



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA REGIÃO TOCANTINA DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

JOÃO PEDRO SUDRÉ MORAIS E TOSTA

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO SOB ÁREA DE
PASTAGEM ABANDONADA NA REGIÃO OESTE DO MARANHÃO**

Imperatriz - MA

2023



JOÃO PEDRO SUDRÉ MORAIS E TOSTA

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO SOB ÁREA DE
PASTAGEM ABANDONADA NA REGIÃO OESTE DO MARANHÃO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientadora: Dr^a. Alinne da Silva

Imperatriz - MA

2023



JOÃO PEDRO SUDRÉ MORAIS E TOSTA

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO SOB ÁREA DE
PASTAGEM ABANDONADA NA REGIÃO OESTE DO MARANHÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Centro de Ciências Agrárias da Universidade
Estadual da Região Tocantina do Maranhão –
UEMASUL, para aprovação e posterior obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Aprovado em: _____ / _____ / _____

BANCA EXAMINADORA

Alinne da Silva

Dr.^a. Alinne da Silva
Doutora em Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente.
(Orientadora)

Jaqueline Macedo Gomes

Dr.^a Jaqueline Macedo Gomes
Doutora em Ciências Florestais
(Membro)

Joabel Raabe

Dr. Joabel Raabe
Doutor em Ciências Florestais
(Membro)



RESUMO

O Cerrado é o segundo maior bioma do Brasil, ocupa uma área de aproximadamente 204 milhões de hectares, cerca de 24% do território nacional e é tido como a última fronteira agrícola do planeta. O objetivo do projeto foi avaliar as alterações nos atributos químicos do solo em uma área de pastagem abandonada em relação a uma área de floresta nativa não antropizada no bioma Cerrado. O estudo foi realizado em uma propriedade rural localizada no município de Porto Franco, região Oeste do Maranhão. As áreas experimentais foram selecionadas com base nos principais usos do solo na região: pastagem abandonada (PA) e floresta nativa do bioma Cerrado (FL). As análises estatísticas foram realizadas considerando um delineamento inteiramente ao acaso em esquema fatorial 2x4 (duas áreas: PA e FL e quatro profundidade: 0-5 cm; 5-10 cm; 10-20 cm e 20-30 cm), totalizando oito tratamentos e quatro repetições cada. As coletas de amostras de solo foram realizadas por meio de abertura de trincheiras. Os atributos químicos analisados foram: potássio, cálcio, magnésio e alumínio trocáveis, fósforo disponível, potencial hidrogeniônico, acidez potencial, matéria orgânica, estoque de carbono orgânico, soma de bases, capacidade de troca de catiônica, saturação de bases e saturação de alumínio. Os resultados foram submetidos a análise de premissas de variância (ANOVA) e teste de Tukey a 5% de probabilidade. Também foi aplicada análise de componentes principais (ACP). Devido ao histórico de aplicação de calagem e fertilização na área de PA, esta apresentou melhoria em todos os indicadores da fertilidade do solo. O teor de matéria orgânica foi maior na área de PA, devido a biomassa gerada, especialmente, pelas gramíneas perenes tropicais.

Palavras-chave: Fertilidade do solo, floresta nativa, pastagem extensiva, antropização.



ABSTRACT

The Cerrado is the second largest biome in Brazil, covering an area of approximately 204 million hectares, which represents about 24% of the national territory. It is considered the last agricultural frontier on the planet. The aim of this project was to evaluate the changes in soil chemical attributes between an abandoned pasture area and a non-anthropized native forest area in the Cerrado biome. The study was conducted in a rural property located in Porto Franco municipality, in the Western region of Maranhão state. The experimental areas were selected based on the main land uses in the region: abandoned pasture (PA) and native forest of the Cerrado biome (FL). Statistical analyses were performed using a completely randomized design in a 2x4 factorial scheme (two areas: PA and FL, and four depths: 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, and 20-30 cm), totaling eight treatments with four replicates each. Soil samples were collected by trench excavation. The analyzed chemical attributes included exchangeable potassium, calcium, magnesium, and aluminum; available phosphorus; hydrogen potential; potential acidity; organic matter; organic carbon stock; sum of bases; cation exchange capacity; base saturation; and aluminum saturation. The results were subjected to analysis of variance (ANOVA) and Tukey's test at a 5% significance level. Principal component analysis (PCA) was also applied. Due to the history of liming and fertilization in the PA area, it showed improvements in all soil fertility indicators. The organic matter content was higher in the PA area due to the biomass generated, especially by perennial tropical grasses.

Keywords: Soil fertility, native forest, extensive pasture, anthropization.



SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. OBJETIVOS.....	9
2.1. Objetivo Geral	9
2.2. Objetivos Específicos.....	9
3. REVISÃO DE LITERATURA	10
3.1. O bioma Cerrado e os usos do solo	10
3.2. Qualidade do solo	11
4. MATERIAL E METODOS.....	13
4.1. Caracterização da área experimental.....	13
4.2. Análises estatísticas	16
5. RESULTADOS.....	17
6. DISCUSSÃO.....	22
7. CONCLUSÃO	25
REFERÊNCIAS	26



1. INTRODUÇÃO

O Cerrado é considerado o segundo maior bioma do Brasil e da América Latina, ocupa uma área de aproximadamente 204 milhões de hectares, cerca de 24% do território nacional (IBGE, 2018; ALENCAR et al., 2020). O Cerrado é considerado a última fronteira agrícola do país, sendo fonte primária para a expansão da agricultura nos trópicos e a vegetação nativa substituída por plantios comerciais (GIBBS et al., 2010).

Gasques et al. (2020), relatam que cerca de 30% do Cerrado é cultivado com pastagens, o que corresponde a aproximadamente 60 milhões de hectares de área remanescente. Entretanto, o monocultivo na agricultura, em associação com práticas culturais inadequadas, tem proporcionado a queda na produtividade, a maior ocorrência de pragas e doenças e a degradação do solo e dos recursos ambientais (MACEDO, 2001).

A degradação de pastagens é causada pelo manejo inadequado do solo, sendo este, um processo evolutivo de perda de vigor, produtividade e da capacidade de recuperação natural do solo, tornando-a incapaz de sustentar os níveis de produção e qualidade exigidos pelos animais, bem como o de superar os efeitos nocivos de pragas, doenças e invasoras (MACEDO, 1995).

De acordo com Andrade (2016), a degradação das pastagens tem características intrínsecas em cada bioma. Segundo o autor, no Cerrado, em sua maior parte, a degradação das pastagens é caracterizada pelas perdas de produtividade, em função da pouca oferta de água ao longo do ano, e de nutrientes, em função das condições naturais do solo.

O município de Porto Franco, localizado na região Oeste do Estado do Maranhão, encontra-se inserido no bioma Cerrado. Nas últimas décadas, essa região sofreu mudanças drásticas em sua vegetação nativa, como consequência da sua incorporação ao processo produtivo. Tais mudanças têm causado impactos negativos do ponto de vista ambiental, em função da substituição de vegetações nativas pelo estabelecimento de pastagem e grãos (ANACHE, 2017). Segundo BROOKES (1995) qualquer nível de alteração no solo pode desencadear alterações em sua estrutura e atividade biológica, afetando consequentemente, sua fertilidade, com reflexos nos agroecossistemas.

O estudo constante dos atributos químicos do solo permite quantificar o nível e a duração das alterações provocadas por diferentes sistemas de manejo. Reichert et al. (2009) afirmam que a sensibilidade desses atributos é importante para estabelecer o nível de degradação ou melhoria na qualidade do solo em relação a um sistema de manejo



determinado. Neste contexto, o objetivo foi Avaliar as alterações dos atributos químicos de um Latossolo Vermelho em uma área de pastagem abandonada em relação a uma área de floresta nativa não antropizada do Cerrado Maranhense. O objetivo foi baseado na hipótese de que o solo da pastagem abandonada (PA) tende a reestabelecer condições naturais semelhantes a área de floresta nativa do Cerrado.



2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar as alterações dos atributos químicos de um Latossolo Vermelho em uma área de pastagem abandonada em relação a uma área de floresta nativa não antropizada do Cerrado Maranhense.

2.2. Objetivos Específicos

Verificar a alteração dos atributos químicos do solo em diferentes profundidades em uma área de pastagem abandonada e compará-la com uma área de floresta nativa.

Avaliar a capacidade de regeneração do solo da área sob pastagem abandonada a partir da análise dos componentes químicos e compará-la com a área de Floresta nativa não antropizada;



3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. O bioma Cerrado e os usos do solo

O Cerrado é o segundo bioma mais rico em biodiversidade no Brasil compreendendo cerca de 24% de todo o território nacional que equivale a 204 milhões de hectares (EMBRAPA CERRADOS, 2005), sendo o berço de muitas espécies endêmicas que contribui para o equilíbrio ambiental. O Cerrado é atualmente considerado um dos hotspots globais para a conservação, os hotspots são habitats naturais que correspondem a 1,4% da superfície do planeta onde se concentra 60% de todo o patrimônio biológico do mundo (DURIGAN et al., 2011).

Segundo Rocha (2012), nos últimos 40 anos, o Cerrado sofreu grande modificação nos aspectos ambientais, sociais e econômicos, tais mudanças foram causadas pelo intenso processo de antropização em que o bioma foi submetido. O mau uso do solo modifica negativamente a vegetação, altera o balanço da radiação, prejudica o clima local, altera a umidade do solo, promovendo o assoreamento e prejudicando a água (DIAS FILHO et al., 2014).

O processo acelerado de conversão da cobertura vegetal natural do Cerrado para atividades do agronegócio se deu a partir da inserção do bioma no arranjo produtivo brasileiro (SOUSA; MARTINS; DRUCIANKI, 2020). A área antropizada do Cerrado, corresponde a 43,65% do bioma sendo utilizada para cobertura com culturas agrícolas, pastagens cultivadas, silvicultura, áreas urbanas, áreas de mineração, mosaico de ocupações e solo exposto (SANO et al., 2019).

Apesar da grande importância do bioma, somente 8,21% de toda sua área é legalmente protegida por unidades de conservação, em que 2,58% desse total compreende as unidades de conservação de proteção integral, e 5,36% correspondem a unidades de conservação sustentáveis (BRASIL, 2019). Em áreas sem proteção, pode notar-se os impactos causados pela ausência de vegetação, como erosões no solo, diminuição ou falta de nutrientes, compactação, lixiviação, entre outras consequências que prejudicam o ecossistema local (DIAS FILHO et al., 2014).

Em contrapartida, o governo vem buscando conscientizar os produtores sobre a necessidade de conservação do Cerrado. Segundo Sano et al. (2019) o governo federal tem adotado políticas de agricultura ambientalmente sustentável por meio de programas como



o Agricultura de Baixo Carbono (ABC), incentivando práticas agrícolas como integração lavoura-pecuária, além de restringir compras de produtos oriundos de áreas associadas a desmatamentos.

3.2. Qualidade do solo

Gregorich et al. (1997), define a qualidade do solo como uma propriedade que ele possui para um determinado fim, assim, essa qualidade vai variar de acordo com a extensão na qual o solo será exposto para o benefício humano. Esse conceito de qualidade do solo começou a ser discutido de maneira mais abrangente em 1993 a partir do livro "Soil and water quality: an agenda for agriculture" (Qualidade do solo e da água: uma agenda para a agricultura), pelo "Board on Agriculture of the National Research Council" (Comitê de Agricultura do Conselho Nacional de Pesquisa), onde este apresenta a qualidade do solo como um bom indicador para a determinação da qualidade ambiental.

Essa definição de qualidade do solo foi desenvolvida para caracterizar a saúde e o uso do solo, já que este é fundamental quando se deseja produzir, seja em ecossistemas naturais ou em áreas já antropizadas (REIS, 2018). Os indicadores de qualidade do solo são características mensuráveis (qualitativas ou quantitativas) acerca do processo ou atividade do solo em questão, onde esses podem avaliar e caracterizar as alterações ocorridas em um determinado ecossistema (KARLEN et al., 1997).

A seleção dos indicadores depende da finalidade a que se propõe a utilização de determinado solo. Esses indicadores podem ser físicos, químicos e biológicos e tem o intuito de quantificar as alterações ocorridas no solo, podendo alterar diretamente sua estrutura, atividade biológica e, conseqüentemente, sua fertilidade, com reflexos nos agroecossistemas, sendo capaz de alavancar prejuízos à sua qualidade e à produtividade das culturas (CARNEIRO et al., 2009).

A preocupação da comunidade científica cresce gradativamente em relação a sustentabilidade e usos do solo, visto que a qualidade do solo está em declínio crescente (ARAÚJO et al., 2012). A exploração intensiva nos agrossistemas, associada à falta de boas práticas de manejo são, do ponto de vista conservacionista, um desafio para a conservação desse bioma (ROCHA et al., 2013). Macedo (1995) define a degradação do solo como uma forma de classificar o declínio na qualidade do solo. Esse conceito refere-se a baixa na produtividade em consequência às mudanças adversas que ocorrem em seus atributos físicos, químicos e biológicos, que se referem a capacidade atual ou potencial do solo em



produzir bens ou serviços. Em contrapartida, quando a qualidade dos atributos do solo apresentam boas condições, este acaba proporcionando condições adequadas para o desenvolvimento de plantas e a manutenção da diversidade de organismos que residem no solo (SILVA et al., 2015).

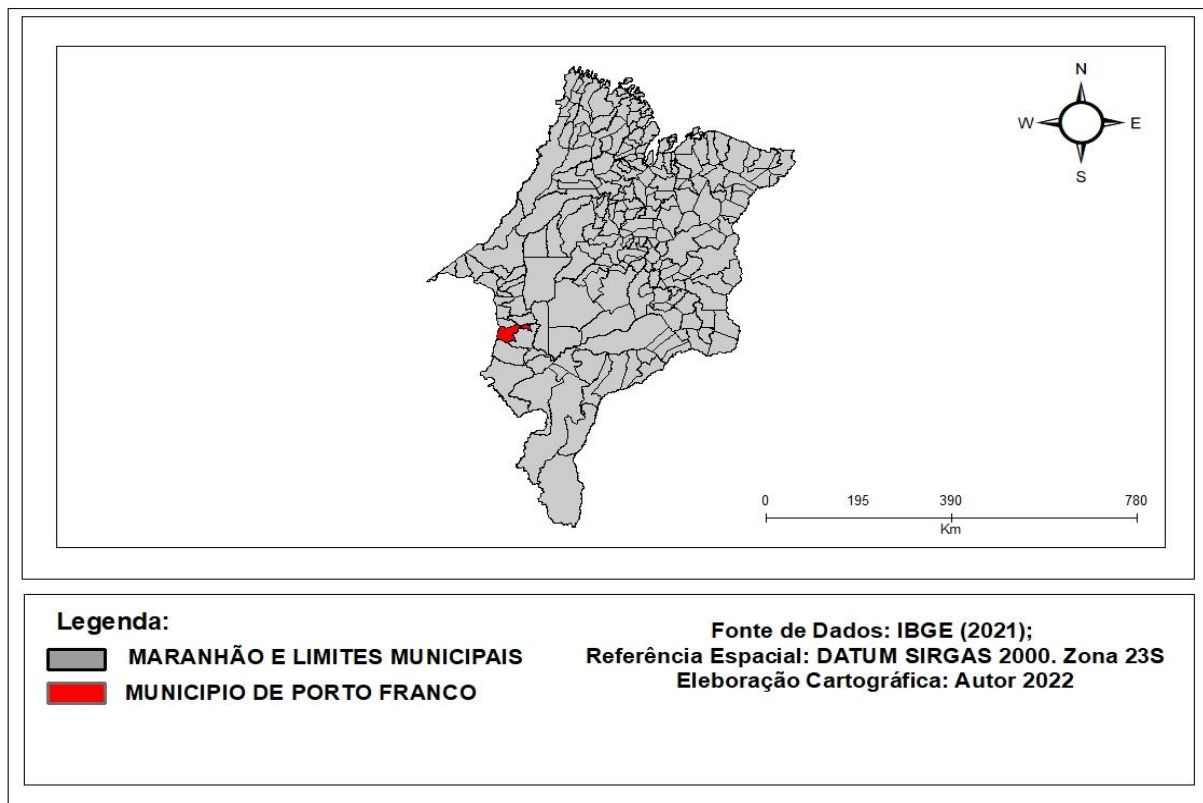


4. MATERIAL E METODOS

4.1. Caracterização da área experimental

O estudo foi realizado em maio de 2021 em uma propriedade rural localizada no município de Porto Franco, no Oeste do estado do Maranhão (Latitude: 6° 20' 29" Sul, Longitude: 47° 24' 6" Oeste) (Figura 1) A mesorregião está inserida no bioma Cerrado Maranhense, Região Nordeste do Brasil, tendo como vegetação predominante Savana Arbórea Aberta, Savana Densa e a Savana Parque (AMARAL et al., 2016)

Figura 1. Localização do município de Porto Franco, região Oeste do estado do Maranhão.



Fonte: Autor (2023).

Conforme a classificação de Köppen-Geiger, o clima na região é caracterizado como AW, sendo predominantemente quente e úmido com duas estações bem definidas. Entre os meses de dezembro e maio ocorre o período chuvoso, com registros estaduais de 209,4 mm mensais, e alcança os maiores picos pluviométricos no mês de março. O período de estiagem se estende entre os meses de junho a outubro, apresenta média mensal da ordem de 17 mm, com menor ocorrência de chuva no mês de agosto. A média de anual de precipitação alcança a faixa de 1.250 mm (LABGEO, 2002; CORREIA FILHO et al., 2011). O relevo é plano e o solo na região é classificado como Latossolo Vermelho, com

transição difusa entre os horizontes, intemperizado, com predominância de caulinita e óxidos de ferro e alumínio na fração argilomineral (ki e kr <2,0), textura argilosa com 310 g dm⁻³ de areia, 180 g dm⁻³ de silte e 510 g dm⁻³ de argila (SANTOS, 2018).

As áreas experimentais foram selecionadas com base nos usos do solo no Oeste do estado do Maranhão: pastagem abandonada (PA) e floresta nativa do bioma Cerrado (FL). Ambas estão localizadas na mesma posição do relevo, dispostas de forma adjacentes e separadas por cercas. O histórico das áreas foi fornecido pelo proprietário da Fazenda.

A pastagem na área PA foi implantada na década de 1970, formada por *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. Há registro de implantação de cultivo de cana-de-açúcar, com sete rebrotas. A calagem e aplicação de fertilizantes foi eventual e sem qualquer registro de quantidades. A área foi submetida a aplicação de herbicida e uso de roçadeira a cada dois anos, até 2017, onde permanece sem manejo desde então. A lotação de animais é desconhecida, pois não há controle sobre o trânsito e a quantidade de animais.

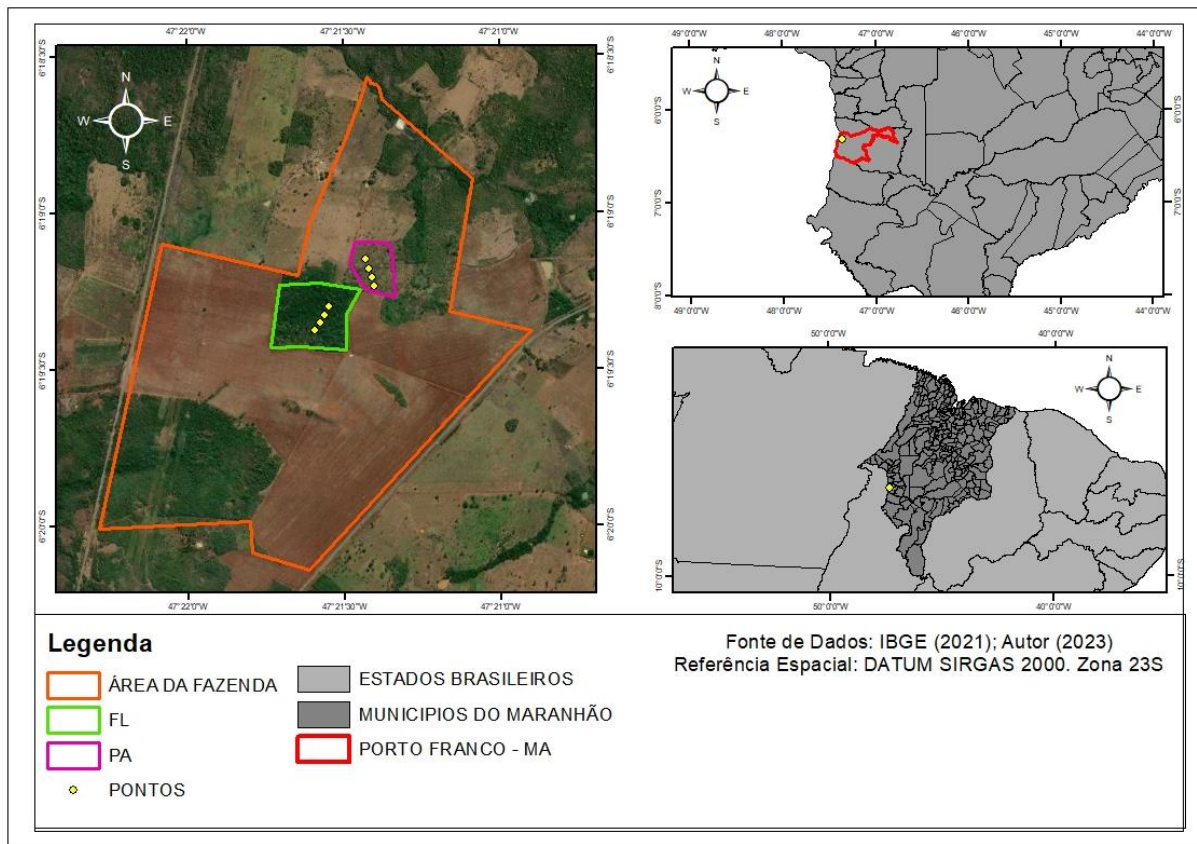
A área de floresta nativa (FL) é caracterizada como savana florestada (Cerradão), sem registro de manejo. A florestal está inalterada desde a ocupação da propriedade e representa o estado original do solo sob vegetação característica do bioma Cerrado. A área FL está inserida na porção do terreno destinada a reserva legal.

A coleta de amostras de terra foi executada em maio de 2021. Para cada área selecionada, PA e FL, delimitou-se uma gleba representativa de aproximadamente 0,75 ha, composta de quatro unidades amostrais equidistantes 50 m. Os pontos de coleta foram registrados com auxílio de um GPS (*Global Positioning System*) (Figura 2).

Para a coleta das amostras foram abertas trincheiras nas dimensões 50 cm x 50 cm x 40 cm com o auxílio de uma pá, evitando locais com potencial de interferência na análise química, como formigueiros e cupinzeiros. Em cada um dos pontos foi retirada a serrapilheira do solo antes de fazer a primeira coleta. Para cada profundidade foram coletadas três amostras simples para produzir quatro amostra composta. Todas as amostras coletadas foram armazenadas em sacos pretos devidamente etiquetados constando a área e a profundidade da coleta.



Figura 2. Localização das áreas experimentais: pastagem abandonada (PA) e floresta nativa (FL) e pontos de coleta, no município de Porto Franco – MA.



Fonte: Autor (2023).

Conforme metodologia proposta por Teixeira et al. (2017), os atributos químicos avaliados em cada unidade amostral foram: potássio (K^+), cálcio (Ca^{+2}), magnésio (Mg^{+2}) e alumínio (Al^{+3}) trocáveis, fósforo disponível (P), potencial hidrogeniônico (pH), acidez potencial ($H+Al$), matéria orgânica (MO). A partir destes resultados foram calculados Conforme Teixeira et al. (2017), os valores de estoque de carbono orgânico (ECO), soma de bases (SB), capacidade de troca de catiônica efetiva (CTCef), saturação de bases (V) e saturação de alumínio (m).

Foi estimado o valor de estoque de carbono (ECO). Para a determinação dessa variável, foram coletadas amostras indeformadas de terra, nos mesmos pontos onde foram coletadas as amostras deformadas, com a finalidade de determinar a densidade do solo (DS) conforme Teixeira et al. (2018). A determinação e a correção do estoque de carbono foi realizada de acordo com Carvalho (2009), onde a espessura da camada estudada é corrigida em relação à área de referência. Os valores corrigidos foram obtidos pela seguinte equação 01:

$$ECO = \frac{Cs \times Ds \times \left(\frac{Dref \times e}{Ds}\right)}{10} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

ECO = estoque de carbono orgânico em determinada profundidade (Mg ha⁻¹)

Cs = teor de carbono orgânico total na profundidade amostrada (g Kg⁻¹)

Ds = densidade do solo na profundidade amostrada (kg dm⁻³)

Dref = densidade do solo para a profundidade amostrada na área de referência (kg dm⁻³)

e = espessura da camada considerada (cm)

4.2. Análises estatísticas

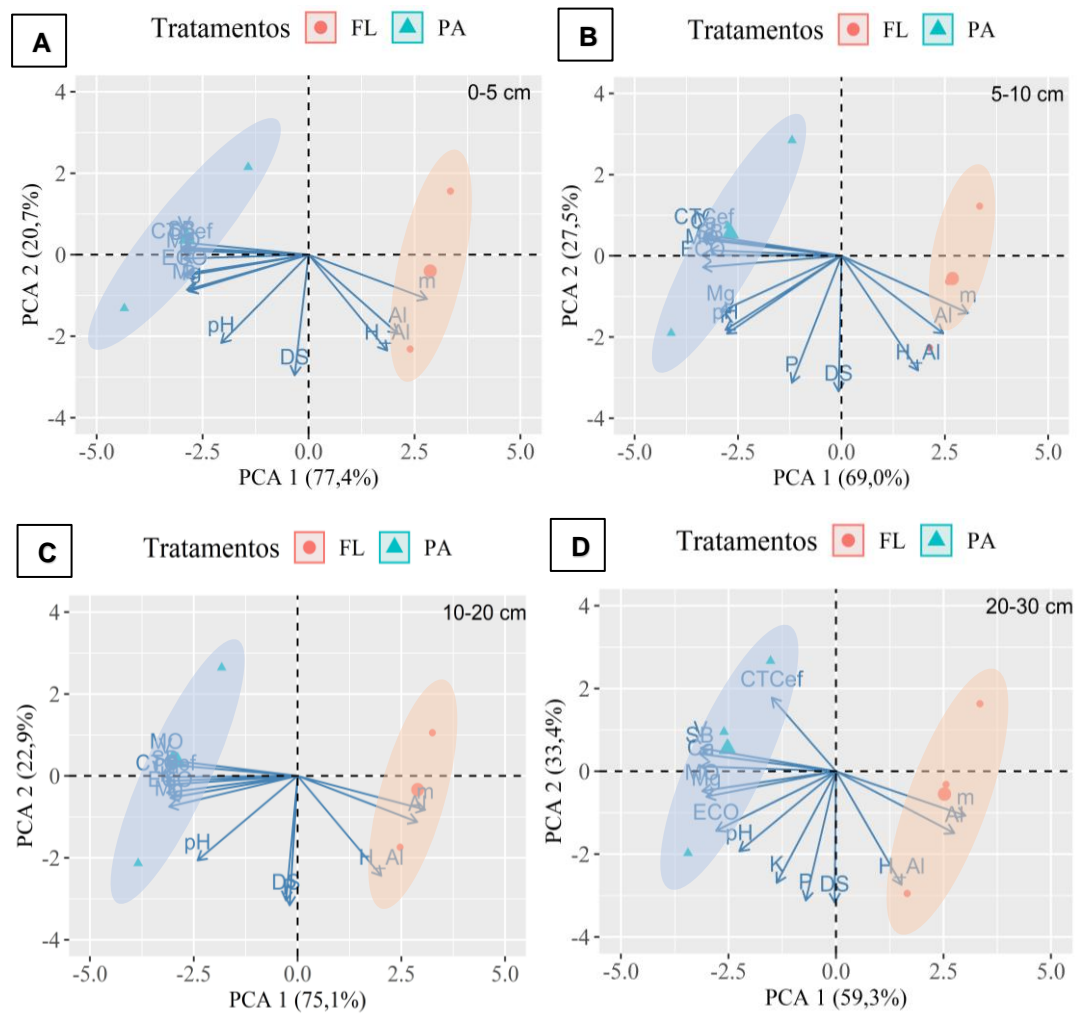
As análises estatísticas foram realizadas considerando um delineamento inteiramente ao acaso em esquema fatorial 2x4 (duas áreas: pastagem abandonada - PA e floresta nativa - FL e quatro níveis de profundidade: 0-5 cm; 5-10 cm; 10-20 cm e 20-30 cm), totalizando oito tratamentos e quatro repetições cada. Para garantir a análise de premissas de variância (ANOVA), os resultados foram verificados quanto à normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk e homocedasticidade por Bartlett a 5% de probabilidade. A diferença entre as médias foi analisada pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Também foi aplicada análise de componentes principais (ACP) visando simplificar a análise de dados e visualizar a estrutura dos dados.



5. RESULTADOS

Através da análise de componentes principais foi possível obter a representação gráfica e autovalores das variáveis nos componentes principais, dessa forma, sintetizando as variações e características mais relevantes dos atributos químicos dos solos (REIS, 2018). A ACP nas diferentes profundidades dos solos de FL e PA explicou até 98% da variância do conjunto de dados (Figura 3 A, B, C e D).

Figura 3. Análise de componentes principais (ACP): matéria orgânica (MO), potencial hidrogeniônico (pH), fósforo disponível (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), acidez potencial (H+Al), saturação de alumínio (m), soma de bases (SB), CTC efetiva (CTCef) e saturação de bases (V) e estoque de carbono orgânico (ECO), em solos de pastagem abandonada (PA) e floresta nativa (FL), nas profundidades de 0-5 cm (A), 5-10 cm (B), 10-20 cm (C) e 20-30 cm (D).



Fonte: Autor (2023).

Os indicadores de acidez do solo apresentaram correlação positiva com o solo de FL. As variáveis saturação de alumínio (m), acidez potencial (H+Al) e alumínio trocável (Al^{3+}) demonstraram correlação positiva entre si e negativa entre as demais variáveis para todas as profundidades analisadas.

Os resultados da ACP nas duas primeiras camadas de solo analisadas (0-5 cm e 5-10 cm) explicou 98,1% e 96,5% da variância do conjunto de dados, respectivamente (Figura 3 A e 3 B). Da mesma forma, a ACP para as profundidades de 10 a 20 cm e 20 a 30 cm explicou 98% e 92,7% da variância do conjunto de dados, respectivamente (Figura 3 B).

Os componentes químicos como o P, K, Mg e ECO apresentaram comportamentos diferentes conforme aumento da profundidade, indicando a diminuição da disponibilidade destes no solo e aumento da correlação com a área de FL. A ACP demonstrou maior quantidade de variáveis químicas na área de PA indicando, dessa forma, maior fertilidade da área.

Os resultados apresentados na tabela 1 apontam que os teores de alumínio trocável (Al^{3+}) e saturação por alumínio (m) foram de 0,00 $cmol_c dm^{-3}$ em todas as profundidades analisadas no solo de PA. Em FL, o teor de alumínio trocável (Al^{3+}) foi superior e variou de 0,30 a 0,55 $cmol_c dm^{-3}$ sem diferença estatística entre as profundidades.

Tabela 1. Valores médios de alumínio trocável (Al^{3+}), saturação por alumínio (m), acidez potencial (H+Al) e potencial hidrogeniônico (pH) em amostras de solo coletadas em área de pastagem abandonada (PA) e área de floresta (FL), nas profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm.

Prof. (cm)	PA	FL	PA	FL	PA	FL	PA	FL
	Al^{3+} $cmol_c dm^{-3}$		M %		H+Al $mg dm^{-3}$		pH %	
0-5	0,00 aB	0,30 aA	0,00 aA	6,99 aB	3,90 aA	5,92 aB	5,63 aA	4,80 aA
5-10	0,00 aB	0,32 aA	0,00 aA	9,04 bB	3,90 aA	5,90 aB	5,57 aA	4,66 aA
10-20	0,00 aB	0,47 aA	0,00 aA	22,15 cB	3,87 aA	5,87 aB	5,43 aA	4,40 aA
20-30	0,00 aB	0,55 aA	0,00 aA	30,90 cB	3,90 aA	5,33 aA	4,43 aA	4,33 aA
CV (%)	57,91		14,59		19,78		18,25	

*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A variável M apresentou valores que variaram de 6,99% a 30,90% em FL, e apresentou diferença estatística entre as profundidades e entre as áreas. Esses valores podem ser considerados baixos segundo Prezotti e Guarçoni (2013). Em PA, todas as profundidades mensuradas demonstraram valor zero, visto que M tende ao zero quando o pH atinge o valor de 5,5.

Os valores de acidez potencial (H+Al) tiveram diferença estatística entre as áreas para as três primeiras camadas do solo. No entanto, a última camada não apresentou diferença entre áreas. Os valores de (H+Al) foram significativamente maiores para a área de FL, alcançando 5,92 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ (Tabela 1). Os valores observados para a variável pH foi estatisticamente semelhante tanto em profundidade quanto entre as áreas avaliadas (Tabela 1).

O K^+ foi o macronutriente que obteve maior coeficiente de variação, apresentando diferença estatística entre as áreas e as profundidades (Tabela 2). Foi possível observar a diminuição dos teores de (K^+) nas camadas mais profundas do solo

Tabela 2. Valores médios de potássio (K^+), magnésio (Mg^{+2}) e cálcio (Ca^{+2}) em amostras de solo coletadas em área de pastagem abandonada (PA) e área de floresta (FL), nas profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm.

Prof. (cm)	PA	FL	PA	FL	PA	FL
	K^+		Mg^{+2}		Ca^{+2}	
	$\text{cmmol}_c \text{dm}^{-3}$					
0-5	0,47 aA	0,11 aB	2,13 aA	1,24 aB	6,89 aA	2,47 aB
5-10	0,24 abA	0,87 aA	1,88 aA	1,02 aB	5,21 bA	1,86 abB
10-20	0,25 bA	0,06 aB	1,76 aA	0,73 aB	4,87 bA	0,80 bB
20-30	0,09 bA	0,08 aA	1,92 aA	0,55 aB	4,37 bA	0,55 bB
CV (%)	54,83		32,61		19,69	

*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os valores médios de Mg não diferiram entre as profundidades, somente entre as áreas estudadas. Já o cálcio (Ca^{+2}) apresentou diferença estatística tanto entre as áreas quanto nas profundidades (Tabela 2). Neste caso, os valores obtidos em PA para as variáveis Mg e Ca foram atribuídos a aplicação de calagem.

Os valores médios da CTCef diferiram estatisticamente entre os usos do solo (Tabela 3). Apenas a CTCef para a profundidade de 20-30 cm diferiu dos demais valores, apresentando diferença significativa quando comparada as duas primeiras camadas. As demais profundidades apresentaram semelhança estatística para os dois tipos de solo.

Tabela 3. Valores médios de fosforo (P), matéria orgânica (MO), saturação de bases (V) e capacidade de troca catiônica (CTCef) em amostras de solo coletadas em área de pastagem abandonada (PA) e área de floresta (FL), nas profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm.

Prof. (cm)	PA	FL	PA	FL	PA	FL	PA	FL
	P		MO		V		CTCef	
	mg dm ⁻³		g dm ⁻³		%		cmmol _c dm ⁻³	
0-5	1,41 aA	1,04 aA	51,0 aA	3,26 aB	7,13 aA	39,6 aB	9,67 aA	4,17 aB
5-10	0,88 aA	0,87 aA	4,16 bA	23,4 bB	65,7 abA	33,9 aB	7,47 aA	3,30 aB
10-20	0,87 aA	0,87 aA	3,24 cA	1,92 bcB	6,42 abA	21,6 bB	6,95 abA	2,09 aB
20-30	0,91 aA	0,91 aA	2,27 dA	17,0 cB	62,2 bA	1,88 bB	4,41 bA	1,76 aB
CV (%)	24,34		9,13		7,2		24,34	

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para os valores de P disponível observados na tabela 3, não foi verificado diferença significativa entre as a profundidades em ambas as áreas, PA e FL. A área que apresentou maior teor de MO foi PA, com 51,0 g dm⁻³ em comparação com o solo de FL, com 23,40 g dm⁻³ (Tabela 3).

O índice de saturação de bases (V) apresentou diferença estatística entre as profundidades para as duas áreas. A área de PA apresentou os maiores valores para a variável V, onde a segunda e a quarta camada apresentaram as maiores porcentagens (0-5 cm e 20-30 cm). Já para FL os maiores valores foram obtidos nas duas primeiras camadas (0-5 cm e 5-10 cm).

A área que apresentou maiores valores para MO foi PA, com média de 15,16 g dm⁻³ em comparação com o solo de FL, que apresentou média 11,39 g dm⁻³. O alto percentual de MO na primeira camada de PA pode ser explicado pelo aporte de biomassa fornecido pelas gramíneas como a braquiária.

Tabela 4. Valores médios de estoque de carbono orgânico (ECO) e densidade do solo (DS), em amostras de solo coletadas em área de pastagem abandonada (PA) e área de floresta (FL), nas profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm.

Prof. (cm)	PA	FL	PA	FL
	ECO		DS	
	Mg C ha ⁻¹		g cm ⁻³	
0-5	1,61 aA	10,3 aB	1,33 aA	1,40 aA
5-10	1,31 abA	7,41 abB	1,30 aA	1,46 aA
10-20	10,5 bA	6,02 bB	1,30 aA	1,33 aA
20-30	7,11 cA	5,46 bA	1,10 aA	1,33 aA
CV (%)	14,53		24,87	

*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os valores médios de ECO foram estatisticamente diferentes entre as áreas e entre as profundidades (Tabela 4). No caso da variável de característica física, a densidade do solo (DS) não apresentou diferença significativa entre as áreas ou profundidades.



6. DISCUSSÃO

A correlação positiva entre o alumínio trocável (Al^{3+}) e a saturação por Al (m) em todas as profundidades analisadas ocorreu de forma esperada, uma vez que a saturação por Al expressa a quantidade da CTC efetiva que está ocupada pelo Al^{3+} trocável (Figura 2 A, B, C e D). Além disso, segundo Prezotti e Guarçoni (2013), o Al^{3+} trocável sofre influência direta do pH do solo e por isso se correlacionam de forma positiva entre si. Essa correlação ocorre de forma que quanto maior os teores de pH no solo, menores são os teores de Al^{3+} , sendo que quando o pH atinge a marca de 5,5, o Al^{3+} tende a assumir valor zero. Neste caso, o fenômeno pode ser observado na tabela 1.

Com base nisso, compreende-se que a área de PA apresentou valores médios de Al^{3+} trocável iguais a $0\text{ cmol}_c\text{ dm}^{-3}$ (Tabela 1) devido seu histórico de aplicação de calagem. Já na área FL, o maior valor encontrado foi na camada de 20-30 que apresentou valor de $0,55\text{ cmol}_c\text{ dm}^{-3}$ de Al^{3+} , podendo ser considerado um valor mediano e comum em solos ácidos como no Cerrado. No entanto, segundo interpretação de Prezotti e Guarçoni (2013), o teor de Al^{3+} trocável para a área de floresta nativa não é prejudicial.

Os mesmos valores nulos de Al^{3+} trocável foram encontrados por Effgen et al. (2022) ao analisarem áreas de plantios abandonados em um Latossolo Vermelho. Bem como resultados semelhantes foram encontrados por Rodrigues et al. (2007), ao comparar uma área de Cerrado nativo com uma área de regeneração, que se assemelha a pastagem abandonada da área deste estudo.

A CTCef apresentou correlação positiva com a área de PA e correlação negativa com H+Al, indicando o alto teor deste componente no solo de FL, demonstrando elevada acidez potencial do solo e menor capacidade de troca catiônica a partir das bases trocáveis que também se correlacionaram positivamente com PA. Segundo Freitas et al. (2015) os valores de H+Al foram superiores na área de mata nativa devido influência da matéria orgânica e do H no solo, presente nos grupos carboxílicos e fenólicos que liberam o H^+ que irá compor os íons envolvidos da troca catiônica do solo e posteriormente acidificá-lo.

A partir dos resultados provenientes das análises, pode-se inferir que ambas as áreas possuem solos ácidos, principalmente devido ao índice de pH observado. Segundo o Guia de Interpretação de Análise de Solo e Foliar (PREZOTTI; GUARÇONI, 2013) solos com pH abaixo de 5 são conhecidos por possuírem elevado teor de acidez. Resultados semelhantes foram encontrados por Siqueira Neto et al. (2009) ao analisar um Latossolo Vermelho sob vegetação de cerrado no Estado de Goiás.



O teor de K^+ presente em maior quantidade no solo de PA na camada superficial ($0,47 \text{ mmolc dm}^{-3}$), pode estar relacionado com a atividade de corte e queima, realizada para implementação agrícola onde há incremento de K^+ no solo em diferentes profundidades sendo maiores, entretanto, nas camadas mais superficiais (VERAS, 2015). A área de PA foi anteriormente utilizada como pastagem antes do atual estado de pousio e, dessa forma, possui histórico que apresenta indícios de que houve incrementação de potássio.

Segundo Sobral et al. (2015) os valores médios referentes aos cátions trocáveis (K, Mg e Ca) foram considerados médios a altos para o solo de PA e médios a baixos para o solo de FL. Segundo Veras (2015), os baixos teores de Ca^{+2} e Mg^{+2} na área de FL podem estar relacionados ao valor do pH, sendo este uma das propriedades químicas mais importantes do solo uma vez que afeta a solubilidade de muitos nutrientes essenciais aos desenvolvimentos das plantas, como as bases trocáveis.

Segundo interpretação de Sobral et al. (2015), valores de P abaixo de 4 mg dm^{-3} para solos argilosos são considerados baixos, dessa forma, em ambas as áreas, os baixos valores de P disponível podem estar diretamente associados ao pH ácido (abaixo de 5,5) (PREZOTTI; GUARÇONI, 2013) que provoca a imobilização do P disponível no solo pela formação de composto insolúveis com o Fe, Al e Ca (CALGARO et al., 2015). Meurer (2017) também explica que a adição de MO no solo pode reduzir a precipitação de fosfato, devido a liberação de ácidos orgânicos que competem pelos sítios de adsorção do fósforo ou formam compostos com o P.

Sobral et al. (2015) afirma que valores de V abaixo de 50% são considerados baixos e nesse caso apenas a profundidade de PA apresentou valor mediano de V de 65,7 % na camada de 5 a 10 cm (Tabela 4). Este resultado pode estar associado a presença de H^+ e Al^{3+} adsorvidos as cargas negativas dos coloides provocando saturação e impedindo a adsorção dos cátions trocáveis como Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ provocando a ocorrência de solos ácidos (VERAS, 2015).

Ambas as áreas do estudo apresentaram altos níveis de MO, conforme interpretação de Ronquim (2020). O teor de MO observado em FL provavelmente está associado ao maior aporte, de forma contínua e com conteúdo variado, de material orgânico com diferentes graus de suscetibilidade à decomposição, provenientes de uma vegetação com maior diversidade de espécies (CARDOSO et al., (2011), isto explica também o maior índice de MO nas camadas mais profundas do solo de FL quando comparado com a área de PA. No entanto, em estudo semelhante, Chaves et al. (2013) observou que solos com o predomínio de gramíneas, como a braquiária possuem maior teor de MO, apresentando valores superiores aos que seriam encontrados em vegetação nativa, principalmente, quanto há diversidade de espécies e não



revolvimento do solo. O autor confirma esta afirmação ao comparar uma área de Cerrado típico com mata nativa do Cerrado.

Segundo Ronquin (2020), solos com altos teores de MO (> 5%) geralmente apresentam elevada CTC e grande resistência à variação do pH. O principal mecanismo de entrada da matéria orgânica no solo é a fotossíntese, por meio da qual o carbono atmosférico é incorporado ao tecido vegetal das forrageiras presentes na pastagem (OLIVEIRA et al., 2015).

Para Dias - Filho (2014), o carbono orgânico (CO) do solo é um importante indicador-chave para determinar padrões de qualidade do solo e isso se explica pela forte correlação existente entre CO e os atributos químicos, físicos e biológicos, servindo, portanto, como um avaliador de sustentabilidade. Assim como foi observado, os valores médios de ECO foram superiores na área de FL em comparação com a área de PA. Oliveira et al. (2015) explica que nas pastagens degradadas, nas quais não há uma cobertura eficiente do solo pelas plantas forrageiras, as taxas de perda de carbono orgânico tendem a superar as taxas de acúmulo. Isso ocorre, principalmente, pela maior taxa de decomposição da matéria orgânica no solo de PA incentivada pelas condições ambientais.



7. CONCLUSÃO

Aceita-se a hipótese de que o solo da pastagem abandonada (PA) tende a reestabelecer condições naturais semelhantes a área de floresta nativa do Cerrado quando está em estado de pousio. A área de PA apresentou os maiores valores para os indicadores da fertilidade do solo, devido á calagem, fertilização e deposição de resíduos orgânicos animais e vegetais na superfície. Nessa área, a presença das gramíneas tropicais perenes proporcionou aporte de matéria orgânica e aumento dos estoques de carbono orgânico do solo, igualando-se a área de FL. Portanto, a conversão da floresta em pastagens alterou os atributos do solo, com o aporte de matéria orgânica como principal fator de influência na restauração do solo nas áreas antropizadas.



REFERÊNCIAS

ALENCAR, A. et al. Mapping three decades of changes in the brazilian savanna native vegetation using landsat data processed in the google earth engine platform. **Remote Sensing**, v. 12, n. 6, 1 mar. 2020.

AMARAL, Y.T.; LIMA, G.P.; PEIXOTO NETO, C.A.A.; COSTA, M.K.L.; SIQUEIRA, G.M.. Biogeographical distribution of the south mesoregion, Maranhão, Brazil. **Journal Of Geospatial Modelling**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 13, 15 dez. 2016. Journal of Geospatial Modelling. <http://dx.doi.org/10.22615/jgm-1.1-5810>.

ANACHE, J. A. A. **Alterações no ciclo hidrológico e na perda de solo devido aos diferentes usos do solo e variações climáticas em área de Cerrado**. Tese (Doutorado) - São Carlos/SP: 2017. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-17042018-110107/publico/ANACHE_JAA_2017.pdf>.

ANDRADE, R.G.; BOLFE, E.L.; VICTORIA, D.C.; NOGUEIRA, S.F. Geotecnologia - Recuperação de pastagens no Cerrado. **Agroanalysis (FGV)**, v.36, p.30-33, 2016.

ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; NEVES, J. C. L.; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 5, n. 1, p. 187–206, 2012.

BROOKES, P.C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. **Biol. Fert. Soils**, 19:269-279, 1995.

CALGARO, Hemerson Fernandes et al. Distribuição Natural De Espécies Arbóreas Em Áreas Com Diferentes Níveis De Antropização E Relação Com Os Atributos Químicos Do Solo. **Revista Árvore [online]**. 2015, v. 39, n. 2 [pp. 233-243].

CARDOSO, Evaldo Luis et al. Qualidade química e física do solo sob vegetação arbórea nativa e pastagens no Pantanal Sul-Mato-Grossense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo [online]**. 2011, v. 35, n. 2, pp. 613-622.

CARNEIRO, M. A. C et al., 2009. **Solo De Cerrado Sob Diferentes Sistemas** De. n. 1, p.147-157, 2009.

CARNEIRO, M. A. C. et al.. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, p. 147–157, jan. 2009.

CARVALHO, J.L.N.; CERRI, C.E.P.; FEIGEL, B.J.; PICCOLO, M.C.; GODINHO, V.P.;

CERRI, C.C. Carbon sequestration in agricultural soils in the Cerrado region of the Brazil Amazon. **Soil and Tillage Research**, v. 103, p.342-349, 2009. Disponível em: <http://doi.org/10.1016/j.still.2008.10.022>.

CHAVES, Aurélio Alves Amaral et al. Indicadores de qualidade de Latossolo Vermelho sob diferentes usos. **Pesquisa Agropecuária Tropical [online]**. 2012, v. 42, n. 4, pp. 446-454.



Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1983-40632012000400002>>. Epub 18 Jan 2013. ISSN 1983-4063. <https://doi.org/10.1590/S1983-40632012000400002>.

CORREIA, Francisco Lages et al. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea: estado do Maranhão: relatório diagnóstico do município de Porto Franco**. Teresina: CPRM, 2011. 43 p. 1

DIAS-FILHO, M.B. **Diagnóstico das pastagens no Brasil**-. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2014. 36p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 402).

EFFGEN, Emanuel Mareto; COELHO, Marino Salgarello; OLIVEIRA, Gabriel Marcos Vieira; SILVA, Marcelo Gabetto e. Caracterização química do solo de uma área degradada no Sul do Espírito Santo. **Brazilian Journal Of Animal And Environmental Research**, [S.L.], v. 5, n. 4, p. 4076-4083, 1 dez. 2022. South Florida Publishing LLC. <http://dx.doi.org/10.34188/bjaerv5n4-051>.

FREITAS, Ludmila de et al. Atributos químicos de Latossolo Vermelho submetido a diferentes manejos. **Floresta**, v. 45, n. 2,

GASQUES, J. G. et al. **Projeções do Agronegócio: Brasil 2019/20 a 2029/30, Projeções de Longo Prazo**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento Secretaria de Política Agrícola (MAPA). Brasília – DF, 11 ed. 2020. Disponível em: www.agricultura.gov.br.

GIBBS, H. K. et al. Tropical forests were the primary sources of new agricultural land in the 1980s and 1990s. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 107, n. 38, p. 16732–16737, 21 set. 2010.

GREGORICH, E. G. et al.; Biological attributes of soil quality. In: GREGORICH, E.G.; CARTER, M. (Ed.). Soil quality for crop production and ecosystem health. Amsterdam, Netherlands: **Elsevier Science**, 1997.

IBGE. **Biomass Continentais do Brasil Amazônia**. Informativo Técnico. 2018.

IBGE. **Biomass e Sistema Costeiro-Marinho do Brasil - 1:250 000**. 2019. Disponível em:<https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/informacoes-ambientais/15842-biomass>.

KARLEN, D.L.; Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). **Soil Science Society of America Journal**, v. 61, p.4-10, 1997.

LABGEO, Laboratório de Geoprocessamento - UEMA. **Atlas do Maranhão**/Gerência de Planejamento e Desenvolvimento Econômico. 2 ed. ed. São Luís, MA: GEPLAN, 2002. v.

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: alternativa para sustentabilidade da produção animal. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 18., 2001, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2001. p. 257-283.

MACEDO, M.C.M. Pastagens nos ecossistemas Cerrados: pesquisas para o desenvolvimento sustentável. In: SIMPÓSIO SOBRE PASTAGENS NOS ECOSISTEMAS BRASILEIROS, 1995, Brasília. **Anais...** Brasília: SBZ, 1995. p.28-62.

MEURER, E.J., ed. **Fundamentos de química do solo**. 6.ed. Porto Alegre, Evangraf, 2017. 266p.



PREZOTTI, L.C.; GUARÇONI, A. **Guia de interpretação de análise de solo e foliar**. Vitória: Incaper, 2013. 104 p.

OLIVEIRA ES et al. 2015. Estoques de carbono do solo segundo os componentes da paisagem. **Cadernos de Ciência & Tecnologia** 32: 71-93.

REICHERT, J. M.; KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; RIQUELME, U. F. B. Variação temporal de propriedades físicas do solo e crescimento radicular de feijoeiro em quatro sistemas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 44, n. 3, p. 310 - 319, 2009

REIS, A. S., 2018. **Atributos físicos e químicos do solo sob diferentes sistemas de manejo em áreas de ecótono Cerrado–Amazônia**. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal de Tocantins - UFT, Gurupi.

ROCHA, Carlos Magno Campos da et al. Avanços na pesquisa e no desenvolvimento da aquicultura brasileira. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 48, p. iv-vi, 2013.

RODRIGUES, Graciela B., MALTONI, Kátia L. e CASSIOLATO, Ana Maria R... Dinâmica da regeneração do subsolo de áreas degradadas dentro do bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** [online]. 2007, v. 11, n. 1 pp. 73-80. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1415-43662007000100010>>. Epub 07 Mar 2007. ISSN 1807-1929. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662007000100010>.

RONQUIM, C. C. (2020). Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. (2ª.ed.): Embrapa territorial. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1128267/1/5840.pdf>

SANTOS, H. G. DOS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2018. v. 5

SILVA, G. F et al. **Indicadores de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso na mesorregião do agreste paraibano** 1. v. 2125, p. 25–35, 2015.

SANTOS, H. G. DOS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: EmbrapaSolos, 2018. v. 5

SIQUEIRA NETO, Marcos *et al.* Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no Cerrado. **Acta Scientiarum. Agronomy**, [S.L.], v. 31, n. 4, p. 709-717, 28 ago. 2009. Universidade Estadual de Maringá. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v31i4.792>.

SOBRAL, L.F.; BARRETTO, M.C. de V.; SILVA, A.J.; ANJOS, J.L. Guia prático interpretação de resultados de análises de solos. Aracaju: **Embrapa Tabuleiros Costeiros** (Documentos, 216), 2015, 13p.

TEIXEIRA P.C, DONAGEMMA G.K, FONTANA A., TEIXEIRA W.G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev e ampl. Brasília, DF: Embrapa; 2017.

VERAS, Carlos. M. A. **Áreas com potenciais para regeneração de atributos do solo no Norte Maranhense**. Tese (Doutorado em Agronomia) -Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, 62 p. 2015

