

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA TROPICAL**

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DE SOLOS SOB AMBIENTES NATURAIS E
ANTROPIZADOS NO MUNICÍPIO DE HUMAITÁ, AM**

HALF WEINBERG CORRÊA JORDÃO

MANAUS-AM
2018

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA TROPICAL**

HALF WEINBERG CORRÊA JORDÃO

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DE SOLOS SOB AMBIENTES NATURAIS E
ANTROPIZADOS NO MUNICÍPIO DE HUMAITÁ, AM**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical, da Universidade Federal do Amazonas – UFAM, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agronomia Tropical (Produção vegetal).

Orientador: Prof. Dr. Milton César Costa Campos

MANAUS-AM
2018

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

J82a Jordão, Half Weinberg Corrêa
Atributos químicos de solos sob ambientes naturais e antropizados no município de Humaitá, AM / Half Weinberg Corrêa
Jordão. 2018
51 f.: 31 cm.

Orientador: Milton César Costa Campos
Dissertação (Mestrado em Agronomia Tropical) - Universidade Federal do Amazonas.

1. intervenção antrópica. 2. uso do solo. 3. química do solo. 4. ambientes amazônicos. I. Campos, Milton César Costa II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

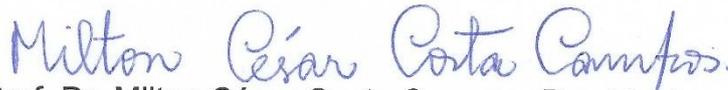
HALF WEINBERG CORRÊA JORDÃO

ATRIBUTOS QUÍMICOS DE SOLOS SOB AMBIENTES NATURAIS E
ANTROPORIZADOS NO MUNICÍPIO DE HUMAITÁ, AM

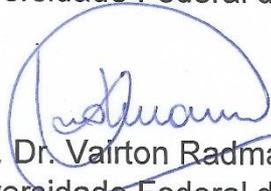
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical da Universidade Federal do Amazonas, como parte do requisito para obtenção do título de Mestre em Agronomia Tropical, área de concentração em Produção vegetal.

Aprovado em 20 de fevereiro de 2018.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Milton César Costa Campos, Presidente
Universidade Federal do Amazonas



Prof. Dr. Vairton Radmann, Membro
Universidade Federal do Amazonas



Dr. Renato Eleoterio de Aquino, Membro
Universidade Estadual Paulista

HALF WEINBERG CORRÊA JORDÃO

ATRIBUTOS QUÍMICOS DE SOLOS SOB AMBIENTES NATURAIS E
ANTROPIZADOS NO MUNICÍPIO DE HUMAITÁ, AM

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical da Universidade Federal do Amazonas, como parte do requisito para obtenção do título de Mestre em Agronomia Tropical, área de concentração em Produção vegetal.

Aprovado em 20 de fevereiro de 2018.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Milton César Costa Campos, Presidente
Universidade Federal do Amazonas

Prof. Dr. Vairton Radmann, Membro
Universidade Federal do Amazonas

Dr. Renato Eleoterio de Aquino, Membro
Universidade Estadual Paulista

Aos meus avós, Tereza do Prado Corrêa
(*em memória*) e Almir de Aquino Corrêa,
aos meus pais, irmãos e minha querida
namorada, DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Ao Senhor Deus por tudo;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão de bolsa de pesquisa durante o mestrado;

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical – PGATR e à Universidade Federal do Amazonas – UFAM, pela oportunidade de ingressar neste curso de Pós-graduação;

Ao professor Dr. Milton César Costa Campos, pela excelente orientação confiança e amizade;

Aos amigos Bruno Campos Mantovanelli e César Frozzi, pelo apoio e contribuição neste trabalho de pesquisa;

Aos colegas de curso, Eduardo Santos e Fernando Souza, pelo apoio nas disciplinas cursadas;

Ao grupo de pesquisa Solos e Ambientes Amazônicos, com seus respectivos integrantes, pelo total apoio na condução da pesquisa;

Ao Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, por aceitar cursar disciplina como aluno visitante;

Aos meus professores de Pós-graduação, pelo ensino, dedicação e estímulo à pesquisa;

Aos Doutores Vairton Radmann e Renato Eleoterio de Aquino, por aceitarem participar da banca e contribuir para o trabalho;

Aos demais colegas de curso, pelo compartilhamento de conhecimento nas disciplinas cursadas;

Aos demais familiares e amigos, que sempre torceram e torcem por mim, meus sinceros agradecimentos.

OBRIGADO.

RESUMO

Avaliações das alterações nas propriedades do solo decorrentes de impactos da intervenção antrópica em ecossistemas naturais podem constituir importante instrumento para auxiliar no monitoramento da conservação ambiental. Este trabalho teve como objetivo avaliar os atributos químicos do solo em ambientes naturais e com intervenção antrópica, no município de Humaitá, AM. O estudo foi realizado em cinco propriedades rurais localizadas no município de Humaitá, AM. Foram selecionados quatro ambientes com características naturais (florestas nativas – FN), numeradas de 1 a 4 para diferenciação (FN₁, FN₂, FN₃ e FN₄) e cinco ambientes com intervenção antrópica, sendo eles: pastagem, agrofloresta, mandioca, açaí e reflorestamento. Foram coletadas amostras de solo por meio da abertura de pequenas trincheiras (0,40 m x 0,40 m), nas camadas de 0,00 a 0,05, 0,05 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m. As análises dos atributos, pH em água, alumínio trocável (Al³⁺), acidez potencial (H+Al) e carbono orgânico (CO) foram realizadas segundo metodologia da Embrapa (2011), enquanto os atributos, fósforo (P) disponível, potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) trocáveis, foram determinados utilizando o método da resina trocadora de íons. A partir destas análises foram calculadas a soma de bases (SB), CTC potencial (T), CTC efetiva (t), saturação por alumínio (m%) e saturação por bases (V%). Foram realizadas as análises estatísticas univariada e multivariada, as médias dos atributos foram comparadas utilizando o teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). Todos os ambientes estudados apresentaram valores elevados de pH, Al³⁺, H+Al e m, por outro lado os ambientes sob o uso de açaí e mandioca, apresentaram valores satisfatórios de P, CO, K, Ca²⁺, Mg²⁺, CTC e V%, sendo estes superiores aos demais. A análise multivariada foi preponderante na distinção dos sistemas de cultivos estudados, bem como caracterização da relação com as propriedades químicas. A partir dos diagramas ternários de variabilidade, foi possível relacionar o trio de variáveis que apresentam elevada variabilidade entre os ambientes estudados.

Palavras-chave: intervenção antrópica, uso do solo, química do solo, ambientes amazônicos

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores médios das frações areia, silte e argila de solos sob ambientes naturais e antropizados no município de Humaitá, AM, nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m.	22
Tabela 2. Teste de médias para pH em água, P e CO, nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, em diferentes ambientes no município de Humaitá-AM. ...	25
Tabela 3. Teste de médias para Al^{3+} , H+Al e m%, nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, em ambientes naturais e antropizados no município de Humaitá-AM.	28
Tabela 4. Teste de médias para os teores de K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, em ambientes naturais e antropizados no município de Humaitá-AM.	31
Tabela 5. Teste de médias para T, t e V%, nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 de solo, em ambientes naturais e antropizados no município de Humaitá-AM.	34
Tabela 6. Contribuição das componentes principais dos atributos químicos em diferentes ambientes no município de Humaitá, AM.	36
Tabela 7. Cargas fatoriais extraídas por componentes principais, em ambientes naturais e antropizados no município de Humaitá, AM.	37
Tabela 8. Correlação de Pearson de atributos químicos do solo em ambientes naturais e antropizados região Sul do Amazonas.	42

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Localizações dos ambientes onde foram realizadas as amostragens, para coleta de solos, em Humaitá, Amazonas.20
- Figura 2.** Análise de componentes principais de atributos químicos do solo em ambientes naturais e antropizados em Humaitá, AM. A = Camada de 0,00-0,05 m; B = Camada de 0,05-0,10 m; C = Camada de 0,10-0,20 m.39
- Figura 3.** Diagramas ternários do padrão de variabilidade dos atributos químicos do solo em ambientes naturais e antropizados no município de Humaitá-AM.44

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. JUSTIFICATIVA	13
3. OBJETIVOS	14
3.1 Objetivo geral	14
3.2 Objetivos específicos	14
4. REVISÃO DE LITERATURA	14
4.1 Uso e manejo do solo no sul do Amazonas	14
4.2 Atributos químicos do solo	16
4.3 Análise multivariada em estudos sobre solos	17
5. MATERIAL E MÉTODOS	19
5.1 Caracterização do meio físico	19
5.2 Metodologia de campo	21
5.3 Metodologia de laboratório	21
5.6 Procedimentos estatísticos	23
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
6.1 Teste de médias	24
6.2 Análises multivariadas	35
7. CONCLUSÕES	45
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

1. INTRODUÇÃO

A exploração agrícola, pecuária e, principalmente, florestal, são fatores que provocam as alterações na composição da vegetação de ecossistemas naturais (ALENCAR et al., 2004), trazendo consequências não só em relação à biodiversidade, mas, também, quando se analisa a deterioração causada aos solos e a sua possibilidade de reutilização e/ou conservação (CHAVES et al., 2012). Segundo Lourente et al. (2011), a mudança da vegetação natural para sistema de exploração agropecuária provoca alterações profundas nos atributos do solo, como a perda da fertilidade natural com o manejo inadequado.

O uso inadequado do solo tem ocasionado a degradação de seus atributos físicos, químicos e biológicos como, por exemplo, a desestruturação e compactação, redução da fertilidade, perda da matéria orgânica e diminuição da diversidade e quantidade de organismos no solo (LEITE et al., 2010a). Quanto à qualidade química, estudos mostram que as modificações desses atributos são decorrentes dos diferentes sistemas de manejo agrícola (FREITAS et al., 2015a; OLIVEIRA et al., 2015).

Com a retirada da vegetação natural e o cultivo, as propriedades químicas dos solos são significativamente modificadas, principalmente na camada arável, em decorrência da adição de corretivos e fertilizantes e de operações agrícolas (FREITAS et al., 2015a). No entanto, o grau dessas alterações depende de vários fatores, como a cultura implantada e o manejo utilizado, a classe e a fertilidade inicial do solo, o comportamento físico-químico de cada nutriente e suas interações com o meio (MARCHIORI JÚNIOR e MELO, 2000).

Avaliações das alterações nas propriedades do solo decorrentes de impactos da intervenção antrópica em ecossistemas naturais podem constituir importante instrumento para auxiliar no monitoramento da conservação ambiental, uma vez que, permitem caracterizar a situação atual, alertar para situações de risco e, por vezes, prever situações futuras, especialmente quando adotada como referência a vegetação nativa original (CARDOSO et al., 2011).

O estudo dos atributos do solo permite quantificar a magnitude das alterações provocadas por diferentes sistemas de manejo. Por serem sensíveis, esses atributos são importantes para estabelecer se houve degradação ou melhoria da qualidade do solo em relação a um determinado sistema de manejo (REICHERT et al., 2009).

Nos últimos anos, os estudos sobre a qualidade do solo evoluíram significativamente, justificados quase sempre pela necessidade de se avaliar o comportamento de diversos atributos do solo em áreas sob cultivo agrícolas e pastagens (SPERA et al., 2009). Nesse contexto, o conhecimento das modificações químicas do solo causadas pelo cultivo contínuo pode fornecer subsídios para a adoção de práticas de manejo que permitam incrementar o rendimento das culturas, garantindo a contínua sustentabilidade e conservação dos ecossistemas (FREITAS et al., 2015a).

Para tanto, o uso de técnicas estatísticas favorece o conhecimento dos atributos do solo, permitindo assim, o estabelecimento de práticas de manejo adequadas. Contudo, o uso das técnicas de análise multivariada, são eficientes para verificar a distinção de ambientes, com base nos atributos do solo em cada ambiente estudado, resultantes das diferenças do uso e do manejo das áreas (FREITAS et al., 2015a; MANTOVANELLI et al., 2015), além de se apresentar como uma ferramenta que pode ser importante no monitoramento ambiental (SILVA et al., 2010a).

A utilização da estatística multivariada possui maior capacidade de descrever as relações de intra e interdependência nos sistemas agrícola (MARQUES JÚNIOR, 2009), sendo dessa forma, uma das soluções para a melhor descrição das interações nos sistemas agrícolas, uma vez que as análises estatísticas convencionais não são, muitas vezes, suficientes para tal descrição (SILVA et al., 2010a).

2. JUSTIFICATIVA

A implantação de atividades florestais, agrícolas e pecuária vem modificando a cobertura vegetal original de grande parte do território brasileiro. Ecossistemas naturais, como o cerrado e a floresta amazônica, vêm perdendo suas características originais e cedendo lugar para essas atividades (MANTOVANELLI et al., 2015).

A substituição da vegetação nativa por sistemas de cultivo pode favorecer alterações nos atributos químicos e físicos do solo (FREITAS et al., 2015b). Dessa forma, devido às alterações nos teores de nutrientes do solo, o conhecimento da fertilidade dos solos, é um dos fatores primordiais para a obtenção de sucesso na atividade agrícola (FRAZÃO et al., 2008).

Sendo o comportamento químico dos solos estudado a partir da avaliação e quantificação de nutrientes, que respondem a fertilidade do solo (SILVA et al., 2010b), o conhecimento das alterações da fertilidade do solo, provocadas pelos diferentes

sistemas de usos, é essencial para melhorar a qualidade deste solo. Uma vez que, identificada a característica química do solo, é possível traçar estratégias para manejar o solo de forma adequada para o uso agrícola.

Considerando que o manejo da adubação constitui-se num dos principais condicionantes da produtividade das culturas, uma boa caracterização edáfica, com utilização frequente da análise de solo, é procedimento básico para nortear a tomada de decisão no gerenciamento agrônômico das lavouras na agricultura moderna (RESENDE e COELHO, 2017).

Sendo os solos da região Amazônica, predominante de baixa fertilidade natural, estudos são necessários, afim de avaliar a baixa fertilidade destes solos. Alguns estudos já foram realizados com solos desta região, porém, ainda são poucos trabalhos que abordam a sua qualidade química, quando sob cultivo agrícola. A caracterização dos atributos químicos destes solos sob diferentes formas de utilização gerará informações importantes sobre o seu comportamento em relação ao uso agrícola, constituindo ferramenta indispensável para o manejo sustentável destes solos.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Avaliar os atributos químicos de solos em ambientes com vegetação nativa e antropizados no município de Humaitá, AM.

3.2 Objetivos específicos

Caracterizar os atributos químicos dos solos em ambientes naturais e antropizados;

Comparar áreas com diferentes manejos do solo, em relação aos atributos químicos estudados;

Aplicar as técnicas de estatística multivariada para descrição das interações entre os atributos químicos, das diferentes áreas estudadas.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Uso e manejo do solo no sul do Amazonas

A região Amazônica apresenta ambientes naturais e ambientes em diferentes usos antrópicos, sendo a pecuária a principal atividade (RIVERO et al., 2009). Os ambientes naturais apresentam integração direta entre a cobertura vegetal e os

atributos físicos, químicos e biológicos do solo, decorrentes de processos essenciais relacionados aos ciclos biogeoquímicos, acumulação e decomposição da matéria orgânica de resíduos vegetais (serapilheira e raízes) e microclima (KARA e BOLAT, 2008). De acordo com Quesada et al. (2009), cerca de 30% a 50% da Floresta Amazônica ocorre em solos de baixa fertilidade.

Dessa forma, o uso e manejo inadequado do solo contribui ainda mais para a degradação dos atributos físicos, químicos e biológicos (SÁ et al., 2010), causando, muitas vezes, impactos ambientais negativos, como exemplo a sua desestruturação, compactação, redução da fertilidade, perda da matéria orgânica e diminuição da diversidade e quantidade de organismos (LEITE et al., 2010b).

A pecuária, uma das atividades econômicas que mais se desenvolveram na ocupação e na utilização das terras na região, contribuiu para que grandes extensões de florestas fossem desmatadas e cedessem lugar às pastagens cultivadas para a criação de bovinos e a agricultura manejada com corte e queima, provocando impactos ambientais negativos, às vezes até irreversíveis (COSTA et al., 2000; RIVERO et al., 2009).

Práticas sustentáveis no uso dos recursos naturais, em especial do solo e da água, destacam-se como tema relevante, devido, principalmente, ao aumento de atividades antrópicas (ARAÚJO et al., 2010). Nesse sentido, a avaliação das propriedades do solo que estimam a sua qualidade assume importante papel no monitoramento de sua conservação, sob pena de a degradação do solo comprometer irreversivelmente a sustentabilidade dos agroecossistemas (CARDOSO et al., 2011).

Contudo, essa avaliação é complexa e deve ser realizada em função de um conjunto de indicadores específicos, denominados atributos e suas inter-correlações, já que se tem verificado que indicadores isolados não são suficientes para explicar a perda ou o ganho potencial dos cultivos de determinado solo (SANTOS, 2010).

Atualmente, na região sul do Amazonas, em particular no município de Humaitá, o uso do solo é destinado em sua grande maioria para pastagem, cultivo de açaí, que vem crescendo no município, cultivo de mandioca e hortaliças em geral, e recentemente ao cultivo de grãos (arroz e soja e milho), além da vegetação nativa, como os campos naturais, ambiente característico da região (BRAUN e RAMOS, 1959), e áreas de floresta nativa que ainda se encontram presentes na região. É importante salientar que, o município de Humaitá está situado em uma região que

engloba o denominado Arco do Desmatamento, que se caracteriza por uma região com imensa área, que vem sofrendo alterações antrópicas.

As informações sobre a distribuição e o comportamento dos solos na região sul do Amazonas são baseadas, principalmente, em levantamentos generalizados, já que poucos são os trabalhos em nível semi-detalhado ou detalhado (OLIVEIRA, 2013). A região se destaca por apresentar grande diversidade de solos, como Argissolos, Latossolos, Cambissolos, Gleissolos, Espodossolos e Neossolos (CAMPOS, 2009), estando em condições naturais ou sob manejo agropecuário.

4.2 Atributos químicos do solo

Os atributos de fertilidade química, física e biológica do solo expressam grande variabilidade espacial e temporal, influenciando o potencial produtivo nos ambientes agrícolas (RESENDE e COELHO, 2017). Os atributos do solo são importantes componentes de sua produtividade, visto que as plantas necessitam de solos bem estruturados, sendo por isso a seleção e a utilização adequada de cada tipo de solo, de fundamental importância para a manutenção da qualidade e da produtividade do sistema (PIGNATARO NETTO et al., 2009; BOGNOLA et al., 2010).

Segundo Resende e Coelho (2017), dificilmente os padrões encontrados para os atributos de fertilidade química do solo numa área são extrapoláveis para outras ou se mantêm inalterados com o passar do tempo, independente de se utilizar ou não manejo específico. Diante disso, as avaliações de usos agrícolas de solos utilizando-se atributos do solo como indicadores é um trabalho constante na avaliação de sistemas produtivos com o objetivo de adaptar sistemas ou propor usos do solo mais sustentáveis (CORRÊA et al., 2009). Em pesquisa realizada por Oliveira et al. (2015), caracterizando solos sob diferentes usos na região sul do Amazonas, foi observado que, os atributos químicos foram responsáveis pela separação da terra preta arqueológica e agrofloresta das áreas de floresta, pastagem, cana-de-açúcar e mandioca.

A conversão da vegetação nativa em área cultivada, promove maior redução da qualidade química do solo na substituição à vegetação nativa, caracterizada por árvores de menor porte e com menor fertilidade natural, independentemente do tempo de remoção da vegetação nativa (CARDOSO et al., 2011). Vale ressaltar que, o uso e manejo intensivo do solo alteram os componentes orgânicos do mesmo, tanto em

sua qualidade como em quantidade, interferindo no equilíbrio natural dos ecossistemas (MELO e SCHAEFER, 2009).

Nesse contexto, a matéria orgânica é um dos componentes mais importantes do solo, pois tem influência direta e indireta na fertilidade e na produção das culturas, além de favorecer a estrutura dos solos, ou seja, atua em diversas propriedades físicas e químicas, como capacidade de troca de cátions, pH, densidade do solo, porosidade e estabilidade dos agregados, sendo um indicador de qualidade nos diferentes sistemas de uso e manejo (NASCIMENTO et al., 2009).

Segundo estudo realizado por Lourente et al. (2011), a substituição da vegetação nativa por sistemas de cultivo causa uma importante redução média no carbono da biomassa microbiana do solo, tanto no verão quanto no inverno, nos sistemas de manejo: sistema convencional de preparo do solo, semeadura direta, reflorestamento e pastagem degradada. Neste mesmo trabalho, os autores observaram que a substituição da vegetação nativa por sistemas de cultivo pode causar importantes alterações nos atributos químicos do solo.

Em uma área cultivada com soja, milho e algodão no sistema de rotação de cultura, localizada em Mato Grosso do Sul, Botega et al. (2013) observaram que, os atributos químicos do solo, com exceção do pH, apresentaram maior variação que os atributos físicos. Nesse contexto, Aquino et al. (2014), avaliando a distribuição espacial dos atributos químicos do solo em área de pastagem e floresta, verificaram que os atributos químicos evidenciaram variação na variabilidade espacial, nas áreas estudadas.

Dessa forma, vale ressaltar que o relevo é a variável que influencia na distribuição de atributos químicos do solo ao longo da paisagem, apresentado altas correlações com a produtividade de culturas e outros atributos (SOUZA et al., 2007; CAMPOS et al., 2007a), permitindo assim, estabelecer zonas de manejo específico (BRANCO et al., 2013).

4.3 Análise multivariada em estudos sobre solos

A avaliação de fatores que estudam o comportamento do solo, quando realizada usando métodos univariados, ou seja, analisando cada variável separadamente, aumenta a escala do problema e se torna um processo caro (SILVA et al., 2010b). Uma alternativa é o uso da análise multivariada, que é uma ferramenta importante para a análise de dados exploratórios do solo porque permite o

agrupamento de amostras de acordo com a similaridade, enquanto ainda permite a seleção das variáveis mais importantes para discriminar grupos pré-selecionados (BENITES et al., 2010).

O uso de técnica da análise multivariada é possível explicar o máximo de intercorrelação entre as variáveis e descobrir quais delas contribuem mais para a caracterização e, ou, alteração do solo (OLIVEIRA et al., 2015). Na análise simultânea de muitas informações, esta técnica torna-se a melhor ferramenta, possibilitando obter dados e interpretações que poderiam não ser perceptíveis com o uso da análise estatística univariada (CRUZ e REGAZZI, 2001).

O uso de técnicas estatísticas multivariadas associadas aos conceitos de solos permitem observar variação dos atributos do solo, constituindo assim uma tentativa de reduzir o erro e de entender as sequências de processos pedogenéticos, além de elucidar a participação e ordem de importância das variáveis do solo (CAMPOS et al., 2007b). Segundo Oliveira et al. (2015) os atributos do solo analisados com a análise de componentes principais (ACP) são agrupados de acordo com suas semelhanças, nas áreas estudadas, que, por sua vez, são separadas por critérios de dissimilaridade, o que levará à formação de grupos.

De acordo com Oliveira et al. (2015), o uso conjunto de técnicas multivariadas pode auxiliar na tomada de decisão do uso e manejo adequado do solo, baseando-se no comportamento dos seus atributos, e indicar os atributos que sofrem maior alteração com a ação antrópica, como prova disso, no estudo em questão, avaliando os atributos do solo, sob diferentes usos, com técnicas multivariadas, os autores observaram que a análise de componente principal e a análise discriminante mostraram de forma clara a ligação ou as alterações nos solos, quando se aplica um manejo específico.

Nesse contexto, Freddi et al. (2008), avaliando a análise multivariada na compactação de um solo cultivado com milho, concluíram que a classificação multivariada da qualidade física do solo pode contribuir para melhorar o planejamento e controle da produtividade da cultura, bem como a execução das atividades de manejo do solo.

A utilização de técnicas de análise multivariada em estudos sobre solo, possibilita identificar os atributos identificadores de diferentes ambientes, consistindo em uma ferramenta fundamental para direcionar práticas que reduzam o depauperamento do solo (OLIVEIRA et al., 2015). Entretanto, apesar da grande

importância dos métodos estatísticos multivariados para interpretações das variações dos atributos do solo, poucos são os trabalhos que fazem uso desta ferramenta, pois a maioria utiliza métodos estatísticos univariados (SILVA et al., 2010a).

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Caracterização do meio físico

O estudo foi realizado em cinco propriedades rurais localizadas ao Sul do Amazonas, mais precisamente no município de Humaitá (Figura 1). Nessas propriedades, foram selecionados quatro ambientes com características naturais (florestas nativas – FN), numeradas de 1 a 4 para diferenciação (FN₁, FN₂, FN₃ e FN₄), servindo como testemunhos nas comparações das médias com os ambientes em usos antrópicos. O emprego de um ambiente como testemunho para cada ambiente em uso justifica-se para que as comparações sejam as mais fiéis, uma vez que, segundo Corrêa et al. (2009), a variação dos atributos do solo na vegetação nativa é muito menor quando se compara com solos de uso agrícola, razão pela qual a vegetação nativa é um referencial para avaliação de solos incorporados a sistemas agrícolas.

Nas mesmas propriedades rurais, foram selecionados cinco ambientes, com diferentes usos antrópicos, dentre eles: pastagem, agrofloresta, mandioca, açaí e reflorestamento. O mesmo testemunho (FN₁) foi utilizado para os ambientes com pastagem e agrofloresta, por serem muito próximos e com as mesmas características de solo.

O ambiente com pastagem está situado nas coordenadas geográficas 7°27'23" S e 63°02'26" W, altitude de 62 m, formada com *Brachiaria brizantha* (cv. marandu) e diversas plantas de Tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) espalhadas pelo pasto, com mais de 20 anos de implantação, é mantido com baixa lotação de gado. O ambiente com agrofloresta está situado nas coordenadas geográficas 7°27'24" S e 63°02'15" W, altitude de 62 m, com aproximadamente 15 anos de implantação, onde foram identificadas espécies como a Andiroba (*Carapa guianensis*), Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*), Açaí (*Euterpe oleracea*), Castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa*), Jenipapo (*Genipa americana* L.), Cacau (*Theobroma cacao*), Pupunha (*Bactris gasipaes*) e Tucumã (*Astrocaryum aculeatum*). O ambiente tem acesso de pequenos animais (suínos) criados ao ar livre. O solo destes ambientes é classificado como Argissolo Vermelho Distrófico (EMBRAPA, 2013). Os dois ambientes são próximos, com cerca de 300 m entre seus pontos de coleta, e ambos possuem a mesma floresta

nativa para testemunho, estando a pastagem distante cerca de 600 m e a agrofloresta cerca de 900 m dos pontos da floresta nativa (FN₁).

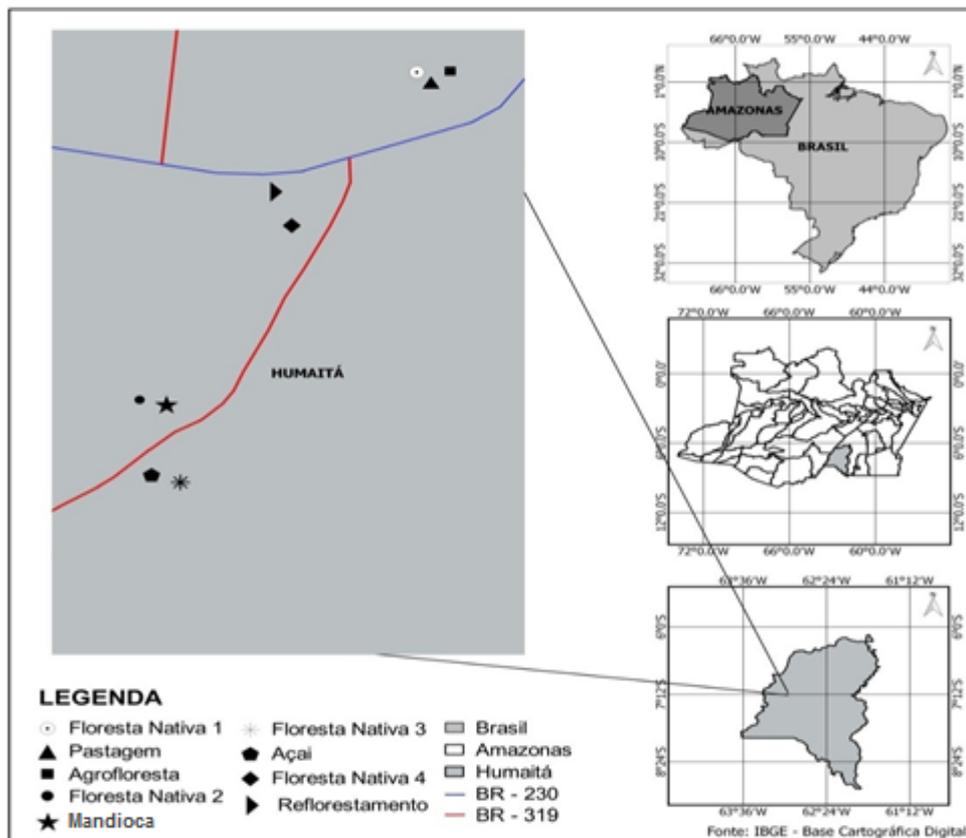


Figura 1. Localizações dos ambientes onde foram realizadas as amostragens, para coleta de solos, em Humaitá, Amazonas.

O ambiente cultivado com mandioca (*Manihot esculenta*) está situado nas coordenadas geográficas 7°47'40" S e 63°10'23" W, altitude de 70 m, com 10 anos de cultivo sucessivo, onde ocorre a prática de gradagem antes de cada plantio, sendo o solo classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (EMBRAPA, 2013). Os pontos de coleta do ambiente com mandioca estão localizados próximos dos pontos da floresta nativa (FN₂), cerca de 200 m.

O ambiente com cultivo de açaí (*Euterpe oleracea*) está situado nas coordenadas geográficas 7°48'55" S e 63°11'08" W, altitude de 70 m, com início do cultivo no ano de 2010, sendo que o mesmo possui sistema de irrigação e recebe adubação de cobertura frequentemente, sendo o solo classificado como Latossolo Amarelo Distrófico (EMBRAPA, 2013). Os pontos de coleta são próximos dos pontos da floresta nativa (FN₃), cerca de 400 m.

O ambiente com sistema de reflorestamento está situado nas coordenadas geográficas 7°34'45" S e 63°06'54" W, altitude de 65 m, sendo implantada em 2004, para o cultivo de Teca (*Tectona grandis* L.), Mogno (*Swietenia macrophylla* King.), Andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.), Jenipapo (*Genipa americana* L.) e pastagem de *Brachiaria brizantha* (cv. marandu) nas entrelinhas destas espécies, caracterizado como sistema silvipastoril, apesar de atualmente não se utilizar mais pastagem. O solo é classificado como Cambissolo Háptico Alítico (EMBRAPA, 2013). Os pontos de coleta estão distantes dos pontos da floresta nativa (FN₄), cerca de 2 km.

O material de origem dos solos da região é proveniente dos sedimentos aluviais antigos, que são cronologicamente oriundos do Holoceno (BRASIL, 1978). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo tropical chuvoso, com um período seco de pequena duração (Am), com precipitações pluviais entre 2.250 e 2.750 mm anuais (mais concentradas no período de outubro a junho), umidade relativa entre 85 e 90% e temperaturas variando entre 25 e 27 °C (BRASIL, 1978).

5.2 Metodologia de campo

Foram coletadas amostras de solo em nove ambientes, sendo quatro ambientes naturais (fragmentos florestais) e cinco ambientes em diferentes usos antrópicos (pastagem, agrofloresta, mandioca, açaí e reflorestamento). Por meio da abertura de pequenas trincheiras (0,40 m x 0,40 m), nas camadas de 0,00 a 0,05, 0,05 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m, foram coletadas amostras deformadas em forma de torrão, acondicionadas em sacos plásticos identificados. Em cada ambiente foram realizadas quatro repetições, em pontos selecionados aleatoriamente. Ao final das coletas, foram obtidas 108 amostras (torrões), sendo encaminhadas ao laboratório, onde estas amostras foram destorroadas, para posterior análise química. Os pontos de coleta tiveram suas coordenadas registradas com o auxílio de um equipamento de Posicionamento Global via Satélite (GPS), da marca Garmin (GPSmap 64S).

5.3 Metodologia de laboratório

Inicialmente, foi realizada uma análise granulométrica das áreas estudadas, afim de caracterizar a textura dos solos (Tabela 1). De acordo com os valores apresentado, os solos estudados apresentam, em média, textura argilo siltosa.

Tabela 1. Valores médios das frações areia, silte e argila de solos sob ambientes naturais e antropizados no município de Humaitá, AM, nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m.

Ambientes	g kg ⁻¹		
	Areia	Silte	Argila
----- 0,00 - 0,05 m -----			
Pastagem	208,90	621,32	169,79
FN ₁	122,58	698,78	178,64
Agrofloresta	153,74	685,21	161,05
FN ₂	125,83	452,94	421,23
Mandioca	188,54	424,51	386,95
FN ₃	119,63	420,97	463,40
Açaí	165,79	392,33	441,88
FN ₄	194,95	367,48	437,58
Reflorestamento	268,99	434,44	296,57
----- 0,05 - 0,10 m -----			
Pastagem	192,41	618,30	189,29
FN ₁	119,73	690,76	189,51
Agrofloresta	169,73	658,93	171,34
FN ₂	134,51	425,74	439,75
Mandioca	176,21	391,66	432,13
FN ₃	109,71	310,49	579,80
Açaí	153,64	316,11	530,25
FN ₄	185,11	352,06	462,83
Reflorestamento	219,89	364,43	415,68
----- 0,10 - 0,20 m -----			
Pastagem	161,50	601,77	236,73
FN ₁	115,62	669,57	214,81
Agrofloresta	147,25	671,24	181,51
FN ₂	158,33	318,84	522,83
Mandioca	187,81	293,99	518,20
FN ₃	115,52	239,43	645,05
Açaí	150,97	259,36	589,67
FN ₄	192,07	336,13	471,80
Reflorestamento	205,55	209,12	585,33

FN₁= Floreta nativa 1; FN₂= Floreta nativa 2; FN₃= Floresta nativa 3; FN₄= Floresta nativa 4.

As análises dos atributos, pH em água, alumínio trocável (Al) e acidez potencial (H+Al) foram realizadas no laboratório de solos e nutrição de plantas do Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente – IEAA, da Universidade Federal do Amazonas – UFAM, em Humaitá-AM, enquanto os atributos, fósforo (P) disponível, potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) trocáveis, foram determinados no laboratório de solos da Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita Filho, campus Botucatu-SP.

O pH foi determinado potenciométricamente com um pHmetro de bancada utilizando-se relação solo: água de 1:2,5. A acidez potencial (H+Al) foi extraída com solução tamponada (pH 7,0) de acetato de cálcio, sendo determinada volumetricamente com solução de NaOH em presença de fenolftaleína como indicador. O alumínio trocável (Al^{3+}) foi extraído com solução de KCl 1 mol L^{-1} , e sua determinação volumétrica realizada com solução diluída de NaOH (EMBRAPA, 2011).

Os teores de cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e potássio (K^+) trocáveis e fósforo (P) disponível, foram determinados utilizando-se o método da resina trocadora de íons (RAIJ et al., 2001). O carbono orgânico (CO) foi determinado pelo método de oxidação por via úmida, com aquecimento externo (YEOMANS e BREMNER, 1988). Com base nos resultados das análises químicas, foram calculadas a soma de bases (SB), CTC potencial (T), CTC efetiva (t), saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%).

5.6 Procedimentos estatísticos

Após a determinação dos atributos químicos dos solos, foram realizadas as análises estatísticas univariada e multivariada. Foi realizada uma análise de variância univariada (ANOVA), para verificar se houve diferença significativa por meio do teste F, e quando significativo, as médias dos atributos foram comparadas utilizando o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, comparando todos os ambientes e, posteriormente, comparando os ambientes em usos antrópicos com seus respectivos testemunhos. Estas análises foram conduzidas com auxílio do programa estatístico ASSISTAT versão 7.7 (SILVA e AZEVEDO, 2016).

Para considerar a estrutura multivariada dos dados, utilizaram-se técnicas estatísticas para verificar semelhanças entre as práticas de manejo na tentativa de agrupar os sistemas de uso/atributos químicos. Um gráfico "scree-plot" de autovalores foi criado para determinar o número de componentes que devem ser excluídos. Esse gráfico ordena os autovalores de acordo com os principais componentes, planejando a porcentagem de variância por cada atributo. Notavelmente, esta análise de componentes deve explicar mais de 70% da variância total (HAIR et al., 2005), e estas constituem as variáveis de resposta escolhidas para a análise de componentes principais (ACP). Posteriormente, foi realizada a análise dos fatores, que permitiu que as relações entre as variáveis fossem explicadas como um número limitado de novas

variáveis extraindo os principais componentes calculados a partir da matriz de correlação entre as variáveis.

A adequação da análise fatorial foi feita pela medida de KMO (Kaiser-Meyer-Olkin), que avalia as correlações simples e parciais das variáveis, e pelo teste de esfericidade de Bartlett, ao qual se pretende rejeitar a igualdade entre a matriz de correlação com a identidade. A extração dos fatores foi feita pela análise das componentes principais (ACP), incorporando as variáveis que apresentaram comunalidades iguais ou superiores a cinco (5). A escolha do número de fatores a ser utilizado foi feita pelo critério de Kaiser (fatores que apresentam autovalores superiores a 1). A fim de simplificar a análise fatorial, foi feita a rotação ortogonal (*varimax*) e representada em um plano fatorial das variáveis e dos escores para os componentes principais. Foram realizadas análises de correlação de Pearson, e para as variáveis químicas que apresentaram alta correlação foram gerados os diagramas ternários, como critério de se analisar a existência da variabilidade entre os manejos utilizados. Todas as análises multivariadas foram realizadas usando o software Statistica versão 7.0.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Teste de médias

Na Tabela 2 é apresentado o teste de médias para as variáveis pH em água, P e CO. Quanto ao pH, pode-se observar que em todas as camadas, todos os ambientes apresentaram caráter ácido, com valores abaixo de 5, porém o ambiente açai na profundidade de 0,00-0,05 m apresentou pH de 5,11. É possível observar também, que os ambientes que apresentaram maiores valores de pH foram FN₂, mandioca e açai, apresentando diferença significativa ($p < 0,05$) em relação aos demais ambientes em todas as camadas. No ambiente com o cultivo de açai, os valores de pH superiores, em relação aos demais ambientes, podem ser explicados devido nesta área ter ocorrido a correção do solo antes da implantação da cultura, e isso pode ser evidenciado devido o maior valor de pH na camada mais superficial (0,00-0,05 m), indicando melhor fertilidade do solo nesta camada, em relação a este atributo. Nos ambientes FN₂ e mandioca, apesar de não apresentarem diferença estatística em relação ao ambiente açai, os valores de pH foram baixos, variando de 4,56 a 4,83, mostrando que as condições em que se encontram estes ambientes não favorecem ao aumento de pH e conseqüentemente a melhor fertilidade do solo.

Tabela 2. Teste de médias para pH em água, P e CO, nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, em diferentes ambientes no município de Humaitá-AM.

Ambientes	Camadas (m)		
	0,00 - 0,05	0,05 - 0,10	0,10 - 0,20
----- pH em água -----			
Pastagem	4,32 b	4,38 b	4,35 b
FN ₁	3,93 b	3,90 c	3,91 c
Agrofloresta	4,19 b	4,13 c	4,33 b
FN ₂	4,56 a	4,61 a	4,62 a
Mandioca	4,83 a	4,72 a	4,63 a
FN ₃	4,11 b	4,24 b	4,28 b
Açaí	5,11 a	4,63 a	4,69 a
FN ₄	3,71 b	3,70 c	3,97 c
Reflorestamento	4,25 b	4,35 b	4,30 b
----- P (mg dm ⁻³) -----			
Pastagem	4,92 a	4,18 a	2,62 a
FN ₁	4,37 a	2,87 b	2,01 a
Agrofloresta	5,17 a	3,73 a	2,44 a
FN ₂	2,48 b	2,03 b	2,03 a
Mandioca	4,27 a	4,17 a	2,27 a
FN ₃	4,67 a	2,32 b	1,97 a
Açaí	4,05 a	2,21 b	2,52 a
FN ₄	4,71 a	2,69 b	2,32 a
Reflorestamento	2,55 b	2,32 b	2,01 a
----- CO (g kg ⁻¹) -----			
Pastagem	26,30 b	19,46 b	18,74 a
FN ₁	26,99 b	18,19 b	16,07 b
Agrofloresta	28,84 a	21,75 a	16,57 b
FN ₂	20,34 c	17,98 b	11,31 d
Mandioca	18,64 c	18,71 b	14,89 c
FN ₃	15,65 d	11,55 d	8,20 f
Açaí	16,85 d	9,77 e	8,81 f
FN ₄	18,62 c	12,85 c	10,09 e
Reflorestamento	10,63 e	9,87 e	8,42 f

FN₁= Floreta nativa 1; FN₂= Floreta nativa 2; FN₃= Floresta nativa 3; FN₄= Floresta nativa 4; P= fósforo; CO= Carbono orgânico. Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott ($p < 0,05$).

Valores baixos de pH são comuns em solos da região sul do Amazonas, como mostra os trabalhos de Campos et al. (2012), Mantovanelli et al. (2015) e Aquino et al. (2016), que encontraram valores de pH abaixo de 5, o que caracteriza acidez aos solos desta região. Nesse sentido, segundo Reis et al. (2009) a principal causa dos baixos valores de pH nos solos da região amazônica é a elevada perda de bases trocáveis e consequente concentração de íons H⁺ ao solo, provocada pelo processo

de intemperismo influenciado pelas altas temperaturas e longos períodos de precipitação.

Segundo Mantovanelli et al. (2015), em campos naturais, que são ambientes nativos da região sul do Amazonas, a baixa fertilidade desses solos em relação ao pH, pode ser justificada pela ocorrência de queimadas periódicas durante o período seco do ano, sendo que tal ocorrência influencia diretamente na perda de nutrientes e matéria orgânica por lixiviação, devido à não cobertura do solo.

No que diz respeito ao P, houve diferença significativa entre as médias dos ambientes nas camadas de 0,00-0,05 e 0,05-0,10 m, observou-se que na camada mais superficial (0,00-0,05) os ambientes FN₂ e reflorestamento apresentaram valores significativamente inferiores aos demais, já na camada de 0,05-0,10 m os ambientes pastagem, agrofloresta e mandioca foram superiores estatisticamente em relação aos demais, com 4,18, 3,73 e 4,17 mg dm⁻³ de P, respectivamente (Tabela 2). De forma geral, nota-se uma diminuição do teor de P a medida em que aumenta a profundidade, confirmando a característica deste nutriente em ser pouco móvel no solo.

Na maioria dos solos da região amazônica, exceto áreas de terra preta de índio, os teores de P geralmente são muito baixos, como mostra os estudos de Campos et al. (2010) e Campos et al. (2012). Entretanto, em seu estudo Oliveira et al. (2015) encontraram valores de P elevados para os padrões amazônicos, em áreas de floresta (6,09 mg dm⁻³) e agrofloresta (8,19 mg dm⁻³) na camada de 0,00-0,10 m, valores estes acima dos encontrados no presente estudo (Tabela 2).

O ambiente com mandioca apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) em relação ao seu testemunho (FN₂), nas camadas de 0,00-0,05 e 0,05-0,10 m, tendo valores de P superiores. De forma contrária, o ambiente de reflorestamento obteve valor de P inferior ao de seu testemunho (FN₄), na camada de 0,00-0,05 m, diferenciando estatisticamente (Tabela 2). O maior valor de P no ambiente com mandioca, em relação à FN₂, pode ser explicado devido antes de cada plantio ser realizada a gradagem da área, incorporando material orgânico no solo, que consequentemente favorece o aumento de nutrientes, como o P.

Com relação ao CO, observa-se que nas camadas de 0,00-0,05 e 0,05-0,10 m, o ambiente de agrofloresta apresentou média com diferença significativa, sendo superior em relação aos demais ambientes, já na camada de 0,10-0,20 o ambiente com pastagem obteve maior média de CO (Tabela 2). Por outro lado, o ambiente de reflorestamento apresentou baixos valores de CO em todas as camadas de solo. Altos

teores de CO nas camadas superficiais do ambiente com agrofloresta, pode está associado à grande variedade de espécies florestais e frutíferas na área, que favorecem a maior cobertura vegetal. Cunha et al. (2017), avaliando os atributos físicos e estoque de carbono do solo em áreas de terra preta, também atribuíram os maiores valores de CO à elevada concentração de cobertura vegetal em área de feijão guandu.

Observou-se o decréscimo do teor de CO com o aumento da profundidade em todas os ambientes, fato este também observado por Bezerra et al. (2013) e Mantovanelli et al. (2015), onde atribuem este padrão em função da maior deposição de matéria orgânica em superfície, que é intensificada devido ao aporte de resíduos vegetais mais lignificados em comparação as plantas cultivadas e, também, devido à ausência de influência antrópica.

Na comparação dos ambientes em usos antrópicos com seus respectivos testemunhos, percebe-se que houve diferenças significativas ($p < 0,05$) no CO em pastagem e mandioca somente na camada de 0,10-0,20 m, em agrofloresta nas camadas de 0,00-0,05 e 0,05-0,10 m, em açaí na camada de 0,05-0,10 m e em reflorestamento nas três camadas. Verificou-se que os ambientes antropizados, na maioria dos casos, apresentaram médias superiores estatisticamente em relação aos seus testemunhos, exceto para açaí na camada de 0,05-0,10 m, que tem como testemunho a FN₃, e para reflorestamento em todas as camadas, tendo como testemunho a FN₄ (Tabela 2). Resultados estes que não corroboram totalmente com o trabalho de Loss et al. (2015), onde encontraram maiores teores de CO em área de mata nativa.

O Al³⁺ apresentou valores elevados em todos os ambientes, nas três camadas estudadas (Tabela 3), de acordo com o guia prático para interpretação de resultados de análise de solos (SOBRAL et al., 2015), sendo isto não desejável para o bom desenvolvimento das culturas. Houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre os ambientes em todas as camadas, observou-se que o ambiente FN₄ obteve os maiores valores de Al³⁺ enquanto o ambiente com açaí na profundidade de 0,00-0,05 apresentou o menor teor (1,35 cmol_c dm⁻³), acompanhando as variações de pH. Valores baixos de Al³⁺ no ambiente com açaí, principalmente na camada superficial, pode ser atribuído à correção do solo realizada na área cultivada, afim de melhorar a qualidade química do solo. Corroborando, Mantovanelli et al. (2015) afirmam que a diminuição do alumínio trocável em ambientes manejados decorre, principalmente,

dos efeitos da calagem, os quais contribuem para a neutralização desse elemento no solo.

Tabela 3. Teste de médias para Al^{3+} , H+Al e m%, nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, em ambientes naturais e antropizados no município de Humaitá-AM.

Ambientes	Camadas (m)		
	0,00 - 0,05	0,05 - 0,10	0,10 - 0,20
----- Al^{3+} (cmol _c dm ⁻³) -----			
Pastagem	4,80 c	6,90 a	6,65 a
FN ₁	7,58 b	8,18 a	7,70 a
Agrofloresta	7,53 b	7,88 a	7,98 a
FN ₂	7,00 b	6,28 b	5,50 b
Mandioca	3,70 c	3,68 b	3,40 c
FN ₃	7,10 b	8,08 a	8,15 a
Açaí	1,35 d	5,03 b	5,88 b
FN ₄	8,93 a	9,03 a	8,00 a
Reflorestamento	2,15 d	4,73 b	6,13 b
----- H + Al (cmol _c dm ⁻³) -----			
Pastagem	16,38 a	15,39 a	13,33 a
FN ₁	4,58 c	3,96 c	4,25 d
Agrofloresta	6,31 c	6,11 c	4,75 d
FN ₂	7,84 c	5,41 c	3,30 d
Mandioca	6,23 c	7,55 b	4,38 d
FN ₃	5,16 c	4,87 c	5,08 d
Açaí	2,52 c	4,95 c	5,45 d
FN ₄	11,96 b	8,87 b	8,21 b
Reflorestamento	5,20 c	5,82 c	6,27 c
----- m (%) -----			
Pastagem	73,77 a	83,94 a	84,00 a
FN ₁	85,61 a	89,63 a	87,68 a
Agrofloresta	86,61 a	86,89 a	90,38 a
FN ₂	86,46 a	85,09 a	82,76 a
Mandioca	57,12 b	58,44 b	69,67 c
FN ₃	82,49 a	86,57 a	85,80 a
Açaí	21,38 c	66,75 b	75,30 b
FN ₄	90,92 a	91,03 a	89,90 a
Reflorestamento	50,60 b	73,59 b	79,40 b

FN₁= Floreta nativa 1; FN₂= Floreta nativa 2; FN₃= Floresta nativa 3; FN₄= Floresta nativa 4; Al^{3+} = Alumínio trocável; H+Al= Acidez potencial; m= Saturação por alumínio. Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott ($p < 0,05$).

Em seu estudo, Freitas et al. (2017), avaliando a qualidade física e química do solo sob diferentes sistemas de manejo, no município de Guariba-SP, também encontraram maiores valores de Al^{3+} em área de vegetação nativa e menores valores

em área cultivada, atribuindo isto à realização de correções químicas do solo nos ambientes cultivados, repondo os nutrientes exportados pela produção e/ou, perdidos pela erosão e lixiviação.

Comparando os ambientes antropizados com seus respectivos testemunhos, verificou-se que apenas para os ambientes de pastagem, nas camadas de 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, agrofloresta em todas as camadas e mandioca na camada de 0,05-0,10 m, não houve diferença significativa entre as médias de Al^{3+} (Tabela 3). Segundo Mantovanelli et al. (2016), em ambientes amazônicos, como os campos naturais, os altos teores de Al trocável pode ser um indicador do efeito do baixo aporte e produção de compostos orgânicos nesse ambiente, que não apresenta capacidade de complexação do Al. Complementando, Sobral et al. (2015) afirmam que a presença de alumínio no solo pode inibir o crescimento radicular e influenciar na disponibilidade de outros nutrientes e processos como a mineralização da matéria orgânica.

O ambiente com pastagem apresentou maiores médias de H+Al, diferindo estatisticamente dos demais ambientes, em todas as camadas estudadas. Quanto aos ambientes com uso antrópico e seus testemunhos, houve diferença significativa entre pastagem e FN₁, em todas as camadas, entre mandioca e FN₂ na camada de 0,05-0,10 m e entre reflorestamento e FN₄ nas três camadas (Tabela 3).

No ambiente sob pastagem ocorre queimas recorrentes no período seco do ano, fato comum na região que os produtores usam para renovar as pastagens, no entanto este processo pode estar contribuindo para os valores elevados de H+Al neste ambiente, uma vez que, em seus trabalhos Heringer et al. (2002) e Matos et al. (2012), também encontraram maiores valores de acidez potencial em ambientes submetidos à queima.

Vale ressaltar que o uso do solo para fins agrícolas que reduzem a matéria orgânica e o processo de acidificação do solo, causado por muitos fatores, pode aumentar consideravelmente o H+Al, principalmente nas camadas mais profundas (MATOS et al., 2012). Nesse contexto, com o aumento da acidez potencial em profundidade há limitação na expansão do sistema radicular, dificultando assim o acesso a água e aos nutrientes que se encontram nas camadas mais profundas do solo (MANTOVANELLI et al., 2016).

Por outro lado, Cardoso et al. (2011), avaliando a qualidade física e química do solo sob vegetação nativa e pastagem, verificaram que a H+Al foi significativamente mais alta nos ambientes sem intervenção antrópica, sendo dominada pela presença

de íons H^+ e baixos teores de Al^{3+} . Sendo assim, Canellas et al. (2003) afirmam que a matéria orgânica do solo pode se constituir em uma importante fonte de acidez potencial nos solos tropicais.

Quanto à saturação por alumínio (m%), houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre os ambientes, em todas as camadas, apresentando comportamento similar ao Al^{3+} , com maiores valores observados no ambiente FN4. Verificou-se que apenas o ambiente com açaí, na camada de 0,00-0,05 m, apresentou valor bem abaixo (21,38%) dos outros ambientes, os demais valores variaram entre 50,60% e 91,03%, como pode ser observado, são valores considerados altos para este atributo, ou seja, não desejáveis. Não houve diferença significativa apenas entre os ambientes pastagem e agrofloresta em comparação com seu respectivo testemunho (FN1), em todas as camadas avaliadas (Tabela 3).

Valores semelhantes de saturação por alumínio foram encontrados por Campos et al. (2010) em uma topossequência de transição campos/floresta em Humaitá, AM, com os valores variando entre 81,4% e 90,5%, indicando uma baixa fertilidade destes solos. Nesse contexto Moreira e Fageria (2009) relataram que os solos do estado do Amazonas apresentam, em média, 76% de saturação por alumínio alta ou muito alta, sendo atribuído tal fato ao avançado estágio de intemperismo dos solos desta região.

Na Tabela 4 observa-se que os teores de K^+ apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) entre os ambientes, apenas na camada de 0,05-0,10 m, sendo o ambiente sob cultivo de mandioca, com valor superior aos demais (0,23 $cmol_c dm^{-3}$). O mesmo é observado quando comparados os ambientes antropizados e seus testemunhos, indicando que houve pouca influência do manejo em relação a este atributo, corroborando com Moline e Coutinho (2015). Entretanto, os valores de K^+ observados são inferiores aos encontrados por Aquino et al. (2014) e Oliveira et al. (2015) em solos da região sul do Amazonas. Baixos teores de K encontrados nos solos estudados, pode estar associado à fácil lixiviação deste elemento pela água da chuva (SILVA et al., 2011), que são comuns na região de estudo. Nesse sentido as condições pluviométricas do ambiente na coleta das amostras de solo, podem influenciar na determinação dos teores de K.

Em seu trabalho, Martins et al. (2015) observaram que em geral, os teores de K tendem a decrescer com o tempo de uso do solo para atividades agrícolas, dessa

forma, se faz necessária a reposição deste nutriente devido ter elevada exportação pelas culturas.

Tabela 4. Teste de médias para os teores de K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, em ambientes naturais e antropizados no município de Humaitá-AM.

Ambientes	Camadas (m)		
	0,00 - 0,05	0,05 - 0,10	0,10 - 0,20
----- K^+ (cmol _c dm ⁻³) -----			
Pastagem	0,15 a	0,08 b	0,06 a
FN ₁	0,09 a	0,05 b	0,03 a
Agrofloresta	0,06 a	0,04 b	0,03 a
FN ₂	0,10 a	0,07 b	0,06 a
Mandioca	0,21 a	0,23 a	0,15 a
FN ₃	0,08 a	0,04 b	0,03 a
Açaí	0,10 a	0,03 b	0,03 a
FN ₄	0,06 a	0,03 b	0,03 a
Reflorestamento	0,14 a	0,09 b	0,08 a
----- Ca^{2+} (cmol _c dm ⁻³) -----			
Pastagem	1,02 b	0,80 b	0,87 a
FN ₁	0,92 b	0,73 b	0,87 a
Agrofloresta	0,89 b	0,97 b	0,73 a
FN ₂	0,82 b	0,85 b	0,95 a
Mandioca	1,79 b	1,36 a	0,99 a
FN ₃	1,02 b	0,85 b	1,02 a
Açaí	3,30 a	1,68 a	1,39 a
FN ₄	0,68 b	0,75 b	0,80 a
Reflorestamento	0,33 b	1,21 a	1,19 a
----- Mg^{2+} (cmol _c dm ⁻³) -----			
Pastagem	0,51 c	0,41 b	0,33 a
FN ₁	0,25 c	0,17 b	0,19 b
Agrofloresta	0,20 c	0,15 b	0,10 b
FN ₂	0,18 c	0,16 b	0,16 b
Mandioca	0,93 b	0,88 a	0,32 a
FN ₃	0,40 c	0,32 b	0,28 a
Açaí	1,77 a	0,70 a	0,52 a
FN ₄	0,16 c	0,11 b	0,08 b
Reflorestamento	0,49 c	0,36 b	0,29 a

FN₁= Floreta nativa 1; FN₂= Floreta nativa 2; FN₃= Floresta nativa 3; FN₄= Floresta nativa 4; K^+ = Potássio trocável; Ca^{2+} = Cálcio trocável; Mg^{2+} = Magnésio trocável. Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott ($p < 0,05$).

Quanto ao Ca^{2+} , observou-se que na profundidade de 0,10-0,20 m não houve diferença significativa entre os ambientes e que na camada de 0,00-0,05 m, apenas o ambiente açaí obteve média superior estatisticamente aos demais (3,30 cmol_c dm⁻³) e

na camada de 0,05-0,10 m, os ambientes açai, mandioca e reflorestamento apresentaram médias superiores em relação aos demais ambientes, diferindo estatisticamente. Houve diferença significativa entre o ambiente açai com seu testemunho (FN₃), nas camadas de 0,00-0,05 e 0,05-0,10 m, e entre os ambientes mandioca e reflorestamento com seus respectivos testemunhos (FN₂ e FN₄), somente na camada de 0,05-0,10 m, sendo os ambientes testemunhos apresentando os menores valores de Ca²⁺ (Tabela 4).

Na maioria dos casos o teor de Ca²⁺ foi maior nos ambientes antropizados e menor nos ambientes com vegetação nativa, corroborando com Carneiro et al. (2009 a) que encontraram maiores teores Ca²⁺, Mg²⁺ e P em áreas manejadas, sendo dessa forma coerente, pois nos ambientes nativos não houve correção e adubação do solo e se trata de solo originalmente distróficos. Por outro lado, Jakelaitis et al. (2008) relatam a diminuição de Ca²⁺ e Mg²⁺ em decorrência da retirada da mata original para cultivo, justificado pelo mal manejo do solo e a remoção contínua das plantas, entre outros fatores.

O Mg²⁺ apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) entre os ambientes, em todas as camadas estudadas, tendo o ambiente cultivado com açai as maiores médias deste nutriente, já o ambiente FN₄ apresentou os menores valores nas três camadas. Quanto à comparação entre os ambientes antropizados com seus testemunhos, verificou-se que entre pastagem e FN₁, houve diferença significativa apenas na camada de 0,10-0,20 m, entre mandioca e FN₂, houve diferença significativa em todas as camadas, entre açai e FN₃, diferença significativa foi observada nas camadas de 0,00-0,05 e 0,05-0,10 m e entre reflorestamento e FN₄, houve diferença significativa somente na camada de 0,10-0,20 m (Tabela 4).

Pedrotti et al. (2015) e Santos et al. (2017), observaram em seus estudos que maior quantidade de Mg²⁺ estava disposta na camada mais profunda do solo, ao contrário do presente estudo, onde foi observado que os maiores teores de Mg²⁺ se concentraram na camada de 0,00-0,05 m. Porém, Melo et al. (2017) avaliando a qualidade química e biológica do solo em diferentes sistemas de uso em ambiente de savana, verificaram que a concentração do cátion Mg²⁺ apresentou redução dos valores com o aumento da profundidade. Nesse contexto, Costa et al. (2007) afirmam que a tendência é de que ocorra redução dos teores das bases trocáveis à medida que aumenta a profundidade do solo, uma vez que o efeito da calagem nessas regiões é menos intenso.

Na Tabela 5 são apresentados os valores de T, t e V%. Observou-se que, em todas as camadas, o ambiente sob pastagem obteve maiores valores de T, diferindo estatisticamente, muito em função dos elevados valores de H+Al para o mesmo ambiente, uma vez que a T representa a soma das bases (K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+}) com a H+Al. Houve diferença significativa entre os ambientes sob pastagem, em todas as camadas, mandioca na camada de 0,05-0,10 m, açaí na camada de 0,10-0,20 m e reflorestamento nas três camadas com seus respectivos ambientes testemunhos.

Segundo Ronquin (2010), se a CTC do solo está ocupada por cátions essenciais como Ca, Mg e K, pode-se considerar este um solo bom para a nutrição das plantas. Em compensação, se grande parte da CTC estiver ocupada por cátions potencialmente tóxicos como H^+ e Al, este será um solo pobre (PEREIRA e THOMAZ, 2015). Portanto, a CTC é uma característica química fundamental ao manejo adequado da fertilidade do solo (MARTINS et al., 2015).

Silva Júnior et al. (2012) destacam a conversão da mata nativa para áreas de pastagem e cultivo agrícola como fator de diminuição da T, que é influenciada pela acidez potencial do solo, no entanto, estes dados não corroboram com o presente estudo, uma vez que maior valor deste atributo foi encontrado em área de pastagem.

A CTC efetiva (t) apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) entre os ambientes estudados, para as três camadas, tendo os maiores valores observados para o ambiente FN₄, variando de 8,91 a 9,92 $cmol_c dm^{-3}$. Quanto aos ambientes antropizados em seus testemunhos, observou-se que não houve diferença significativa entre pastagem e FN₁ na camada de 0,05-0,10 m, entre agrofloresta e FN₁ em todas as camadas e entre mandioca e FN₂ na camada de 0,05-0,10 m, nas demais comparações as diferenças foram significativas (Tabela 5).

A t reflete a capacidade de troca de cátions efetiva do solo, ou seja, a capacidade do solo em reter cátions em seu pH natural (FERRAZ et al., 2017). De acordo com Alvarez et al. (1999), a maioria dos valores de t encontrados neste trabalho, variam entre bom e muito bom. Segundo Bortoluzzi et al. (2009), em solos tropicais e subtropicais, a matéria orgânica do solo é responsável por 75 a 90 % da CTC do solo.

A CTC é de grande importância no que diz respeito à fertilidade do solo, uma vez que indica a capacidade total de retenção de cátions, os quais, em geral, irão tornar-se disponíveis às plantas, assim, mesmo estando a V% abaixo de 50% a

quantidade de cátions retida está acima do mínimo recomendado para a maioria das culturas agrícolas (CARNEIRO et al., 2016).

Tabela 5. Teste de médias para T, t e V%, nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 de solo, em ambientes naturais e antropizados no município de Humaitá-AM.

Ambientes	Camadas (m)		
	0,00 - 0,05	0,05 - 0,10	0,10 - 0,20
----- T (cmol _c dm ⁻³) -----			
Pastagem	18,05 a	16,68 a	14,58 a
FN ₁	5,84 c	4,91 c	5,34 c
Agrofloresta	7,48 c	7,26 c	5,60 c
FN ₂	8,95 c	6,48 c	4,47 c
Mandioca	9,16 c	10,01 b	5,84 c
FN ₃	6,66 c	6,08 c	6,40 c
Açaí	7,69 c	7,35 c	7,37 b
FN ₄	12,86 b	9,77 b	9,11 b
Reflorestamento	7,17 c	7,48 c	7,83 b
----- t (cmol _c dm ⁻³) -----			
Pastagem	6,47 b	8,19 a	7,91 b
FN ₁	8,84 a	9,13 a	8,80 a
Agrofloresta	8,69 a	9,03 a	8,83 a
FN ₂	8,12 a	7,36 b	6,67 c
Mandioca	6,63 b	6,14 b	4,87 d
FN ₃	8,60 a	9,29 a	9,48 a
Açaí	6,51 b	7,43 b	7,80 b
FN ₄	9,82 a	9,92 a	8,91 a
Reflorestamento	4,12 c	6,39	7,68 b
----- V (%) -----			
Pastagem	9,48 c	7,87 b	8,55 b
FN ₁	22,74 b	22,31 a	20,38 a
Agrofloresta	15,60 c	15,81 b	14,99 b
FN ₂	12,42 c	17,18 b	26,91 a
Mandioca	33,35 b	26,49 a	26,21 a
FN ₃	23,66 b	20,75 a	20,72 a
Açaí	70,87 a	33,51 a	27,32 a
FN ₄	7,07 c	9,11 b	9,78 b
Reflorestamento	27,52 b	22,45 a	19,94 a

FN₁= Floreta nativa 1; FN₂= Floreta nativa 2; FN₃= Floresta nativa 3; FN₄= Floresta nativa 4; T= CTC potencial; t= CTC efetiva; V= saturação por bases. Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott ($p < 0,05$).

Por sua vez, a saturação por bases (V%) também apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) entre os ambientes, em todas as camadas estudadas. Com exceção do ambiente açaí, na camada de 0,00-0,05 m, todos os ambientes

apresentaram valores de V% com caráter distrófico, ou seja, abaixo de 50% (Tabela 5), resultados semelhantes foram encontrados por Santos et al. (2012) em solos de uma topossequência no município de Humaitá-AM. Na camada 0,00-0,05 m, o ambiente cultivado com açaí apresentou valor de $V=70,87\%$, indicando que a correção e constantes adubações do solo, favoreceram ao aumento das bases trocáveis no solo.

Os menores valores foram observados nos ambientes pastagem e FN₄, não chegando a atingir 10%. Comparando os ambientes com intervenção antrópica e seus testemunhos, observou-se que não houve diferença significativa, apenas entre os ambientes mandioca e FN₂, na camada de 0,10-0,20 m, e entre os ambientes açaí e FN₃, nas camadas de 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m (Tabela 5).

A saturação por bases é um atributo importante quando se deseja verificar a qualidade química do solo, uma vez que, segundo Matiello et al. (2010), a fertilidade do solo é expressa pela V%. Dessa forma, é recomendado o manejo adequado solo, afim de aumentar os valores deste atributo, favorecendo o adequado crescimento das plantas.

6.2 Análises multivariadas

A relação de variabilidade acumulada para os atributos químicos estudados nos diferentes ambientes explicou entre 59% a 72% da variância extraível nas diferentes profundidades avaliadas (Tabela 6), conforme Hair et al. (2005) o acúmulo de 70% da variância total pode representar graficamente o poder discriminante dos atributos do solo e contribuição de cada variável na variância total. Desta forma a camada de 0,10-0,20 m, nas condições dos solos estudado, em diferentes ambientes, pode não representar as propriedades químicas para fins de fertilidade do solo.

Conforme o padrão de variabilidade a partir das componentes principais, a camada de 0,00-0,05 m correspondeu com 70% da variabilidade acumulada nas componentes principais 1 e 2, com destaque para T (34%), H+Al (26%) e P (18%), na camada de 0,05-0,10 m houve acúmulo de 72%, sendo T (29%), H+Al (29%) e P (18%) e na camada de 0,10-0,20 m correspondendo com 59%, sendo T (30%), H+Al (29%) e P (13%) conforme apresentado na Tabela 6. Oliveira et al. (2017) estudando atributos químicos em sistemas de cultivo no Sul do Amazonas, encontraram variabilidade acumulada entre 83% para a camada de 0,00-0,10 m e 74% para

camada de 0,10-0,20 m, contextualizando desta forma o efeito de redução na variabilidade em profundidade.

Tabela 6. Contribuição das componentes principais dos atributos químicos em diferentes ambientes no município de Humaitá, AM.

Variáveis	0,00-0,05 m		0,05-0,10 m		0,10-0,20 m	
	PC1	PC2	PC1	PC2	PC1	PC2
pH em água	10,093	1,100	10,305	0,053	9,880	1,701
P	0,142	17,980	0,912	17,332	0,261	12,381
CO	2,852	7,945	0,019	9,184	1,496	7,353
Al ³⁺	11,037	0,001	12,337	0,003	11,976	0,969
H+Al	4,690	22,025	0,261	29,149	2,881	27,864
K ⁺	3,532	9,647	7,948	3,540	4,596	2,586
Ca ²⁺	12,053	1,232	11,083	0,750	7,932	0,111
Mg ²⁺	12,221	2,976	12,165	0,977	8,774	5,073
SB	12,560	2,209	13,695	0,033	12,412	1,979
T	1,180	33,065	0,049	29,124	1,392	29,676
t	3,821	1,299	8,137	0,024	7,380	0,436
V	12,383	0,188	8,356	9,819	13,435	8,081
m	13,436	0,333	14,733	0,012	17,586	1,789
Variabilidade acumulada (%)	70,12		72,47		59,81	

Segundo Mardia et al. (1992) a utilização de um número de fatores que reflita pelo menos 70% da variabilidade das variáveis originais é adequada. Esta margem é respeitada por diversos autores como, Melo e Silva (2014), Paye et al. (2012). Após a escolha do número de fatores a serem utilizados, prosseguiu-se com a obtenção das cargas fatoriais e a rotação dos fatores, apresentada na Tabela 6. As cargas fatoriais em negrito denotam aquelas que mais influenciam em determinado fator, para a situação do presente estudo os fatores 1 e 2 foram os que apresentaram as maiores cargas correspondentes.

Por meio da Tabela 7 observa-se que nas diferentes camadas avaliadas para os ambientes estudados, os mesmos apresentam diferentes cargas fatoriais. Nas camadas de 0,00-0,05 m e 0,05-0,10 m os Fatores 1 e 2 apresentaram cargas fatoriais mais altas nos atributos pH, P, Al³⁺, H+Al, K⁺, Ca²⁺, Mg⁺, SB, t, V% e m%, denominado como os fatores que descrevem a disponibilidade de nutrientes. Frade et al. (2015) encontraram resultados semelhantes estudando atributos físico-químicos por métodos multivariados, destacando assim o efeito de variáveis mais relacionadas com

a química dos coloides do solo, apresentando relação direta com as variáveis descritas acima a partir das cargas fatoriais.

Tabela 7. Cargas fatoriais extraídas por componentes principais, em ambientes naturais e antropizados no município de Humaitá, AM.

Variáveis	0,00-0,05 m		0,05-0,10 m		0,10-0,20 m	
	PC1	PC2	PC1	PC2	PC1	PC2
pH	-0,842*	0,152	-0,821*	0,039	-0,708*	0,214
P	0,100	0,613	-0,244	0,707*	0,115	0,578
CO	0,448	0,407	0,035	0,515	0,276	0,446
Al ³⁺	0,881*	-0,004	0,898*	0,009	0,780*	-0,162
H+Al	0,574	0,678	0,131	0,917*	0,382	0,868*
K ⁺	-0,498	0,449	-0,721*	0,320	-0,483	0,264
Ca ²⁺	-0,920*	0,160	-0,851*	-0,147	-0,634	0,055
Mg ²⁺	-0,927*	0,249	-0,892*	0,168	-0,667	0,370
SB	-0,940*	0,215	-0,946*	0,031	-0,794*	0,231
T	0,288	0,831*	-0,056	0,917*	0,266	0,895*
t	0,518	0,165	0,729*	0,026	0,612	-0,109
V%	-0,933*	-0,063	-0,739*	-0,532	-0,826*	-0,467
m%	0,972*	-0,083	0,981*	-0,019	0,945*	-0,220

CO = Carbono orgânico; Al³⁺ = Alumínio trocável; H+Al = Acidez potencial; SB = Soma de bases; T = CTC potencial; t = CTC efetiva; V = Saturação por bases; m = Saturação por alumínio. * = significativos

O CO nas condições do presente estudo não foi considerado como variável química correspondente que contribui diretamente para a qualidade do solo. Em sistemas de cultivos amazônicos a perda da matéria orgânica, associada a degradação dos solos, principalmente a compactação e o acelerado processo de intemperismo, favorece ao baixo aporte de matéria orgânica (MO) e consequentemente redução dos níveis de CO. Em função dos usos de pastagem, mandioca e açaí em que ocorre o baixo aporte de MO e os solos apresentam maior susceptibilidade a degradação, este é um fator que pode auxiliar na condição de não contribuição da variável CO nas cargas fatoriais. Mantovanelli et al. (2015) estudando o efeito do manejo nos atributos do solo, encontraram relação inversa do CO com manejos que desgastam a composição química do solo, desta forma tais manejos devem ser monitorados como critério de manutenção do CO.

A representação gráfica biplot (entre CP1 e CP2) (Figura 2) permitiu caracterizar as variáveis químicas que mais discriminaram na formação dos agrupamentos dos respectivos manejos estudados. Nesta condição, observa-se que as profundidades avaliadas apresentam diferentes padrões de relação com os

sistemas estudados, indicando assim inicialmente a ampla variabilidade que existe nestes ambientes. Freitas et al. (2014), Freitas et al. (2015b), Oliveira et al. (2015) e Mantovanelli et al. (2015) encontraram diferentes padrões de associação entre grupos de variáveis associadas ao manejo adotado em áreas de reflorestamento, mata nativa e cana-de-açúcar, indicando assim que apesar da similaridade no material de origem, os manejos adotados influenciam de forma generalizada nos atributos químicos.

A partir da Figura 2A e 2B caracterizada pela camada de 0,00-0,05 m e 0,05-0,10 m respectivamente, observa-se a formação de dois grupos específicos, sendo caracterizado pelo grupo I os ambientes de FN₁, FN₂, FN₃, FN₄, pastagem e agrofloresta, os quais estão relacionados com as variáveis químicas H+Al, Al³⁺, m%, CO e P. O grupo II é formado pelos ambientes de açai, mandioca e reflorestamento, tendo relação direta os atributos K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, SB, V% e pH. Conforme o pressuposto de haver uma relação inversa entre o uso de um solo e uma adequada qualidade desse solo, esperava-se encontrar melhores índices químicos do solo na mata do que nos demais ambientes. Esta condição também foi verificada por Freitas et al. (2014), o qual associou aos scores das cargas fatoriais e peso de contribuição das variáveis estudadas.

A maior relação com o CO pode estar relacionada com o fato de se encontrar associada diretamente com a não interferência antrópica, sem o uso de implementos agrícolas e de tratamentos culturais, não degradando a estabilidade dos agregados do solo (MORAIS et al., 2012; FREITAS et al., 2014). Conforme observado nas Figuras 2A, 2B e 2C o sistema de pastagem sempre apresentou relação direta com os teores de CO, a pastagem oferece uma cobertura permanente e uma alta distribuição radicular, minimizando os efeitos das intempéries climáticas, contribuindo para o aumento gradativo do CO (CARNEIRO et al., 2009b).

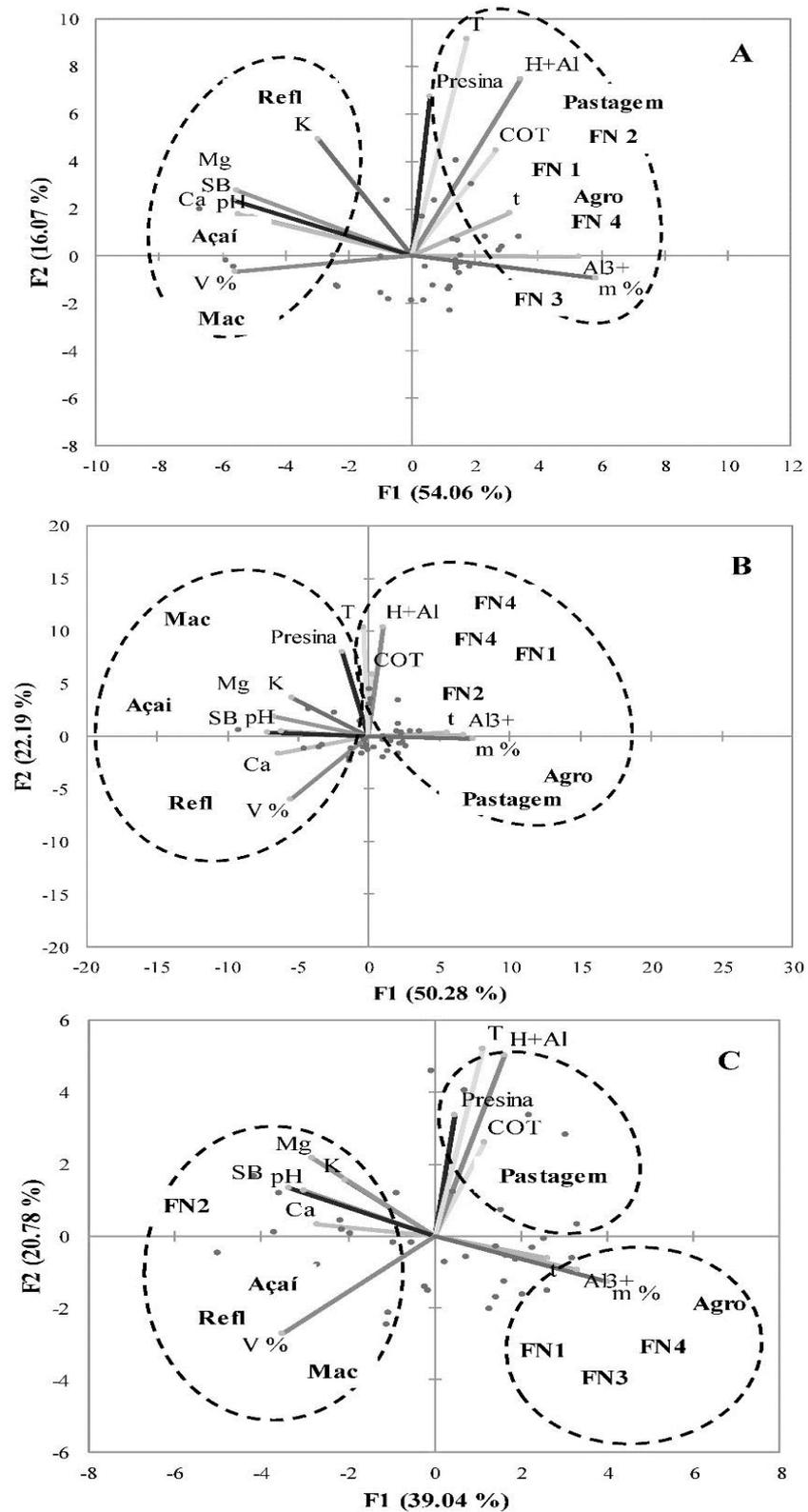


Figura 2. Análise de componentes principais de atributos químicos do solo em ambientes naturais e antropizados em Humaitá, AM. A = Camada de 0,00-0,05 m; B = Camada de 0,05-0,10 m; C = Camada de 0,10-0,20 m.

Os efeitos de relação de Al^{3+} , H+Al e m em ambientes nativos é uma característica marcante dos solos amazônicos, fator este que está associado ao intemperismo acelerado e em consequência da maior lixiviação das bases promovida pelo intenso regime hídrico na região. A maior relação de acidez potencial (H+Al) com a floresta nativa é em função da decomposição da MO, o que leva à liberação de compostos orgânicos, favorecendo a formação de complexos orgânicos hidrossolúveis entre Ca^{2+} e Mg^{2+} com ligantes orgânicos (MIYAZAWA et al., 1993), facilitando a descida desses cátions no perfil do solo (FRANCHINI et al., 1999), o que ocasiona a acidificação do solo, esta condição fica evidente a partir da Figura 2C em que a FN₂ apresenta relações diretas com bases trocáveis do solo, indicando assim o padrão diferenciado entre as florestas nativas estudadas na presente pesquisa.

Os altos teores de Al^{3+} são previstos em solos sob vegetação nativa que sustenta a vegetação altamente adaptada ao efeito tóxico do Al^{3+} (SOARES et al., 2011). Como observado para as variações de pH, os teores de Al^{3+} são menores nos ambientes cultivados em função do efeito das práticas corretivas. Estudando o efeito da acidez trocável (Al^{3+}) em campo nativo, Mantovanelli et al. (2016) também encontraram o efeito tóxico do alumínio e maior associação, evidenciando assim a maior complexação deste elemento em ambientes amazônicos em função do processo de intemperismo. Nos ambientes de pastagem e agrofloresta, observa-se ainda a relação com os componentes de acidez do solo, indicando assim os efeitos de desgaste destes manejos em função da degradação, exercida pela maior capacidade e exploração de usos destes solos.

No ambiente sob reflorestamento, observam-se valores inversos aos demais, no qual houve maior relação deste sistema com as bases trocáveis, fortalecendo assim o fato de que este ambiente, encontra-se em estágio de recuperação de suas propriedades químicas (Figura 2A e 2B). Observa-se grande aproximação com os ambientes cultivados com açaí e mandioca, justificando que as alterações de seus atributos se devem ao manejo do solo. Resultados semelhantes foram observados por Braz et al. (2013) e Freitas et al. (2015b), ao estudarem as alterações de floresta nativa e diferentes sistemas de cultivo do solo, observando efeito principal nas bases trocáveis Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ . Os ambientes sob açaí e mandioca, mesmo sendo cultivado com baixa carga de fertilizantes minerais, apresentaram relação com elementos derivados da fertilização como Ca^{2+} , Mg^{2+} , e pH, explicada pelas contínuas aplicações

de calcário e insumos que contribuíram para resultados mais elevados de bases, evidenciando assim como aqueles mais sensíveis a tais modificações.

A maior distinção entre os manejos estudados pode ser observada a partir da Figura 2C, no qual houve a formação de três grupos, sendo o Grupo I constituído pela pastagem havendo relação com CO e P, o Grupo II formado pela FN₁, FN₃, FN₄ e agrofloresta, atribuída às variáveis t, Al³⁺ e m e o Grupo III composto por FN₂, açai, reflorestamento e mandioca com as variáveis de Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, SB, pH e V. A partir destas evidencias, fica esclarecido que a camada de 0,10-0,20 m está mais propícia a não caracterizar as variações exercidas pelo manejo nas propriedades químicas dos solos estudados, pois a maior distinção de grupos com um menor conjunto de variáveis fica evidente a não contribuição na variabilidade exercida pelas cargas fatoriais (HAIR et al., 2005).

Estudos desenvolvidos por Freitas et al. (2015b), Oliveira et al. (2015) deixam evidente que em camadas mais profundas, entre 0,20-0,60 m, ocorre a maior separação dos grupos de manejos, tornando evidente a não necessidade de possível avaliação destas camadas em programas de monitoramento da fertilidade dos solos, oriundas de ambientes naturais e convertidos para sistemas de cultivos.

Na Tabela 7 é apresentada correlação de Pearson dos atributos químicos. Com relação ao m e Al³⁺, houve correlação com todos os pares, a exceção de m x P (0,076), m% x T (0,156), Al³⁺ x P (0,245) e Al³⁺ x P (0,108). O pH em água não se correlacionou com P (-0,061), CO (-0,188) e T (-0,161), entretanto estas correlações inversas são admitidas como muito baixas e insignificantes a mudanças destas propriedades em função do pH em água. Fica evidente a partir da correlação de Pearson a necessidade de monitoramento do Al³⁺ e m nos ambientes antropizados e os seus respectivos níveis em ambientes naturais, neste panorama a partir de um agrupamento geral dos sistemas de cultivo e atributos químicos, percebe-se a influência acentuada e inversa destes elementos no solo, principalmente quando se relaciona com as bases trocáveis (Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺).

Tabela 8. Correlação de Pearson de atributos químicos do solo em ambientes naturais e antropizados região Sul do Amazonas.

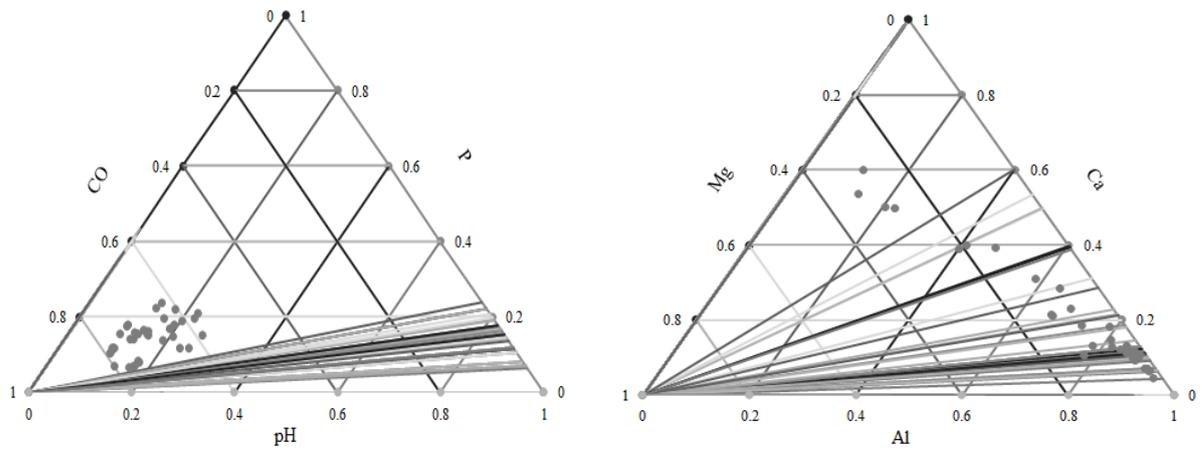
Variáveis	pH em água	P	CO	Al ³⁺	H+Al	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	T	t	V	m
pH em água	1	-0,061	-0,188	-0,714	-0,408	0,563	0,758	0,773	0,785	-0,161	-0,402	0,746	-0,762
P	-0,061	1	0,356	0,245	0,203	0,153	0,066	0,093	0,083	0,256	0,417	0,003	0,076
CO	-0,188	0,356	1	0,462	0,335	-0,168	-0,279	-0,273	-0,283	0,267	0,438	-0,328	0,449
Al ³⁺	-0,714	0,245	0,462	1	0,345	-0,459	-0,712	-0,744	-0,741	0,108	0,847	-0,698	0,913
H+Al	-0,408	0,203	0,335	0,345	1	-0,002	-0,479	-0,398	-0,444	0,943	0,143	-0,680	0,448
K ⁺	0,563	0,153	-0,168	-0,459	-0,002	1	0,368	0,460	0,449	0,164	-0,303	0,318	-0,485
Ca ²⁺	0,758	0,066	-0,279	-0,712	-0,479	0,368	1	0,946	0,989	-0,164	-0,236	0,923	-0,894
Mg ²⁺	0,773	0,093	-0,273	-0,744	-0,398	0,460	0,946	1	0,981	-0,077	-0,290	0,916	-0,915
SB	0,785	0,083	-0,283	-0,741	-0,444	0,449	0,989	0,981	1	-0,122	-0,270	0,928	-0,918
T	-0,161	0,256	0,267	0,108	0,943	0,164	-0,164	-0,077	-0,122	1	0,058	-0,409	0,156
t	-0,402	0,417	0,438	0,847	0,143	-0,303	-0,236	-0,290	-0,270	0,058	1	-0,266	0,581
V	0,746	0,003	-0,328	-0,698	-0,680	0,318	0,923	0,916	0,928	-0,409	-0,266	1	-0,884
m	-0,762	0,076	0,449	0,913	0,448	-0,485	-0,894	-0,915	-0,918	0,156	0,581	-0,884	1

CO = Carbono orgânico; Al³⁺ = Alumínio trocável; H+Al = Acidez potencial; SB = Soma de bases; T = CTC potencial; t = CTC efetiva; V = Saturação por bases; m = Saturação por alumínio. Valores em negrito indicam significância entre os atributos químicos avaliados.

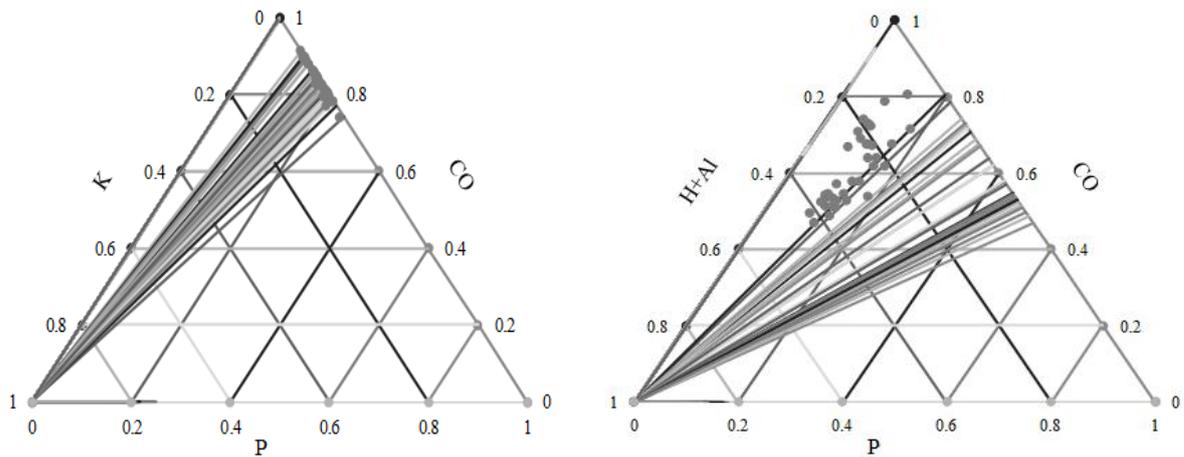
Os diagramas ternários do padrão de variabilidade dos atributos químicos (Figura 3) indicam a acentuada variabilidade de alguns atributos químicos mais representativos, evidenciando assim a necessidade de atenuação dos efeitos quando estes ambientes são convertidos de florestas nativas para sistemas de cultivos. Na profundidade de 0,00-0,05 m foram analisados o trio de variáveis CO x P x pH, nesta condição ficou evidente a necessidade de manutenção do CO para que ocorra a maior disponibilidade de P em superfície, sendo que o padrão de variabilidade se concentrou apenas envolvido entre o CO e pH em água. A relação Mg^{2+} x Ca^{2+} x Al^{3+} se mostrou contrária a primeira condição, indicando assim a acentuada dispersão existente entre estas variáveis químicas.

Na profundidade de 0,05-0,10 m o padrão de variabilidade se concentrou no trio de variáveis CO x P x K^+ e CO x P x H+Al, sendo que apenas nesta segunda relação a dispersão foi mais evidente, indicando assim que em subsuperfície ocorre maior variação destas variáveis. Em subsuperfície 0,10-0,20 m o monitoramento do pH em água e Al^{3+} é indispensável, visto que a variabilidade se concentra totalmente nestes atributos a partir da correlação dos trios de variáveis, sendo que a zona do sistema radicular das culturas em subsuperfície está totalmente fragilizada nestas condições do presente estudo. Apesar destes ambientes estarem sob condição de igualdade do material de origem, serem oriundos de sedimentos aluviais, o padrão de variabilidade é evidente entre os manejos adotados, indicando assim a total modificação exercida ao longo dos anos pelo uso do solo, evidenciando assim a sensibilidade de algumas propriedades químicas a tais modificações antrópicas.

Camada 0,00-0,05 m



Camada 0,05-0,10 m



Camada 0,10-0,20 m

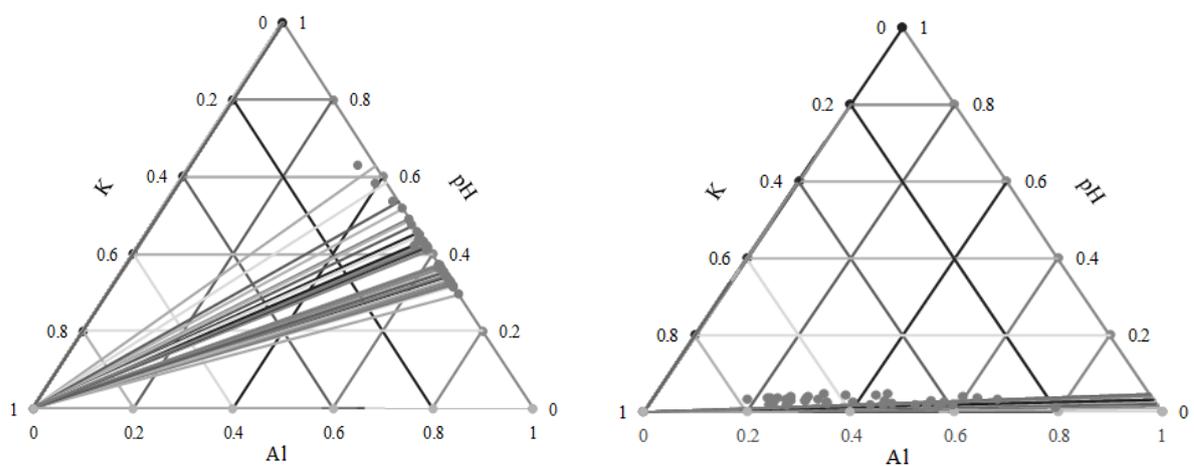


Figura 3. Diagramas ternários do padrão de variabilidade dos atributos químicos do solo em ambientes naturais e antropizados no município de Humaitá-AM.

7. CONCLUSÕES

Os ambientes antropizados cultivados com açaí e mandioca apresentaram melhores condições químicas do solo, logo melhor fertilidade.

Todos os ambientes apresentaram elevado índice de acidez do solo, com isso é necessário o monitoramento dos componentes de acidez, nos ambientes estudados.

A análise multivariada foi preponderante na distinção dos sistemas de cultivos estudados, bem como caracterização da relação com as propriedades químicas.

A partir dos diagramas ternários de variabilidade, foi possível relacionar o trio de variáveis que apresentam elevada variabilidade entre os ambientes estudados.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, A.; NEPSTAD, D.; MCGRATH, D.; MOUTINHO, P.; PACHECO, P.; DIAZ, M. D. C. V.; SOARES FILHO, B. **Desmatamento na Amazônia: indo além da “emergência crônica”**. Belém: Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, 2004.

ALVAREZ, V. H.; NOVAIS, R. F. de; BARROZ, N. F. de; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. (eds.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação**. Comissão de fertilidade do solo do Estado de Minas Gerais. Viçosa, MG, 1999. p. 25-32.

AQUINO, R. E. de; CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; OLIVEIRA, I. A. de; FRANCISCON, U.; SILVA, D. M. P. da; CUNHA, J. M. da. Chemical soil attributes evaluated by multivariate techniques and geostatistics in the area with agroforestry and sugarcane in Humaitá, AM, Brazil. **Bioscience Journal**, v. 32, n. 1, p. 61-72, 2016.

AQUINO, R. E. de; MARQUES JÚNIOR, J.; CAMPOS, M. C. C.; OLIVEIRA, I. A. de; SIQUEIRA, D. S. Distribuição espacial de atributos químicos de solo em área de pastagem e floresta. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 1, p. 32-41, 2014.

ARAÚJO, F. S.; SALVIANO, A. A. C.; LEITE, L. F. C.; SOUZA, Z. M.; SOUSA, A. C. M. Physical quality of a yellow Latossol under integrated crop-livestock system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, p. 717-723, 2010.

BENITES, V. M.; MOUTTA, R. O.; COUTINHO, H. L. C.; BALIEIRO, F. C. Análise discriminante de solos sob diferentes usos em área de mata atlântica a partir de atributos da matéria orgânica. **Revista Árvore**, v. 34, n. 4, p. 685-690, 2010.

BEZERRA, R. P. M., LOSS, A., PEREIRA, M. G., PERIN, A. Formas de carbono em Latossolo sob sistemas de plantio direto e integração lavoura-pecuária no cerrado, Goiás. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 6, p. 2637-2654, 2013.

BOGNOLA, I. A. DEDECEK, R. A.; LAVORANTI, O. J.; HIGA, A. R. Influência de propriedades físico-hídricas do solo no crescimento de *Pinus taeda*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 61, p. 37-49, 2010.

BORTOLUZZI, E. C.; RHEINHEIMER, D. S.; PETRY, C.; KAMINSKI, J. Contribuição de constituintes de solo à capacidade de troca de cátions obtida por diferentes métodos de extração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 507-515, 2009.

- BOTTEGA, E. L.; QUEIROZ, D. M de; PINTO, F. de A. C.; SOUZA, C. M. A. de. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no Cerrado brasileiro. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 44, n. 1, p. 1-9, 2013.
- BRANCO, S. B. C.; SALVIANO, A. A. C.; MATIAS, S. S. R.; MARQUES JÚNIOR, J.; SANTOS, H. L. Influência do relevo e erodibilidade nos atributos químicos em área degradada de Gilbués, PI. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 2, p. 324-330, 2013.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. 1978. **Projeto Radambrasil**, folha SB. 20, Purus. Rio de Janeiro, 1978. 561 p.
- BRAUN, E. H. G.; RAMOS, J. R. A. Estudo agroecológico dos campos Puciarí-Humaitá (Estado do Amazonas e Território Federal de Rondônia). **Revista Brasileira de Geografia**, v. 21, n. 4, p. 443-497, 1959.
- BRAZ, A. M. S.; FERNANDES, A. R.; ALLEONI, L. R. F. Soil attributes after the conversion from forest to pasture in Amazon. **Land Degradation & Development**. v. 24, p. 33–38, 2013.
- BURAK, D. L.; PASSOS, R. R.; SARNAGLIA, S. A. Utilização da análise multivariada na avaliação de parâmetros geomorfológicos e atributos físicos do solo. **Enciclopédia Biosfera**, v. 6, n. 9, p. 1-11, 2010.
- CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; FREITAS, E. V. S. Dependência espacial de atributos químicos em área cultivada com cana-de-açúcar em Pereira Barreto, SP. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 38, n. 4, p. 350-359, 2007a.
- CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; MONTANARI, R.; CAMARGO, L. A. Relações solo-paisagem em uma litossequência arenito-basalto na região de Pereira Barreto, SP. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 519-529, 2007b.
- CAMPOS, M. C. C. **Pedogeomorfologia aplicada a ambientes Amazônicos do Médio Rio Madeira**. 2009. 260f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009.
- CAMPOS, M. C. C.; RIBEIRO, M. R.; SOUZA JÚNIOR, V. S. de; RIBEIRO FILHO, M. R.; OLIVEIRA, I. A. de. Interferências dos pedoambientes nos atributos do solo em uma toposequência de transição Campo/Floresta. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 4, n. 4, p. 527-535, 2010.
- CAMPOS, M. C. C.; SANTOS, L. A. C. dos; SILVA, D. M. P. da; MANTOVANELLI, B. C.; SOARES, M. D. R. Caracterização física e química de terras pretas arqueológicas e de solos não antropogênicos na região de Manicoré, Amazonas. **Revista Agro@ambiente**, v. 6, n. 2, p. 102-109, 2012.
- CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X.; MARCIANO, C. R.; RAMALHO, J. F. G. P.; RUMJANEK, V. M.; REZENDE, C. E.; SANTOS, G. A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhicho e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 935-944, 2003.
- CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; FREITAS, D. A. F. Qualidade química e física do solo sob vegetação arbórea nativa e pastagens no

Pantanal sul-mato-grossense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 3, p. 613-622, 2011.

CARNEIRO, C. E. A.; MELÉM JÚNIOR, N. J.; AZEVEDO, M. C. B.; ANDRADE, E. A.; KOGUISHI, M. S.; DIEHL, R. C.; RICCE, W. S.; PASSARIN, A. L.; VAZ, R. H. M.; STELMACHUK, T. L. L.; GUIMARÃES, M. F.; RALISCH, R. Efeitos dos sistemas de manejo sobre o carbono orgânico total e carbono residual de um Latossolo Vermelho Eutroférico. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 30, p. 5-10, 2009b.

CARNEIRO, J. S. da S.; FARIA, A. J. G. de; FIDELIS, R. R.; SILVA NETO, S. P. da; SANTOS, A. C. dos; SILVA, R. R. da. Diagnóstico da variabilidade espacial e manejo da fertilidade do solo no cerrado. **Revista Scientia Agrária**, v. 17, n. 3, p. 35-49, 2016.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D. de; REIS, E. F. dos; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. de. 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, 2009a.

CHAVES, A. A. A.; LACERDA, M. P. C.; GOEDERT, W. J.; RAMOS, M. L. G.; KATO, E. Indicadores de qualidade de Latossolo Vermelho sob diferentes usos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 4, p. 446-454, 2012.

CORRÊA, R. M.; FREIRE, M. B. G. dos S.; FERREIRA, R. L. C.; FREIRE, F. J.; PESSOA, L. G. M.; MIRANDA, M. A.; MELO, D. V. M de. Atributos químicos de solos sob diferentes usos em perímetro irrigado no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 2, p. 305-314, 2009.

COSTA, M. J. da; ROSA JUNIOR, E. J.; ROSA, Y. B. C. J.; SOUZA, L. C. F. de; ROSA, C. B. Atributos químicos e físicos de um Latossolo sendo influenciados pelo manejo do solo e efeito da gessagem. **Acta Scientiarum: Agronomy**, v. 29, p. 701-708, 2007.

COSTA, N. A. da; CARVALHO, L. O. D. de M.; TEIXEIRA, L. B.; SIMÃO NETO, M. (Ed.). **Pastagens cultivadas na Amazônia**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2000. 151p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. 2001. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2.ed. rev. Viçosa: UFV, 2001, 390p.

CUNHA, J. M. da; GAIO, D. C.; CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; SILVA, D. M. P. da; LIMA, A. F. L. de. Atributos físicos e estoque de carbono do solo em áreas de Terra Preta Arqueológica da Amazônia. **Revista Ambiente & Água**, v. 12, n. 2, p. 263-281, 2017.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa em Agropecuária. 2011. **Manual de métodos de análise de solo**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro, 2011. 230p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa em Agropecuária. 2013. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 3.ed. revisada e ampliada. Brasília. 2013. 353p.

FERRAZ, G. A. e S.; SILVA, F. M. da; OLIVEIRA, M. S. de; SILVA, F. C. da; CARVALHO, L. C. C. Comparativo entre os atributos químicos do solo amostrados de forma convencional e em malha. **Coffee Science**, v. 12, n. 1, p. 17 - 29, 2017.

FRADE, D. D. R.; NAKAMURA, L. R.; RIGHETTO, A. J.; BAUTISTA, E. A. L.; OLINDA, R. A. Atributos Físico-Químicos de uma estação experimental por meio de métodos multivariados e espaciais. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 33, p. 184-196, 2015.

FRANCHINI, J. C.; MIYASAWA, M.; PAVAN, M. A.; MALAVOLTA, E. Dinâmica de íons em solo ácido lixiviado com extratos de resíduos de adubos verdes e soluções puras de ácidos orgânicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, p. 2267-2276, 1999.

FRAZÃO, L. A.; PÍCCOLO, M. C.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Propriedades químicas de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado matogrossense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 2, p. 641-648, 2008.

FREDDI, O. S.; FERRAUDO, A. S.; CENTURION, J. F. Análise multivariada na compactação de um Latossolo vermelho cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 953-961, 2008.

FREITAS, L. de; CASAGRANDE, J. C.; OLIVEIRA, I. A. de; CAMPOS, M. C; C.; SILVA, L. S. S. Técnicas multivariadas na avaliação de atributos de um Latossolo vermelho submetido a diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 10, n. 1, p. 17-26, 2015b.

FREITAS, L. de; CASAGRANDE, J. C.; OLIVEIRA, I. A. de; CAMPOS, M. C; C.; OLIVEIRA, V. M. R. de. Atributos químicos de Latossolo Vermelho submetido a diferentes manejos. **Floresta**, v. 45, n. 2, p. 229-240, 2015a.

FREITAS, L. de; OLIVEIRA, I. A. de; SILVA, L. S.; FRARE, J. C. V.; FILLA, V. A.; GOMES, R. P. Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Unimar Ciências**, v. 26, n. 1-2, p. 1-18, 2017.

FREITAS, L.; CASAGRANDE, J. OLIVEIRA, I. A.; SOUZA JÚNIOR, P. R.; CAMPOS, M. C. C. Análises multivariadas de atributos químicos do solo para caracterização de ambientes. **Revista Agro@ambiente**, v. 8, p. 155-164, 2014.

HAIR, J. R.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Análise multivariada de dados**. Porto Alegre, RS: Bookman, 2005.

HERINGER, I.; JACQUES, A. V. Á.; BISSANI, C. A.; TEDESCO, M. Características de um Latossolo vermelho sob pastagem natural sujeita a ação prolongada do fogo e de práticas alternativas de manejo. **Ciência Rural**, v. 32, n 2, p. 309-314, 2002.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A. A.; SANTOS, J. B.; VIVIAN, R. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 38, n. 2, p. 118-127, 2008.

KAISER, H. F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. **Psychometrika**, v. 23, p. 187-200, 1958.

KARA, Ö.; BOLAT, I. Soil microbial biomass C and N changes in relation to forest conversion in the northwestern Turkey. **Land Degradation & Development**, v. 19, n. 4, p. 421-428, 2008.

LEITE, L. F. C.; OLIVEIRA, F. C.; ARAÚJO, A. S. F.; GALVÃO, S. R. S.; LEMOS, J. O.; ELZANE, F. L.; SILVA, E. F. L. Soil organic carbon and biological indicators in an Acrisol under tillage systems and organic management in north-eastern Brazil. **Australian Journal of Soil Research**, v. 48, n. 3, p. 258-265, 2010a.

LEITE, L. F. C.; GALVÃO, S. R. S.; HOLANDA NETO, M. R.; ARAÚJO, F. S.; IWATA, B. F. Atributos químicos e estoques de carbono em Latossolo sob plantio direto no

cerrado do Piauí. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 12, p. 1273-1280, 2010b.

LOSS, A.; BASSO, A.; OLIVEIRA, B. S.; KOUCHER, L. de P.; OLIVEIRA, R. A. de; KURTZ, C.; LOVATO, P. M.; CURMI, P.; BRUNETTO, G.; COMIN, J. J. Carbono orgânico total e agregação do solo em sistema de plantio direto agroecológico e convencional de cebola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 1212-1224, 2015.

LOURENTE, E. R. P.; FÁBIO, M. M.; ALOVISI, A. M. T.; GOMES, C. F.; GASPARINI, A. S.; NUNES, C. M. Atributos microbiológicos, químicos e físicos de solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 1, p. 20-28, 2011.

LUIZÃO, F. J.; FEARNSIDE, P. M.; CERRI, C. E. P.; LEHMANN, J. The maintenance of soil fertility in Amazonian managed systems. p. 311-336. In: KELLER, M.; BUSTAMANTE, M.; GASH, J.; SILVA DIAS, P. (Eds.). **Amazonia and Global Change**. Geophysical Monograph Series, Volume 186. Washington, DC, U.S.A.: American Geophysical Union-AGU, 2008. 565 p.

MANTOVANELLI, B. C.; CAMPOS, M. C. C.; ALHO, L. C.; FRANCISCON, U. NASCIMENTO, M. F.; SANTOS, L. A. C. dos. Distribuição espacial dos componentes da acidez do solo em área de campo natural na região de Humaitá, Amazonas. **Revista de Ciências Agroambientais**, v. 14, n. 1, p. 01-09, 2016.

MANTOVANELLI, B. C.; SILVA, D. A. P. da; CAMPO, M. C.C.; GOMES, R. P. G.; SOARES, M. D. R.; SANTOS, L. A. C. dos. Avaliação dos atributos do solo sob diferentes usos na região de Humaitá, Amazonas. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 58, n. 2, p. 122-130, 2015.

MARCHIORI JÚNIOR, M.; MELO, W. J. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetido a diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 6, p. 1177-1182, 2000.

MARDIA, K. V.; KENT, J. T.; BIBBY, J. M. **Multivariate analysis**. London: Academic Press, 1992. 518 p.

MARQUES JÚNIOR, J. **Caracterização de áreas de manejo específico no contexto das relações solo-relevo**. Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 2009. 113p. Tese Livre-Docência.

MARTINS, E. C. A.; PELUZIO, J. M.; OLIVEIRA JUNIOR, W. P. de; TSAI, S. M.; NAVARRETE, A. A.; MORAIS, P. B. de. Alterações dos atributos físico-químicos da camada superficial do solo em resposta à agricultura com soja na várzea do Tocantins. **Biota Amazônia**, v. 5, n. 4, p. 56-62, 2015.

MATIELLO, J. B.; ALMEIDA, S.; GARCIA, A. W. R.; SANTINATO, R. **Cultura de café no Brasil- Manual de recomendações**. Rio de Janeiro: MAPA/ PROCAFÉ, 2010. 544 p.

MATOS, F. O.; CASTRO, R. M. S.; RUIVO, M. L. P.; MOURA, Q. L. Teores de nutrientes do solo sob sistema agroflorestal manejado com e sem queima no Estado do Pará. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 3, p. 257-266, 2012.

MELO, C. O.; SILVA, G. H. Desenvolvimento rural dos municípios da região sudeste paranaense: uma proposta de medida através da análise fatorial. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, v. 16, p. 33-45, 2014.

- MELO, V. F.; SCHAEFER, C. E. G. R. Matéria orgânica em solos desenvolvidos de rochas máficas no nordeste de Roraima. **Acta Amazonica**, v. 39, p. 53-60, 2009.
- MELO, V. F.; SILVA, D. T. da; EVALD, A.; ROCHA, P. R. R. Qualidade química e biológica do solo em diferentes sistemas de uso em ambiente de savana. **Revista Agro@ambiente**, v. 11, n. 2, p. 101-110, 2017.
- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A; CALEGARI, A. Efeito de material vegetal na acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 17, p. 411-416, 1993.
- MOLINE, E. F. da V.; COUTINHO, E. L. M. Atributos químicos de solos da Amazônia Ocidental após sucessão da mata nativa em áreas de cultivo. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 58, n. 1, p. 14-20, 2015.
- MORAIS, T. P. S.; PISSARRA, T. C. T.; REIS, F. C. Atributos físicos e matéria orgânica de um Argissolo Vermelho Amarelo em microbacia hidrográfica sob vegetação nativa, pastagem e cana-de-açúcar. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, p. 213-223, 2012.
- MOREIRA, A.; FAGERIA, N. K. Soil Chemical Attributes of Amazonas State, Brazil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 40, n. 17-18, p. 2912-2925, 2009.
- NASCIMENTO, P. C.; BAYER, C.; SILVA NETTO, L. de F. da; VIAN, A. C.; VIEIRO, F.; MACEDO, V. R. M.; MARCOLIN, É. Sistemas de manejo e a matéria orgânica de solo de várzea com cultivo de arroz. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1821-1827, 2009.
- OLIVEIRA, I. A. **Caracterização de solos sob diferentes ambientes na região Sul do Amazonas**. 2013. 105p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2013.
- OLIVEIRA, I. A. de; CAMPOS, M. C; C.; FREITAS, L. de; SOARES, M. D. R. Caracterização de solos sob diferentes usos na região sul do Amazonas. **Acta Amazonica**, v. 45, n. 1, p. 1-12, 2015.
- OLIVEIRA, I. A.; MARQUES JÚNIOR, J.; CAMPOS, M. C. C.; AQUINO, R. E.; FREITAS, L.; FERRAUDO, A. S. Multivariate technique for determination of soil pedoenvironmental indicators in Southern Amazonas. **Acta Scientiarum Agronomy**. v. 39, p. 100-108, 2017.
- PAYE, H. S.; MELLO, J. W. V.; MELO, S. B. Métodos de análise multivariada no estabelecimento de valores de referência de qualidade para elementos-traço em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1031-1041, 2012.
- PEDROTTI, A.; SILVA, T. O. da; ARAÚJO, E. M.; ARAÚJO FILHO, R. N. de; HOLANDA, F. S. R. Atributos químicos do solo modificados por diferentes sistemas de cultivo associados a culturas antecessoras ao cultivo do milho, nos Tabuleiros Costeiros. **Magistra**, v. 27, n. 3-4, p. 292-305, 2015.
- PEREIRA, A. A.; THOMAZ, E. L. Atributos químicos do solo em áreas sob diferentes sistemas de uso e manejo no município de Reserva – PR. **Caminhos de geografia**, v. 16, n. 55, p. 186-194, 2015.
- PIGNATARO NETTO, I. T.; KATO, E; GOEDERT, W. J. Atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho-amarelo sob pastagens com diferentes históricos de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 3, p. 1441-1448, 2009.

- QUESADA, C. A.; LLOYD, J.; ANDERSON, L. O.; FYLLAS, N. M.; SCHWARZ, M.; CZIMCZIK, C. I. Soils of Amazonia with particular reference to the Rain forest sites. *Biogeosciences Discussion*, v. 6, n. 2, p. 3851-3921, 2009.
- RAIJ, B. VAN.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade do solo**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas-IAC. 2001. 285p.
- 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*, v. 44, p. 310-319, 2009.
- REIS, M. S.; FERNANDES, A. R.; GRIMALDI, C.; DESJARDINS, T.; GRIMALDI, M. Características químicas dos solos de uma topossequência sob pastagem em uma frente pioneira da Amazônia Oriental. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 52, n. 1, p. 37-47, 2009.
- RESENDE, A. V.; COELHO, A. M. **Amostragem para o mapeamento e manejo da fertilidade do solo na abordagem de agricultura de precisão**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute-IPNI, setembro/2017. (Informações Agronômicas nº 159).
- RIVERO, S.; ALMEIDA, O.; ÁVILA, S.; OLIVEIRA, W. Pecuária e desmatamento: uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia. *Nova Economia*, v. 19, n. 1, p. 41-66, 2009.
- RONQUIN, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Embrapa monitoramento por satélite: Campinas, 2010. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 8).
- SÁ, I. B.; CUNHA, T. J. F.; TEIXEIRA, A. H. C.; ANGELOTTI, F.; DRUMOND, F. M. **Desertificação no Semiárido brasileiro**. ICID+18 2ª Conferência Internacional: Clima, Sustentabilidade e Desenvolvimento em Regiões Semiáridas, Fortaleza, 2010.
- SANTOS, L. A. C. dos; CAMPOS, M. C. C.; COSTA, H. S.; PEREIRA, A. R. Caracterização de solos em uma topossequência sob terraços aluviais na região do médio rio Madeira (AM). *Ambiência*, v. 8, n. 2, p. 319-331, 2012.
- SANTOS, O. F.; SOUZA, H. M.; OLIVEIRA, M. P.; CALDAS, M. B.; ROQUE, C. G. Propriedades químicas de Latossolo sob diferentes sistemas de manejo. *Revista de Agricultura Neotropical*, v. 4, n. 1, p. 36-42, 2017.
- SANTOS, V. B. **Atributos de solos sob cultivo de frutíferas em sistemas de manejo convencional, em transição e orgânico no norte do estado do Piauí**. 2010. 120f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2010.
- SILVA JÚNIOR, C. A.; BOECHAT, C. L.; CARVALHO, L. A. Atributos químicos do solo sob conversão de floresta amazônica para diferentes sistemas na região norte do Pará, Brasil. *Bioscience Journal*, v. 28, n. 4, p. 566-572, 2012.
- SILVA, A. M da; MORAES, M. L. T. de; BUZETTI, S. Propriedades químicas de solo sob reflorestamento ciliar após 20 anos de plantio em área de cerrado. *Revista Árvore*, v. 35, n. 1, p. 97-106, 2011.
- SILVA, F. de A. S. e.; AZEVEDO, C. A. V. de. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. *African Journal of Agricultural Research*, v. 11, n. 39, p. 3733-3740, 2016.

SILVA, M. O.; FREIRE, M. B. G dos S.; MENDES, A. M. S.; FREIRE, F. J.; CAMPOS, M. C. C.; AMORIM, L. B. Discriminação de diferentes classes de solos irrigados com águas salinas, na região de Mossoró (RN), com o uso de análise multivariada. **Ambiência**, v. 6 n. 2 p. 261-270, 2010a.

SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S.; XAVIER, A. C.; TEIXEIRA, M. M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo húmico cultivado com café. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 1, p. 15-22, 2010b.

SOARES, M. R.; CASAGRANDE, J. C.; OLIVEIRA, M. S.; MORAES, M. I. M. Nutrição mineral de espécies nativas em solos do Cerrado. In: BARBOSA, L. M. (Ed.). **Restauração ecológica - desafios atuais e futuros**. São Paulo: Instituto de Botânica; SMA, 2011. p. 147-154.

SOBRAL, L. F.; BARRETO, M. C. de V.; SILVA, A. J. da; ANJOS, J. L. dos. **Guia prático para interpretação de resultados de análises de solo**. Embrapa Tabuleiros Costeiros: Aracaju, 2015, 13 p. (Documentos, 206).

SOUZA, Z. M.; BARBIERI, D. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; CAMPOS, M. C. C. Influência da variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo na aplicação de insumos para cultura de cana-de-açúcar. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 2, p. 371-377, 2007.

SPERA, S. T.; DOS SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Integração lavoura e pecuária e os atributos físicos de solo manejado sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, p. 129-136, 2009.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, p. 1467-1476, 1988.