acidez e melhorando a qualidade do solo, além de ser uma prática com baixo impacto ambiental (SHAABAN et al., 2020).

Além disso, para potencializar a ação da calagem, a prática de gessagem atua nas camadas mais profundas do solo reduzindo a quantidade de alumínio (BOSSOLANI et al., 2020) com o uso de gesso agrícola, um bom fornecedor de enxofre (S), sendo capaz também de elevar a infiltração da água na superfície do solo (FOIS et al., 2018). A adubação também é fundamental para gerar maiores produtividades, sendo fonte de nutrientes necessários para o desenvolvimento das plantas (OLIVEIRA et al., 2018).

Os insumos agrícolas no ano de 2022 obtiveram considerável alta em seus preços por consequência da guerra entre a Rússia e Ucrânia, trazendo grande preocupação de desabastecimento para o mercado brasileiro que é fortemente dependente dos fertilizantes importados desses países, agravando a crise que já era vista no setor nos últimos anos por consequência do aumento da produção de alimentos mundialmente (CAMPOS JÚNIOR, 2022).

O potássio por exemplo, uma das principais matérias-primas dos fertilizantes, teve seu preço por tonelada triplicado em apenas um ano. Em fevereiro de 2021, o produto era comercializado a US\$ 300 e em março de 2022 chegou a US\$ 1,1 mil por tonelada, segundo dados do Itaú BBA. Além disso, a Rússia que é a segunda maior produtora de potássio no mundo vem apresentando dificuldades nas transações bancárias e questões de logística, dificultando a importação destes insumos e o envio de commodities (G1, 2022).

Segundos dados do Itaú BBA, em 2021, das matérias-primas para fertilizantes compradas pelo Brasil, vieram da Rússia: 20% dos nitrogenados; 28% dos potássicos e 15% dos fosfatados. Assim, observa-se um aumento nos custos para correção do solo nos últimos meses, o que impacta diretamente na produção agrícola e florestal.

Dessa forma, o objetivo do estudo foi avaliar a fertilidade do solo de plantio de eucalipto em região de Cerrado, cultivada em rotações sucessivas, em um período aproximado de mais de 30 anos, recomendar, se necessário, a calagem, a gessagem e a adubação mineral para a área, e avaliar os custos necessários para execução. Para melhor responder o objetivo, foram levantadas as seguintes questões de pesquisa:

- Qual a necessidade de calagem, gessagem e adubação na área? e;
- Qual a avaliação econômica dos custos envolvidos na correção do solo?

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo está localizada na Fazenda Água Limpa (FAL), pertencente à Universidade de Brasília (UnB), no Distrito Federal, a 32 km de Brasília, com parcela definida nas coordenadas 15° 56' S e 47° 55' W e 15° 59' S e 47° 58' W.

A altitude média do local é de 1.100 m, e o solo é predominantemente do tipo Latossolo Vermelho distrófico, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2018), e a vegetação primária Cerrado *stricto sensu*.

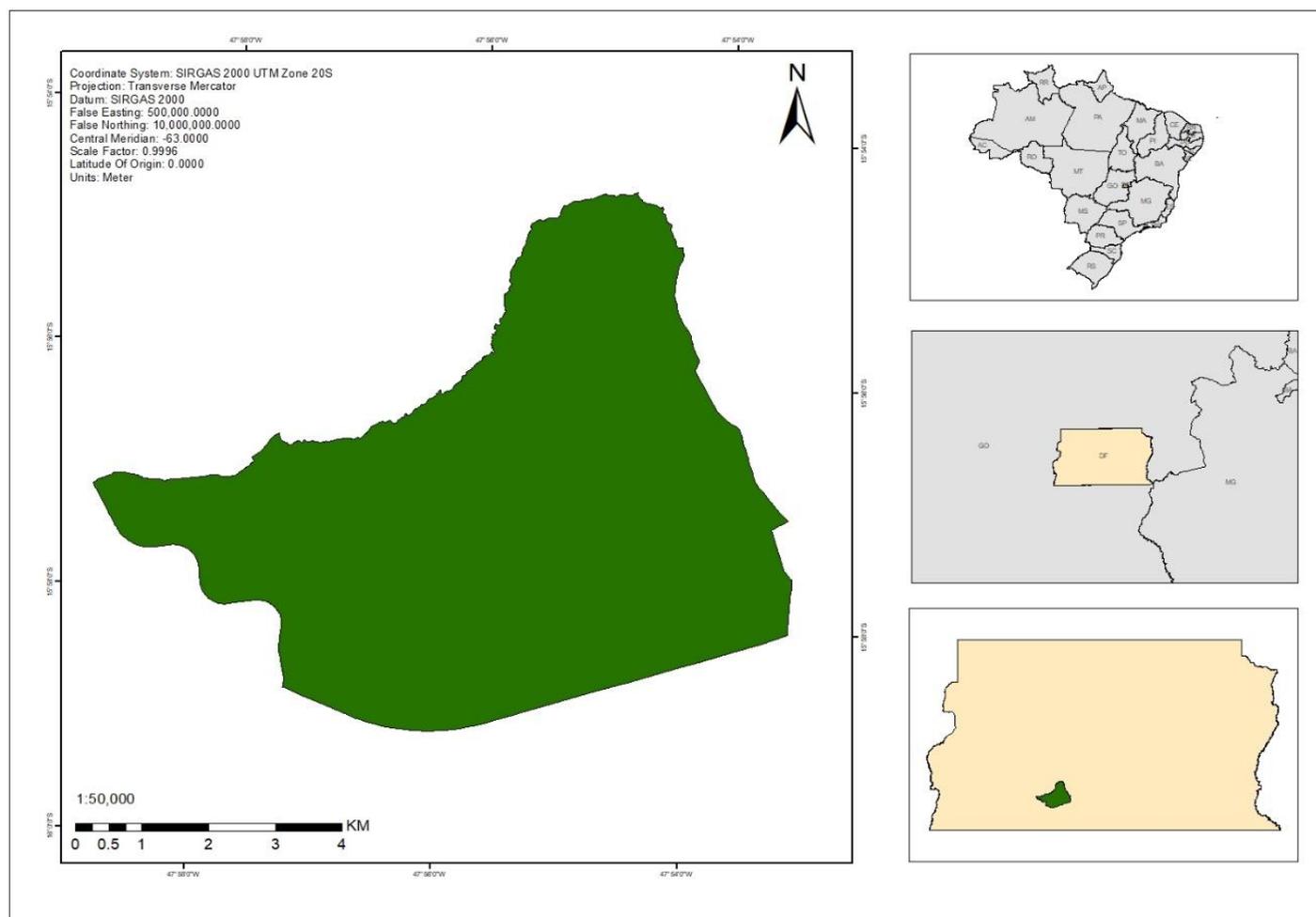


Figura 1. Mapa de localização da Fazenda Água Limpa, pertencente à Universidade de Brasília, Distrito Federal.

Fonte: Autor.

Base de dados: IBGE, 2021

De acordo com a classificação climática de Köppen o clima da região é Aw (ALVARES et al. 2013), com clima tropical com inverno seco, já que há menos pluviosidade no inverno em comparação com o verão. Possui duas estações bem definidas: clima seco de maio a setembro, e clima chuvoso de outubro a abril, com temperatura média anual entre 20 e 26 °C e precipitação média anual variando de 1.300 a 1.900 mm (MASTELLA et al., 2019).

A área de reforma e novo plantio de eucalipto foi implantada dezembro de 2005, onde o preparo do solo consistiu na subsolagem com haste de 70 cm de profundidade. A incorporação de 500 kg ha⁻¹ de superfosfato simples e 280 g planta⁻¹ de NPK na mistura granulada 20-5-20, além da aplicação de Boro e Zinco com primeira aplicação 15 dias após o plantio, e após início do período de chuva ocorreu segunda aplicação. Em 2011, a área foi atingida por um incêndio, mas a sobrevivência dos indivíduos não foi afetada (MATOS et al., 2017). Na adubação de cobertura foi utilizado 100 g de NPK 04-14-08 nas linhas de plantio 60 dias após o plantio e ao final do primeiro ano de plantio (VILLAREAL, 2016). A área possui 1,2 hectares, plantada com híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*, com espaçamento de 3 x 2 m e uma densidade média de povoamento de 1.300 indivíduos ha⁻¹.



Figura 2. Área de reforma de plantio de eucalipto

2.2 Coleta de dados

Com o auxílio de um trado holandês, foram coletadas amostras no solo de acordo com (BRASIL; CRAVO; VELOSO, 2007) em três profundidades: 0-20; 20-40; e 40-60 cm, em 20 pontos distribuídos aleatoriamente ao longo da área. Realizou-se a limpeza de cada superfície coletada, removendo galhos, folhas e outros detritos. Após coletadas, as amostras foram adicionadas em um balde limpo, misturadas e homogeneizadas para formação de uma amostra composta de cada profundidade. Coletou-se cerca de 500 g de solo de cada profundidade, e em seguida, foram acondicionadas em sacolas plásticas novas e identificadas com a data de coleta e profundidade, para posterior envio ao laboratório de análise química do solo.

As análises laboratoriais realizadas foram: pH, MO, Al^{3+} , P, K, Ca^{2+} , Mg^{2+} , capacidade de troca catiônica total (T) e efetiva (t), saturação por bases (V), saturação por Al (m) e soma de bases (SB).

2.3 Cálculo para recomendação de calagem

O cálculo para recomendação de calagem foi realizado através de dois modelos matemáticos que são referência para o Cerrado, onde um se baseia na neutralização do Al^{3+} trocável com a elevação dos teores de Ca e Mg trocáveis, e o outro, na correlação do pH com a saturação por bases (SOUSA; LOBATO, 2004).

Com base nisso, para a necessidade de se aplicar doses de calcário, foi realizada a média da necessidade de calagem (NC, $t\ ha^{-1}$) para realizar o cálculo da quantidade de calcário (QC, $t\ ha^{-1}$).

2.3.1 Método de neutralização do Al^{3+} trocável e elevação dos teores de Ca e Mg trocáveis

Esse método, busca corrigir a acidez do solo de acordo com a tolerância, ou não, da cultura à elevada acidez trocável (considerando a máxima saturação por Al^{3+} que a cultura tolera) (m_t), e da capacidade de tampão do solo (Y). Além disso, visa elevar os teores de Ca e Mg, de acordo com a necessidade da cultura para esses nutrientes (X).

Desta forma, a necessidade de calagem (NC, $t\ ha^{-1}$) é calculada da seguinte forma:

$$NC (t\ ha^{-1}) = CA + CD \quad (1)$$

Onde:

CA = Correção da acidez do solo até certo valor de m; e

CD = Correção da deficiência de Ca e de Mg, garantindo um valor mínimo (X) desses nutrientes.

$$CA = Y [Al^{3+} - (m_t * t/100)] \quad (2)$$

Onde:

Y = Capacidade tampão do solo

Al^{3+} (cmol/dm³) = Acidez trocável;

m_t (%) = Saturação máxima por Al^{3+} tolerada; e

t (cmol/dm³) = CTC efetiva.

$$CD = X - (Ca^{2+} + Mg^{2+}) \quad (3)$$

Onde:

X = Exigência da cultura dos teores em Ca^{2+} e Mg^{2+} .

Nesse método, se houver necessidade de calagem, o valor de Y utilizado é igual 3, de acordo com as análises químicas e textural do solo, o valor de X é igual a 1,5, e o valor utilizado de m_t é igual a 30, isso pois a espécie de eucalipto possui um grau de tolerância a acidez do solo, e uma exigência moderada de Ca e Mg trocáveis.

Para o cálculo da necessidade de calcário (QC, t ha⁻¹), foi utilizado o modelo matemático indicado por (ALVAREZ et al., 1999). Este modelo leva em consideração a porcentagem da superfície que a calagem cobrirá, a profundidade na qual o calcário será incorporado, além do poder relativo de neutralização total (PRNT), expresso pela fórmula:

$$QC \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = NC * (SC/100) * (PF/20) * (100/PRNT) \quad (4)$$

Onde:

QC (t ha⁻¹) = Quantidade de calcário a ser aplicada;

NC (t ha⁻¹) = Necessidade de calagem;

SC (%) = Porcentagem da superfície de cobertura;

PF (cm) = Profundidade de incorporação do calcário; e
 PRNT (%) = Poder relativo de neutralização total.

2.3.2 Método com base na correlação pH x saturação por bases (V)

$$NC (t ha^{-1}) = T * (Ve - Va) / 100 \quad (5)$$

Onde:

T (cmol_c/dm³) = Capacidade de troca catiônica (CTC) a pH 7,0;

Ve (%) = Saturação por bases esperada; e

Va (%) = Saturação por bases atual do solo.

O valor da saturação de bases esperada foi igual a 40, por conta do eucalipto ser uma espécie tolerante a acidez. Já o valor de saturação atual do solo foi calculado através do modelo matemático indicado por (ALVAREZ et al., 1999):

$$Va (%) = 100 (SB) / T \quad (6)$$

Onde:

SB = Soma de bases da análise química do solo; e

T (cmol_c/dm³) = Capacidade de troca catiônica (CTC) a pH 7,0.

2.4 Cálculo para recomendação de gessagem

Para a recomendação de gessagem, são observados três critérios fundamentais apontados por (SOUSA; LOBATO, 2004), são eles: em caso de subsolo ácido; com saturação por Al maior que 20%; teor de Ca²⁺ menor que 0,5 cmol_c dm⁻³ em uma das camadas, até a profundidade de 60 cm. Portanto, deve ser observado na análise química e física do solo se atende esses critérios para que seja recomendada a gessagem.

A necessidade de gesso (NG) está relacionada a textura do solo, e para o caso de culturas perenes, como do eucalipto, é definida pela fórmula proposta por Sousa, Lobato e Rein (2005):

$$NG (kg ha^{-1}) = 75 * \text{Teor de argila do solo} (%) \quad (7)$$

2.5 Cálculo para recomendação de adubação

A análise para recomendação de adubação mineral foi realizada mediante a necessidade de cada teor de nutrientes adequados para a cultura do eucalipto. Como a área de plantio de eucalipto tem como objetivo principal obter alta produtividade de madeira, é proposto a adubação com fertilizantes minerais, pois possuem alta disponibilidade de nutrientes e são prontamente solúveis no solo e disponíveis para absorção pelas plantas, o que possibilita que as árvores cresçam em altura e diâmetro em um espaço de tempo menor.

Para a definição da dose de fertilizantes minerais a serem utilizados na adubação, foi considerada a análise química do solo da área de plantio (Tabela 1) e as exigências da cultura. Posteriormente, para a escolha do fertilizante formulado NPK, obtém-se a fórmula mínima, e a fórmula comercial que atenda às necessidades de N, P e K na área.

Para o preparo da área de plantio, recomenda-se a aração e a gradagem de apenas uma faixa de preparo solo para plantio, com a largura aproximada de 1,0 m, mantendo as entrelinhas de plantio com a presença dos resíduos culturais da cultura anterior e de gramíneas como forma de preparo reduzido do solo e cultivo mínimo da floresta, sendo a aplicação e incorporação do calcário e fertilizantes apenas na área de revolvimento do solo.

O cálculo da dose a ser aplicada se dá em função da concentração de nutrientes no formulado NPK. Assim, quanto maior for a concentração de nutrientes, menor será a dose a ser aplicada. O cálculo se dá por meio da seguinte fórmula:

$$\text{Dose} = (\sum \text{recomendação de adubação} * 100) / (\sum \text{nutrientes no NPK}) \quad (8)$$

2.6 Análise dos custos

Para a análise dos custos dos insumos necessários (calcário, gesso agrícola e fertilizantes), foi procedida uma pesquisa dos preços no comércio local do Distrito Federal mediante consulta de preços em diversas casas agropecuárias de venda desses insumos. A partir dessas informações, foram calculados os custos com base nos tipos de insumos e dose a serem aplicadas.

Com base nisso, aliado ao cálculo das doses a serem aplicadas de cada um dos corretivos agrícolas com os preços encontrados no mercado, é possível obter os valores reais dos custos envolvidos em cada prática isolada, e como um todo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise química do solo na área de plantio de eucalipto

Os resultados da análise química e textural do solo da área de plantio de eucalipto estão dispostos na Tabela 1, contendo os elementos que indicam acidez do solo, teores de nutrientes, teor de matéria orgânica e textura do solo nas profundidades 00-20 e 20-40 cm. De acordo com os teores de acidez ativa (pH), podemos classificar o solo como ácido, apresentando igual a 4,2, além disso, pode-se perceber que isso reflete nos teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) que estão iguais a zero, ou seja, indisponíveis para a cultura. Além disso, os valores dos nutrientes P e K também são considerados baixos.

A saturação por alumínio (m) apresentou valor igual a 93,8%, sendo classificado como um solo álico, de baixo potencial nutricional, uma vez que seu valor é maior que 50%. A saturação por bases atual (V) apresentou valor igual a 0,5%, um valor menor que 50%, classificando o solo como distrófico, ou seja, pouco fértil e com muitas limitações produtivas (SOUSA; LOBATO, 2004). Além disso, podemos destacar também o teor de argila igual a 65%, o que caracteriza esse solo como muito argiloso (SANTOS et al., 2018). A baixa CTC também é associada ao alto teor de Al no solo, agindo como um mecanismo de tolerância ao Al, para diminuir os efeitos desse elemento nas raízes das plantas (DO VALE et al., 1996).

Tabela 1. Características químicas e granulométricas na área de plantio de eucalipto na Fazenda Água Limpa – UnB.

Prof.	pH	MO	P (*)	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	T	t	SB	V	m	Areia	Silte	Argila
cm	H ₂ O	dag kg ⁻¹	- mg dm ⁻³		-----cmol _c dm ⁻³ -----						-----%-----					
00-20	4,2	4,1	0,6	16,5	0	0	0,6	8,1	8,2	0,7	0,04	0,5	93,8	5,1	29,9	65
20-40	4,8	3,1	0,3	11	0	0	0,2	5	5	0,2	0,03	1	63,8	4,1	32,9	63

(*) P extraído por Mehlich-1, em mg dm⁻³.

Fonte: Autor.

3.2 Interpretação dos indicadores de acidez no solo

Com base na análise química, observa-se, que o pH nas profundidades 0-20 e 20-40 cm foram de 4,2 e 4,8, indicando acidez muito elevada e acidez elevada (Tabela 2), respectivamente, dificultando a assimilação dos nutrientes pelas plantas e limitando o rendimento da cultura (Ernani et al., 1998). A elevada acidez também reflete no aumento do alumínio tóxico (Al^{3+}), onde apresentou teor considerado médio (Tabela 3) com $0,6 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$, o que reflete também nos teores de P, Ca e Mg que estão baixos (Tabelas 4 e 5). Valores inferiores à 50% de saturação por bases (V), indicam que o solo é caracterizado como distrófico, pouco fértil e com limitações químicas para o uso agrícola. Além disso, os valores da saturação por alumínio (m) superiores a 50% (Tabela 3), indicam que o solo é álico, com potencial nutricional muito baixo (SOUSA; LOBATO, 2004).

Tabela 2. Interpretação da acidez ativa (pH) do solo.

Classificação						
Acidez Muito Elevada	Acidez Elevada	Acidez Média	Acidez Fraca	Neutra	Alcalinidade Fraca	Alcalinidade Elevada
< 4,5	4,5 – 5,0	5,1 – 6,0	6,1 – 6,9	7,0	7,1 – 7,8	> 7,8

Fonte: Adaptado de Alvarez et al. (1999).

Tabela 3. Interpretação dos teores da matéria orgânica, acidez trocável, acidez potencial, saturação por alumínio e saturação por bases.

Característica	Unidade	Classificação				
		Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
Matéria orgânica	dag kg ⁻¹	≤ 0,70	0,71 - 2,00	2,01 - 4,00	4,01 - 7,00	> 7,00
Acidez trocável (Al^{3+})	cmol _c /dm ³	≤ 0,20	0,21 - 0,50	0,51 - 1,00	1,01 - 2,00	> 2,00
Acidez potencial (H + Al)	cmol _c /dm ³	≤ 1,00	1,01 - 2,50	2,51 - 5,00	5,01 - 9,00	> 9,00
Saturação por Al^{3+} (m)	%	≤ 15,0	15,1 - 30,0	30,1 - 50,0	50,1 - 75,0	> 75,0
Saturação por bases (V)	%	≤ 20,0	20,1 - 40,0	40,1 - 60,0	60,1 - 80,0	> 80,0

Fonte: Adaptado de Alvarez et al. (1999).

3.3 Matéria orgânica

Dentre as características do solo que podem ser indicadoras da sua qualidade, destaca-se a matéria orgânica refletindo nas propriedades químicas, físicas e biológicas, sendo também a principal fonte de nitrogênio, fósforo e enxofre ao solo (NANZER, et al., 2019). A MO é a principal responsável pela CTC dos solos tropicais e subtropicais, podendo agir para a diminuição da toxidez de elementos nocivos às plantas, além de ser uma das principais fontes

de energia e nutrientes para a biota do solo. Desse modo, o acúmulo de MO faz com que a qualidade do solo seja elevada (SOUZA, 2018). A partir da análise química (Tabela 1), o teor de MO encontrado foi igual a 4,1, sendo este considerado um teor bom.

Em relação ao nitrogênio (N), disponível no solo possui origem essencialmente da matéria orgânica e da atividade biológica que decompõem e mineralizam os compostos orgânicos, fornecendo energia e alimentos para os organismos vivos do solo e nitrogênio às plantas, sendo este um dos elementos essenciais à nutrição mineral de plantas mais limitantes das culturas no Cerrado.

A partir dos dados da análise química, observa-se que os teores de MO da área, estão adequados para o plantio de eucalipto, apresentando valores iguais a 4,1 dag kg⁻¹ na profundidade 00-20 cm (Tabela 1) sendo um valor adequado ao solo e à cultura, conforme Tabela 3. Porém, apesar dos teores de MO estarem propícios para o plantio, e supostamente indicativo de um solo de boa qualidade, nutrientes não estão disponíveis para a cultura, onde tem-se um solo ácido e pouco fértil. Alguns fatores podem explicar isso, como por exemplo a presença de material recalcitrante sobre o solo, alta relação C/N, mineralização lenta, além de ser uma área que cultivava eucalipto em rotações sucessivas há mais de 30 anos.

A quantidade de N presente na MO do solo é limitada, e pode ser esgotada de maneira rápida após alguns cultivos, além das condições de temperatura e umidade do Brasil acelerarem o processo de decomposição da MO e perdas de N (HUNGRIA; CAMPO; MENDES, 2001). Assim, a MO não é capaz de fornecer todo o N requerido, uma vez que sofre lixiviação, principalmente em períodos chuvosos, e possui material recalcitrante de baixa taxa de mineralização (SOUSA; LOBATO, 2004). Por esses motivos, recomenda-se adubação nitrogenada na área para compensar a baixa disponibilidade de nutrientes e as perdas, garantindo maior produtividade da cultura.

3.4 Interpretação dos teores de Ca e Mg trocáveis

O cálcio (Ca), é um macronutriente importante na estrutura das plantas, essencial para o crescimento e desenvolvimento vegetal. Assim, o Ca não desempenha apenas a função de um fator importante para a estabilidade da parede celular e membrana, mas também de um segundo mensageiro em diversos processos fisiológicos, desde o desenvolvimento das raízes, até a respostas das plantas a condições de estresse biótico (THOR, 2019). Portanto, a deficiência de

Ca pode impedir o desenvolvimento radicular das plantas, ocasionando limitação na absorção de nutrientes, conforme teores iguais a zero obtidos a partir da análise química (Tabela 1).

O magnésio (Mg), é um elemento essencial para o desenvolvimento das plantas, sendo requisitado em diversos processos e reações metabólicas, tais como: a fotofosforilação, fixação de dióxido de carbono na fotossíntese, síntese de proteínas e clorofila, carga do floema e outros. Assim, a sua deficiência pode afetar o tamanho das plantas. Como o eucalipto demanda altos teores de Mg, a ausência desse macronutriente no solo se torna uma preocupação para a cultura (BARBOSA, et al., 2019), como o do solo analisado, que também apresentou teores de Mg iguais a zero.

Assim, com base nos teores de Ca e Mg obtidos a partir da análise química, pode-se observar que esses dois nutrientes essenciais para o crescimento das plantas apresentaram valores iguais a zero (Tabela 1), sendo assim muito baixos (Tabela 4), porém isso não quer dizer que o solo não tenha a presença de Ca e Mg, esses nutrientes apenas estão indisponíveis para a cultura. Portanto, indica a necessidade de realizar calagem para corrigir a acidez ativa, elevar o pH e torná-lo menos ácido, e para neutralização do alumínio tóxico (Al^{3+}), além de elevar os teores de cálcio e magnésio do solo, macronutrientes essenciais para a cultura do eucalipto.

Tabela 4. Interpretação dos teores de Ca e Mg.

Características	Classificação				
	Muito Baixo	Baixo	Médio	Bom	Muito Bom
		cmol _c dm ⁻³			
Cálcio	≤ 0,40	0,41 - 1,20	1,21 - 2,40	2,41 - 4,00	> 4,00
Magnésio	≤ 0,15	0,16 - 0,45	0,46 - 0,90	0,91 - 1,50	> 1,50

Fonte: Adaptado de Alvarez et al. (1999).

3.5 Interpretação dos teores de fósforo e potássio

Durante a fase inicial de desenvolvimento das plantas, da constituição do sistema radicular e parte aérea são necessários conteúdos adequados de nutrientes, sendo o fósforo (P) o elemento mais requerido (SOUSA; LOBATO, 2004). Assim, observa-se que o P é um constituinte fundamental nos processos estruturais que acarretam o desenvolvimento das plantas baseando-se na sua importância na produção de energia metabólica (TAIZ; ZEIGER, 2013), onde sua deficiência pode gerar retardamento no crescimento, além de apresentar coloração verde escura/arroxeadas em folhas mais velhas (ARAÚJO et al., 2021), como o teor

de P apresentado na análise química, igual a $0,6 \text{ mg dm}^{-3}$ (Tabela 1) que é considerado muito baixo (Tabela 5).

O potássio (K), é o segundo nutriente mais requerido pelo eucalipto, apresentando papel fundamental em processos fisiológicos, como a fotossíntese regulação osmótica, ativação de enzimas e realização da síntese proteica, por exemplo (FERREIRA et al., 2019). A quantidade que se movimenta no solo sucede da produção. Nos solos do Cerrado, sua reserva é muito baixa, conforme obtido a partir da análise química (Tabela 1) o valor de $16,5 \text{ mg dm}^{-3}$, não sendo suficiente para suprir as demandas de culturas com sucessivos cultivos. Além disso, quando seus sais são associados a Capacidade de Troca Catiônica (CTC) dos solos do Cerrado, faz com esse nutriente seja facilmente lixiviado (DE SÁ SOUZA et al., 2018)

Portanto, como os solos do Cerrado são muito intemperizados e profundos, onde ocorrem grande parte dos plantios de eucalipto, não é esperado que o K, assim como o P, apresente respostas residuais durante muito tempo nessas regiões, como pode-se observar com os teores desses nutrientes encontrados no solo e sua classificação como muito baixo e baixo (Tabela 5), assim recomenda-se a aplicação de adubos diante dos níveis críticos apresentados.

Dentre as práticas silviculturais, a adubação é de grande relevância, principalmente a fosfatada, onde é responsável pela elevada produção dos cultivos de eucalipto, e dessa forma, a escolha das doses adequadas de P_2O_5 e K_2O é fundamental para a obtenção de altas produtividades (CIPRIANE et al., 2014).

Tabela 5. Interpretação dos teores de P e K.

Características	Classificação				
	Muito Baixo	Baixo	Médio	Bom	Muito Bom
		mg dm^{-3}			
Argila (%)		Fósforo disponível (P)			
60-100	$\leq 2,7$	2,8 - 5,4	5,5 - 8,0	8,1 - 12,0	$> 12,0$
35-60	$\leq 4,0$	4,1 - 8,0	8,1 - 12,0	12,1 - 18,0	$> 18,0$
15-35	$\leq 6,6$	6,7 - 12,0	12,1 - 20,0	20,1 - 30,0	$> 30,0$
0-15	$\leq 10,0$	10,1 - 20,0	20,1 - 30,0	30,1 - 45,0	$> 45,0$
		Potássio disponível (K)			
	≤ 15	16 - 40	41 - 70	71 - 120	> 120

Fonte: Adaptado de Alvarez et al. (1999).

Conforme Tabela 5, o teor de P na área é considerado muito baixo, sendo igual a $0,6 \text{ mg dm}^{-3}$ na profundidade 00-20 cm (Tabela 1). Apesar da área ter recebido adubação fosfatada no ano do plantio, em 2009, o efeito residual de fertilizantes fosfatados solúveis em água após um,

dois três, quatro e cinco anos é de 60%, 45%, 35%, 15% e 5%, respectivamente (SOUSA; LOBATO, 2004). Como ocorreu há aproximadamente 13 anos, tem-se atualmente menos de 5% de efeito residual do fertilizante fosfatado no solo da área, além do P estar propenso a perdas por lixiviação.

O teor de K no solo também está inadequado, considerado baixo (Tabela 5), apresentando $16,5 \text{ mg dm}^{-3}$ na profundidade 00-20 cm, apesar de também ter sido realizada a adubação potássica no ano do plantio. Porém, assim como o P, o K também possui efeito residual, que é afetado principalmente pela extração das culturas e perdas por lixiviação (SOUSA; LOBATO, 2004).

A partir disso, como os valores apresentados na análise química de P e K, são classificados como muito baixo e baixo, respectivamente, ocorre limitação do potencial produtivo do solo, onde indica a necessidade de realizar adubação fosfatada e potássica na área promovendo a adubação mineral adequada, a fim de aumentar a disponibilidade desses nutrientes e conseqüentemente o desenvolvimento e a produtividade da cultura.

3.6 Recomendação de calagem para a área de plantio de eucalipto

Utilizando-se a fórmula do método de neutralização do Al^{3+} trocável e elevação dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis, e adotando-se os valores de X, m_t , t, Al^{3+} , Ca^{2+} e Mg^{2+} iguais a $1,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, 30%, $0,7 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, $0,6 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, $0,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e $0,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ respectivamente, calculando o fator Y com base no teor de argila a 65%, resulta em um valor entre 3 e 4, sendo o 3 o valor escolhido pois o eucalipto é uma espécie tolerante a acidez, e para reduzir o custo da calagem. Dessa forma, tem-se que:

$$\begin{aligned}
 NC &= Y \left[\text{Al}^{3+} - \left(\frac{m_t * t}{100} \right) \right] + [X - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})] \\
 NC &= 3 \left[0,6 - \left(\frac{30 * 0,7}{100} \right) \right] + [1,5 - (0,0 + 0,0)] \\
 NC &= 2,67 \text{ t ha}^{-1}
 \end{aligned} \tag{9}$$

Em contrapartida, através do método de correlação pH x saturação por bases, os valores de T e Ve utilizados foram iguais a $8,2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e 40%, respectivamente. O Va calculado foi igual a 0,5%. Com isso, tem-se que:

$$NC = T * (Ve - Va) / 100$$

$$NC = 8,2 * (40 - 0,5) / 100$$

$$NC = 3,2 \text{ t ha}^{-1} \quad (10)$$

De acordo com a média dos valores dos dois métodos temos a seguinte necessidade de calagem: $(2,67 + 3,20) / 2 = 2,94 \text{ t ha}^{-1}$.

Para calcular a quantidade de calcário (QC, t ha^{-1}), foi adotado PRNT igual a 100% a fim de se obter uma calagem de melhor qualidade, NC igual a $2,94 \text{ t ha}^{-1}$, SC igual a 33% tendo em vista que o plantio possui espaçamento de $3 \times 2 \text{ m}$ com preparo do solo realizada na faixa de plantio com $1,0 \text{ m}$ de largura para controle do mato competição, a PF foi igual a 20 cm . Então, tem-se que:

$$QC = NC * (SC/100) * (PF/20) * (100/PRNT)$$

$$QC = 2,94 * (33/100) * (20/20) * (100/80)$$

$$QC = 1,20 \text{ t ha}^{-1} \quad (11)$$

Dessa forma, a quantidade de calcário recomendada a ser aplicada é de $1,20 \text{ t ha}^{-1}$ podendo variar com base nos recursos disponíveis para a realização da calagem. Uma vez que o eucalipto é uma espécie tolerante a acidez do solo, a calagem é recomendada para elevar os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} conforme apontado como necessário na tabela 5. Assim, recomenda-se o uso de calcário do tipo calcítico, que apresenta uma concentração aproximada de 45 a 55% de CaO e 5% de MgO, o qual reflete em uma relação Ca:Mg de 3:1 a 4:1, a qual é adequada para promover uma boa nutrição mineral de Ca e Mg pelas plantas cultivadas.

Nesse sentido, para a calagem com dose de $1,20 \text{ t ha}^{-1}$, não é necessário fazer a aplicação parcelada da dose, uma vez que só se recomenda o parcelamento de doses a partir de 5 t ha^{-1} , conforme apontado por (SOUSA; LOBATO, 2004).

Para a correção da acidez do solo, é recomendada a aplicação de maneira uniforme na faixa de preparo do solo, sendo feita a incorporação até a profundidade de 20 cm .

O período de realização da calagem deve ocorrer com antecedência ao plantio, de 30 a 90 dias, no início do período chuvoso ou com adequado teor de umidade do solo, uma vez que o calcário requer umidade para que ocorra reação com o solo, a fim de ocorrer efetiva neutralização da acidez, diminuição do Al^{3+} e aumento da disponibilidade de Ca e Mg no solo

(NASCIMENTO; NOVAIS, 2020) para que as plantas consigam explorar melhor o solo, água e nutrientes disponíveis.

3.7 Recomendação de gessagem para a área de plantio de eucalipto

Conforme apresentado anteriormente com base na análise química, o solo apresenta deficiência de Ca^{2+} e com alto teor de Al^{3+} , o que dificulta o desenvolvimento e penetração do sistema radicular em profundidade e interfere na capacidade de exploração de água e nutrientes. Uma prática para solucionar esse problema é a aplicação de gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ - Sulfato de Cálcio). Assim, o sulfato solúvel em água é capaz de levar cátions até as camadas mais profundas do solo, diminuindo a saturação por alumínio e deixando-o mais adequado para o desenvolvimento das raízes (SOUSA; MIRANDA; OLIVEIRA, 2007).

Através da análise química do solo e dos critérios necessários para aplicação de gesso agrícola, recomenda-se a realização de gessagem, visto que: a camada subsuperficial do solo está ácida, a saturação por alumínio (m) é maior que 20% e o teor de Ca^{2+} é menor que $0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, conforme Tabela 1.

Dessa forma, considerando o teor de argila de 63% na profundidade 20 – 40 cm, tem-se que:

$$\text{NG} = 75 * \text{Teor de argila do solo (\%)}$$

$$\text{NG} = 75 * 63$$

$$\text{NG} = 4.725 \text{ kg ha}^{-1}, \text{ ou, } 4,7 \text{ t ha}^{-1} \quad (12)$$

O gesso poderá ser aplicado no solo em toda área, sem a necessidade de ser incorporado. Como o seu efeito residual é geralmente maior que o do calcário, ele deve ser reaplicado, se preciso for, a partir de novas análises químicas do solo (SOUZA; LOBATO, 2004).

3.8 Recomendação de adubação mineral para a área de plantio de eucalipto

Com base na análise química do solo (Tabela 1) e na interpretação dos valores de P e K (Tabela 6) que se encontram baixo e muito baixo de acordo com a classificação, observa-se a necessidade de adubação com P_2O_5 e K_2O para elevar os níveis desses dois elementos. O Ca e Mg serão fornecidos ao solo através da calagem, e o S por meio da gessagem.

Para obter uma cultura de eucalipto de alta produtividade para fins comerciais, é recomendado o uso de fertilizantes minerais solúveis, na forma de adubos simples, complexos

ou formulados NPK, sendo este último preferido por conter na sua composição a presença de dois ou mais macronutrientes primários, ou seja, N, P e K.

Nos solos do Cerrado, os micronutrientes B e Zn, são os mais propensos a apresentarem deficiência nas culturas, onde, em alguns, afetam grandemente a produtividade (VIEIRA, 2019). A absorção pelas culturas e o aumento da produção, faz com que a carência por esses micronutrientes no solo aumente, assim como algumas práticas, como a calagem, faz com que a disponibilidade de nutrientes catiônicos diminua (RAIJ et al., 1997).

Assim, além dos fertilizantes nitrogenados, fosfatados e potássicos, também recomenda-se aplicação de $1,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de B e $2,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de Zn na linha de plantio. O boro é um nutriente que está ligado a vários processos fisiológicos da planta, tais como: síntese da parede celular e sua estruturação, metabolismo de carboidratos, dentre outros, que podem ser prejudicados por sua deficiência ou por sua toxidez uma vez que a faixa de limite entre os teores de deficiência e toxidez são bastante estreitos (RESENDE, 2004). O zinco está relacionado com o crescimento dos vegetais, e é absorvido pelos mesmos na forma de Zn^{2+} , considerado um nutriente de alta mobilidade por alguns autores, e de mobilidade intermediária por outros (VIEIRA, 2019).

Para adequar os teores de P no solo, recomenda-se a adubação fosfatada, assim, foi definido a partir do intervalo de classe disposto na Tabela 7, tendo como base que a disponibilidade de fósforo no solo se encontra muito baixa (Tabela 5).

A interpretação para o teor de N a ser aplicado no solo é realizada a partir do teor de MO existente no solo. Assim, para a recomendação de adubação nitrogenada, tem-se como base os valores dispostos na Tabela 6.

Tabela 6. Recomendação de adubação nitrogenada para plantio de eucalipto com base no teor de MO.

Matéria orgânica, g dm^{-3}		
0-15	16-40	> 40
N, kg ha^{-1}		
60	40	20

Fonte: Adaptado de Raij et al. (1997).

Para a recomendação de adubação fosfatada e potássica para plantio de eucalipto, foi analisada o valor da dose com base no teor de argila presente no solo, conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7. Recomendação de adubação fosfatada e potássica para plantio de eucalipto com base no teor de argila do solo.

Teor de Argila	Nível de P e K no solo					
	Baixo		Médio		Adequado	
	P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O
%	-----kg ha ⁻¹ -----					
≤ 15	50	30	25	15	0	0
16-35	100	60	50	30	0	0
>35	150	90	75	45	0	0

Fonte: SOUSA; LOBATO, (2004).

Considerando os valores apresentados nas Tabela 6 e 7 e da análise química (Tabela 1), é possível inferirmos que o formulado NPK 20-150-90; onde a fórmula mínima é equivalente a 1-8-4 e a fórmula exata igual a 04-32-16. Dessa forma, para o cálculo da dose a ser aplicada, tem-se que:

$$\text{Dose a ser aplicada} = \frac{(20 + 150 + 90)}{(04 + 32 + 16)} * 100$$

$$\text{Dose a ser aplicada} = 0,52 \text{ t ha}^{-1} \text{ de NPK 04-32-16} \quad (13)$$

Além dos fertilizantes nitrogenados, fosfatados e potássicos, serão aplicados também 1,0 kg ha⁻¹ de B e 2,0 kg ha⁻¹ de Zn em filete único no sulco de plantio de plantio (SOUSA; LOBATO, 2004). Assim, através dos cálculos para fornecimento dos micronutrientes B e Zn, a partir do Bórax 11% e Sulfato de Zinco 20%, respectivamente, tem-se que é necessário 9,09 kg ha⁻¹ de Bórax, e 10,0 kg ha⁻¹ de Sulfato de Zinco.

Dessa forma, para a adubação de plantio, temos:

- 0,52 t ha⁻¹ de NPK 04-32-16
- 9,09 kg ha⁻¹ de Bórax, ou, 0,009 t ha⁻¹
- 10,00 kg ha⁻¹ de Sulfato de Zinco, ou, 0,01 t ha⁻¹

Para incorporação do adubo no solo, é recomendado realizar a subsolagem como técnica primária de preparo do solo, pelo fato de o solo ser argiloso, e promover o revolvimento e descompactação do solo na faixa de preparo, para adubação, pode ser utilizada adubadeira para aplicação. Os insumos devem ser aplicados às linhas de subsolagem cerca de 20 a 30 dias antes do plantio com espaçamento de 3 m entre as linhas de plantio, para que possa haver o trânsito de máquinas na área (SOUSA; LOBATO, 2004).

Como podem ocorrer perdas de nutrientes por lixiviação, volatilização, imobilização e erosão, é recomendado parcelar a dose de adubos entre o plantio e em adubação de cobertura. Dessa forma, parcelar o adubo ocasiona maior eficiência na absorção e assimilação do nutriente pela planta (MUNDSTOCK, 1999).

3.9 Análise dos custos necessários para realizar calagem, gessagem e adubação para o de plantio de eucalipto

- A partir da pesquisa de mercado no comércio local do Distrito Federal e proximidades, foram obtidos os custos para correção do solo dos insumos além do custo do transporte de cada um, em reais, e em seguida foram convertidos para dólares, por ser considerada uma moeda mais estável em relação ao real. A taxa de câmbio do dólar considerada para os cálculos foi de 5,1779 de acordo com dados do dia 17/08/2022.
- Para realização da calagem, a partir da quantidade de 1,20 t ha⁻¹, considerando o preço médio atual do calcário no mercado de R\$ 147,00 por tonelada, somado ao custo de R\$ 50,00 do transporte por tonelada considerando uma carreta com capacidade de 30 toneladas, e um trajeto de 160 km a ser feito (ida e volta) de uma fábrica de calcário em Planaltina – GO até a Fazenda Água Limpa – DF, com o custo de R\$ 9,38 km⁻¹. Assim, o custo total para aplicação de calcário da dose de 1,20 t ha⁻¹ é de R\$ 236,40 ha⁻¹, equivalente a US\$ 45,65 ha⁻¹.
- Para a gessagem, o preço médio da tonelada de gesso agrícola encontrado foi de R\$ 150,00, além disso, soma-se ao custo do transporte de uma fábrica em Catalão - GO até a Fazenda Água Limpa - DF, considerando um trajeto de 600 km (ida e volta) de uma carreta com capacidade de carga de 30 toneladas, com o custo de R\$ 9,38 km⁻¹. Assim, o custo do transporte por tonelada é igual a R\$ 187,60, com a quantidade requerida de 4,7 t ha⁻¹, o custo médio para aplicação é de R\$ 1.586,72 ha⁻¹, equivalente a US\$ 306,44 ha⁻¹.
- Para aplicação de 0,52 t ha⁻¹ de NPK 04-32-16, o preço médio da saca de 50 kg encontrado foi de R\$ 256,00. Considerando um trajeto de 50 km (ida e volta) de uma carreta com capacidade de carga de 30 toneladas a ser feito da casa agropecuária em Brasília até a Fazenda Água Limpa, o custo do transporte por tonelada é de R\$ 15,63.

Assim, o custo para adubação NPK 04-32-16 com dose de $0,52 \text{ t ha}^{-1}$ é de R\$ 2.662,40 ha^{-1} , equivalente a US\$ 514,18 ha^{-1} .

- Para aplicação de $0,009 \text{ t ha}^{-1}$ de Bórax, o preço médio de uma saca de 10 kg é de R\$ 157,90. Considerando um trajeto de 50 km (ida e volta) de uma carreta com capacidade de carga de 30 toneladas a ser feito da casa agropecuária em Brasília até a Fazenda Água Limpa, o custo do transporte por tonelada é de R\$ 15,63. Assim, o custo total de aplicação do Bórax é de R\$ 159,16 ha^{-1} , o que equivale a US\$ 30,73 ha^{-1} .
- Para aplicação de $0,01 \text{ t ha}^{-1}$ de Sulfato de Zinco, o preço médio de uma saca de 25 kg equivale a R\$ 332,10. Considerando o mesmo trajeto de 50 km (ida e volta) de uma carreta com capacidade de carga de 30 toneladas a ser feito da casa agropecuária em Brasília até a Fazenda Água Limpa, o custo do transporte por tonelada é de R\$ 15,63. gerando o custo de aplicação do Sulfato de Zinco é igual a R\$ 148,43 ha^{-1} , o que equivale a US\$ 28,66 ha^{-1} .

Dessa forma, todas as práticas de correção do solo e adubação para toda área de plantio de eucalipto totalizam um custo aproximado de R\$ 4.793,11 ha^{-1} , equivalente a US\$ 925,86 ha^{-1} .

Embora a produtividade média dos plantios de eucalipto no Brasil seja igual a $36,8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (IBÁ, 2021) uma pesquisa de mercado feita no Distrito Federal mostra que atualmente há plantios de eucalipto que são capazes de atingir uma produtividade média de $60 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ aos 7 anos de idade com adubação e correção do solo feitas de maneira adequada. Além disso, o preço médio de comercialização pode chegar a R\$ 70,00, com isso, em 7 anos de cultivo, desconsiderando os custos de implantação e manutenção do plantio.

É importante salientar que a implantação de um plantio de eucalipto apresenta baixo custo e um bom retorno financeiro, sendo a correção do solo um dos maiores gastos de implantação devido a grandes quantidades de corretivos e mão-de-obra necessária para realização (CUNHA et al., 2018). Além do momento da implantação, os corretivos agrícolas também são utilizados na manutenção, a fim de incrementar a produtividade.

Portanto, visto que o lucro final de um plantio de eucalipto com correção do solo e adubação adequados pode superar significativamente os custos de aplicação, considera-se um

investimento rentável as práticas de calagem, gessagem e adubação, sendo viável sua realização.

4 CONCLUSÕES

A área do plantio de eucalipto possui solo muito argiloso, distrófico e álico nas camadas 00–20 cm e 20–40 cm, sendo necessária a correção e adubação do solo para plantio de eucalipto, onde a dose recomendada de calcário para a área é de 1,20 t ha⁻¹; a dose recomendada de gesso para a área é de 4,87 t ha⁻¹; a dose recomendada de adubo NPK 04–32–16 é de 0,52 t ha⁻¹; a dose recomendada de Bórax é de 0,009 t ha⁻¹; e a dose recomendada de Sulfato de Zinco é de 0,01 t ha⁻¹.

O custo total aproximado por hectare para realizar todas as práticas de correção do solo e adubação na área de plantio é de R\$ 4.850,50 ha⁻¹, equivalente a US\$ 936,76 ha⁻¹, e mostra-se que o investimento para essas práticas é viável do ponto de vista econômico.

Dessa forma, considerando o histórico da área e possíveis plantios futuros, sugere-se que sejam feitas novas análises químicas do solo com base nos elementos que indicam acidez, matéria orgânica e os micronutrientes, para que possivelmente sejam propostas adubações com outras fontes de minerais, acompanhamento e estudo do solo, a fim de se alcançar condições ideais para o desenvolvimento de culturas na área.

5 REFERÊNCIAS

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

ALVAREZ V., H. V.; RIBEIRO, A. C. Calagem. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Eds.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999, p. 43-61.

AMARAL, C. M. Atributos químicos do solo após três anos de aplicação de água residuária em *Urochloa decumbens*. 2020.

ARAÚJO, M. S.; OLIVEIRA, C. S.; CALIXTO JÚNIOR, J. E. D.; BARRETTO, V. C. M.; RODRIGUES, F. Fósforo no crescimento inicial de mogno-africano. **Adv. For. Sci.**, Cuiabá, v. 8, n.1, p. 1301-1309, 2021.

BARBOSA, R. P.; CAIRO, P. A. R.; LACERDA, J. D. J.; BOTELHO, V. V. Os efeitos da deficiência de magnésio na partição de açúcares não restringem o crescimento de raízes em plantas jovens de eucalipto. **Ciência Florestal**, v. 29, n.2, p. 622-631, 2019.

BOSSOLANI, J. W.; CRUSCIOL, C. A. C.; MERLOTI, L. F.; MORETTI, L. G.; COSTA, N. R.; TSAI, S. M.; KURAMAE, E. E. Long-term lime and gypsum amendment increase nitrogen fixation and decrease nitrification and denitrification gene abundances in the rhizosphere and soil in a tropical no-till intercropping system. **Geoderma**, v. 375, p. 114476, 2020.

BRASIL, E. C.; CRAVO, M. S.; VELOSO, C. A. C. Amostragem de solo. In: CRAVO, M. S.; VIÉGAS, I. J. M.; BRASIL, E. C. (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2007, n. 631.809811 R311, p. 30-37.

CAMPOS JÚNIOR, Geraldo. Guerra na Ucrânia leva setor de fertilizantes a buscar independência no ES. **A Gazeta**, 13 jun. 2022.

CIPRIANI, H. N.; VIEIRA, A. H.; MENDES, A. M.; LUIZ, A. Crescimento inicial de um *Eucalyptus* clonado sob diferentes adubações em Porto Velho, Rondônia. In Embrapa Rondônia-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: REUNIÃO DE CIÊNCIA DO SOLO DA AMAZÔNIA OCIDENTAL, 2. 2014, Porto Velho. Anais. Porto Velho: Núcleo Regional Amazônia Ocidental da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 192-197, 2014

COLE, M. B.; AUGUSTIN, M. A.; ROBERTSON, M. J.; MANNERS, J. M. A ciência da segurança alimentar. **Revista Nature Food**, v. 14, n. 2, p. 1-14, 2018.

CUNHA, S.; GRUPIONI, P. H.; SILVA, A.; ARAÚJO, M.; CONEGLIAN, A. Viabilidade econômica do plantio de eucalipto VM01 para produção de lenha. **Enciclopédia Biosfera**, v. 15, n. 27, 2018.

DO VALE, F. R.; FURTINI NETO, A. E.; RENO, N. F.; RESENDE, A. Crescimento radicular de espécies florestais em solo ácido. **Área de Informação da Sede-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, p. 8, 1996.

FERREIRA, K. S.; RUFINI, J. C. M.; FAGUNDES, M. C. P.; MOREIRA, S. G.; FERREIRA, E. V. O.; BARBOSA, M. A. P. Crescimento e acúmulo de nutrientes em mudas de aceroleiras em função da aplicação de diferentes doses de nitrogênio e potássio. **Colloquium Agrariae**, v. 15, n. 2, p. 37-50, mar./abr. 2019.

FOIS, D. A. F.; LANA, M. C.; ALVAREZ, J. W. R.; FRANDOLOSO, J.; VERA, L. R. Q.; TIECHER, T. Resposta da soja ao gesso agrícola em plantio direto no Paraguai. **Rev. Ceres**, Viçosa, MG, v. 65, n. 5, p. 450-462, 2018.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. Land and Plant Nutrition Management Service. Land and Water Development Division. **Fertilizer use by crop in Brazil**. Roma: FAO, 2004.

FREITAS, R. E.; MENDONÇA, M. A. A. Expansão agrícola no Brasil e a participação da soja: 20 anos. **RESR**, v. 54, n. 3, p. 497-516, 2016.

GATTO, A.; BUSSINGUER, A. P.; RIBEIRO, F. C.; AZEVEDO, G. B.; BUENO, M. C.; MONTEIRO, M. M.; SOUZA, P. F. Ciclagem e balanço de nutrientes no sistema solo-planta em um plantio de *Eucalyptus* sp., no Distrito Federal. **R. Bras. Ci. Solo**, n. 38, p. 879-887, 2014.

GODOI, N. M. I. **Adubação e residual de doses de nitrogênio, fósforo e potássio no eucalipto em sistema de talhadia no Cerrado**. Tese (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Engenharia do Campus de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, p. 121, 2020.

GUERRA na Ucrânia faz preço do potássio triplicar em um ano; tonelada é vendida a US\$ 1,1 mil. **G1**, 23 mar. 2022.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. **Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja**. Londrina, PR: EMBRAPA Soja, 2001.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. **Relatório Anual IBÁ: 2020**. p. 80. IBÁ, 2020.

INDUSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. **Relatório Anual IBÁ: 2021**. [S. l.]: IBÁ, 2021.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. Fertilidade do solo e produtividade agrícola. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2007, p. 2-64.

MATOS, N. M.; RIBEIRO, F. P.; GATTO, A.; BUSSINGER, A. P.; Estoque de serapilheira em três fisionomias no Cerrado do Distrito Federal. **Floresta e Ambiente**, v. 24, 2017.

MASTELLA, A. D. F.; IVASKO JÚNIOR, S.; TRES, A.; TETTO, A. F.; WENDLING, W. T.; SOARES, R. V. Classificação do Estado de Goiás e do Distrito Federal segundo o Sistema de Zonas de Vida de Holdridge. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 2, p. 443-456, 2019.

MUNDSTOCK, C. M. Planejamento e manejo integrado da lavoura de trigo. Porto Alegre: Ed. do Autor, 1999. 228p.

NASCIMENTO, D. T. F.; NOVAIS, G. T. Clima do cerrado: dinâmica atmosférica e características, variabilidades e tipologias climáticas. **Élisée**, Rev. Geo. UEG – Goiás, v. 9, n. 2, p. 1-39, 2020.

NANZER, Marina Chiquito et al. Estoque de carbono orgânico total e fracionamento granulométrico da matéria orgânica em sistemas de uso do solo no Cerrado. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n. 1, p. 136-145, 2019.

NILES, M. T.; BERTMANN, F.; BELARMINO, E. H.; WENTWORTH, T.; BIEHL, E.; NEFF, R. The early food insecurity impacts of COVID-19. **Nutrients**, v. 12, n. 7, p. 1-23, 2020.

OLIVEIRA, R. R. A.; PRIEBE, H. A.; LUZ, A. R.; DORNELLES, E. S.; BEZERRA, G. A. S.; DUTRA, D. V.; MARAN, V.; FERREIRA, P. A. A. Desenvolvimento de um sistema para recomendação de calagem e adubação para as culturas de grãos. *Ciência e Natura*, v. 40, ed. esp.: II Mostra de Projetos da UFSM – *Campus Cachoeira do Sul*, p. 290-299, 2018.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. rev. atual. Campinas, SP: Instituto Agrônômico; Fundação IAC, 1997.

DE RESENDE, A. V. Adubação da soja em áreas de cerrado: micronutrientes. **Embrapa Cerrados-Documents (INFOTECA-E)**, 2004.

SÁ SOUZA, M.; JARDIM, A. M. D. R. F.; JÚNIOR, G. D. N. A.; SILVA, J. R. I.; LEITE, M. L. D. M. V.; TEIXEIRA, V. I.; DA SILVA, T. G. F. (2018). Ciclagem de nutrientes em ecossistemas de pastagens tropicais. **Pubvet**, v. 12, n. 5, p. 172, 2018.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; DE ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3. ed. Brasília: EMBRAPA, 2018. 355p.

SHAABAN, M.; WU, Y.; WU, L.; HU, R.; YOUNAS, A.; DELGADO, A. N.; XU, P.; SUN, Z.; LIN, S.; XU, X.; JIANG, Y. Os efeitos da mudança de pH por meio da calagem nas emissões de N₂O do solo. **Processos**, v. 8, n. 6, p. 702, 2020.

LOBATO, E; DE SOUSA, D. M. G. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E.; REIN, T. A. **Uso do gesso agrícola nos solos do cerrado**. Planaltina, DF: EMBRAPA Cerrados, p. 19, 2005.

SOUSA, D. M. G., MIRANDA, L. N., OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In.: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2007, p. 205-274.

SOUZA, E. D.; SILVA, F. D.; PACHECO, L. P.; LAROCA, J. S. V.; SOUZA, J. M. A.; BONETTI, J. A. Matéria orgânica do solo em Sistemas Integrados de Produção Agropecuária no Brasil. In: SOUZA, E. D.; SILVA, F. D.; ASSMANN, T. S.; CARNEIRO, M. A. C.; CARVALHO, P. C. F.; PAULINO, H. B. (Org.). **Sistemas integrados de produção agropecuária no Brasil**. Tubarão: Copiart, 2018. cap. 7, p. 107-122.

TAIZ, L; ZEIGER, E. 2013. **Fisiologia vegetal**. 5º Ed. Porto Alegre: Artmed, 918p.

THOR, K. Calcium-Nutrient and messenger. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, n. 1, p. 1-7, 2019.

VIEIRA, C. R.; WEBER, O. L. S. Fertilização mineral e calagem no crescimento de mudas de *Eucalyptus camaldulensis*. **Ecologia e Nutrição Florestal**, Santa Maria, RS, v. 5, n. 2, p. 45-52, maio/ago. 2017.

VILLARREAL, G. L. Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de calagem e adubação de área degradada e de plantio de eucalipto Fazenda Água Limpa – FAL/UnB. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Departamento de Engenharia Florestal, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.