



Atributos de solos *in situ* e *ex situ* da Ilha de Germoplasma, uma reserva ambiental em Tucuruí (PA)

In situ and ex situ soil attributes of Germoplasm Island, an environmental reserve in Tucuruí, Brazil

Pablo Paulo Souza Neri¹, Karyme do Socorro de Souza Vilhena², Fábio José Bonfím Cardoso³, Géssica Cavalcante Zambrano⁴

RESUMO: A UHE Tucuruí está localizada na Bacia Tocantins-Araguaia e a partir do enchimento do reservatório formaram-se 1.100 ilhas. A Ilha de Germoplasma tem como intuito conservar a genética das espécies vegetais presentes na região. O objetivo desta pesquisa foi determinar os atributos físicos e químicos do solo e caracterizar a área *in situ* (PC03), plantio em sombreamento (QD18) e plantio a pleno sol (QD17) área *ex situ*, da Ilha de Germoplasma. Foram coletadas 60 subamostras no total nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm. Em seguida, as amostras foram preparadas e analisadas no laboratório de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará. Os resultados químicos e físicos dos solos foram submetidos ao teste estatístico Tukey a 5% de probabilidade, *Análise de Agrupamento Hierárquico* (HCA) e *Análise de Componentes Principais* (PCA). A PC03 apresentou as melhores condições dos atributos químicos e físicos. Foi observada similaridade entre as áreas PC03 (*in situ*) e QD18 (*ex situ*) plantio por sombreamento em relação à QD17, área de plantio a pleno sol (*ex situ*). Nesse sentido, o plantio QD18 proporciona melhores condições de qualidade do solo para a manutenção e desenvolvimento das espécies vegetais e reprodução de sementes.

Palavras-chave: Análise multivariada. Atributos químicos e físicos. Meio Ambiente. Solo. Usina hidrelétrica.

ABSTRACT: The Tucuruí HEP lies in the Tocantins-Araguaia basin, with the formation of 1100 islands after the filling of the reservoir. The Germoplasm Island would preserve the genetics of the vegetal species of the region. Current research determines the physical and chemical attributes of the soil and characterizes the *in situ* area (PC03), planting for shade (QD18) and planting directly under the sunlight (QD17) *ex situ* area of the Germoplasm Island. Sixty sub-samples were retrieved at depths 0-10 cm and 10-20 cm. Further, samples were prepared and analyzed at the Civil Engineering Laboratory of the Universidade Federal do Pará. Soil's chemical and physical results underwent Tukey's test at 5% probability, Hierarchic Cluster Analysis (HCA) and Principal Components Analysis (PCA). PC03 presented the best conditions for chemical and physical attributes. Similarity was reported between areas (*in situ*) PC03 and area (*ex situ*) QD18 planting for shade with regard to QD17 area (*ex situ*) planting under direct sunshine. QD18 provides the best quality conditions of soil for the maintenance and development of vegetal species and seed reproduction.

Keywords: Multivariate analysis. Chemical and physical attributes. Environment. Soil. Hydroelectric plant.

Autor correspondente:

Pablo Paulo Souza Neri: neriamazonia@gmail.com

Recebido em: 22/07/2020

Aceito em: 29/07/2021

¹ Mestre em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental (PEBGA) pela Universidade Federal do Pará (UFPA), Tucuruí (PA), Brasil.

² Doutora em Química de Produtos Naturais pela Universidade Federal do Pará. Docente Associada Nível II da Universidade Federal do Pará (UFPA), Tucuruí (PA), Brasil.

³ Doutor em físico-química pela Universidade Federal do Pará. Docente colaborador do Laboratório de Química Multidisciplinar do CAMTUC, Universidade Federal do Pará (UFPA), Tucuruí (PA), Brasil.

⁴ Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Pará (UFPA), Tucuruí (PA), Brasil.

INTRODUÇÃO

Com as propostas mundiais de utilização de fontes renováveis para geração de energia, a expansão dos projetos de construção de usinas hidrelétricas (UHE) tem como finalidade a geração de energia mais adequada às expectativas sociais de conservação ambiental para redução do processo de aquecimento global (FORNASIER; ROGERIO, 2018). Ansare *et al.* (2014) citam que a construção de usinas hidrelétricas no mundo está fundamentada no aumento da demanda por energia, e principalmente no desenvolvimento econômico e social, tais como o fornecimento de energia elétrica, controle de cheias dos rios e a criação de empregos.

A Usina Hidrelétrica de Tucuruí (UHE - Tucuruí) está localizada na Bacia Tocantins-Araguaia, que percorre 2.500 km de Sul a Norte, sua vazão média é de $10.950 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, em uma área de drenagem de 767.000 km^2 . A capacidade de geração de energia elétrica é de 8.545 megawatts, todavia atualmente produz 4.250 megawatts. Seu reservatório na cota máxima atinge a altura de 74,00 metros, com volume total de 50,7 bilhões de m^3 de água armazenada e uma extensão de $2,917 \text{ km}^2$ (ELETRONORTE, 2018).

A partir do enchimento do reservatório da barragem de Tucuruí formaram-se mais de 1.100 ilhas, habitadas por 6.500 pessoas, que baseiam sua fonte de renda no extrativismo vegetal e criação animal (PINTO, 2012). Essas ilhas são pouco ocupadas e são caracterizadas pelo uso moderado do solo, mantendo assim a vegetação preservada. No entanto, a vegetação nativa está sendo gradualmente substituída pela pecuária e lavoura (JATOBÁ, 2006).

Dentre essas ilhas encontra-se a Ilha de Germoplasma, que é uma área de preservação permanente (APP) e está localizada a 3 km da barragem de Tucuruí. Nela são preservadas cerca de 15.000 árvores de 46 espécies diferentes (ARAÚJO; ROCHA, 2008). A criação da Ilha de Germoplasma foi uma medida mitigatória para manutenção das licenças de instalação e operação para a UHE Tucuruí. Foram plantadas diferentes espécies de árvores coletadas na área que seria alagada, distribuídas em 28 parcelas de 2,4 ha. Essa área foi criada com objetivo de preservar e propagar as características genéticas das espécies vegetais presentes na região antes do enchimento do reservatório. (FEARNSIDE, 2015; LEÃO *et al.*, 2005).

A qualidade do solo é entendida como a capacidade de sustentar a produtividade biológica do ecossistema, mantendo o equilíbrio ambiental e promovendo a saúde de plantas e ou animais e do próprio ser humano (CRUZ *et al.*, 2018). Pode ser definida através das propriedades físicas, químicas e biológicas, as quais são indicadores importantes para quantificar as alterações provocadas pelos diferentes sistemas de manejo (MAIA *et al.*, 2013).

Para avaliação da qualidade do solo em uma área florestal é necessário obter indicadores suscetíveis às alterações mínimas do sistema de manejo, para que seja possível determinar os efeitos que cada atividade exerce no solo e, com isso, verificar a sustentabilidade da prática de manejo empregado nestas áreas (STOTT *et al.*, 2010). A recuperação ambiental não depende unicamente das taxas de desenvolvimento da vegetação, ela está diretamente relacionada

também ao monitoramento dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo (NOVAK *et al.*, 2017).

Dentre os fatores que influenciam os atributos químicos do solo, a matéria orgânica tem reflexos significativos na estabilidade dos ecossistemas (CARDOSO *et al.*, 2016). Isso se justifica devido à sua ligação com vários aspectos do ambiente, podendo ser impactada com facilidade pelos sistemas nela empregados, o aumento na matéria orgânica pode estar condicionado a uma melhora no transporte e armazenamento de nutrientes, por isso é um dos principais indicadores da qualidade do solo (COSTA; SILVA; RIBEIRO, 2013). Considerando o exposto acima, esta pesquisa tem como objetivo determinar os atributos do solo, em diferentes áreas localizadas *in situ* e *ex situ* na Ilha de Germoplasma, situada no lago da UHE de Tucuruí.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDOS

A Ilha de Germoplasma está localizada no reservatório da UHE-Tucuruí, Pará, posicionada geograficamente a 3°51'58,3''S e 49°38'25,8''W (BORGES; TAVARES; LISBOA, 2004). Sua área total tem aproximadamente 100 ha e está dividida em duas áreas de reserva ambiental. A área *ex situ* tem 22,6 ha de extensão e é subdividida em 29 quadras de tamanhos entre 0,4 ha e 4,0 ha; dessas, 12 quadras foram utilizadas para plantio na floresta (sob sombreamento) e 17 quadras onde foram plantadas cerca de 15.168 mudas sem sombreamento. A área *in situ* está subdividida em 14 parcelas e uma área total de aproximadamente 32 ha de floresta ombrófila (MESQUITA NETO, 2007).

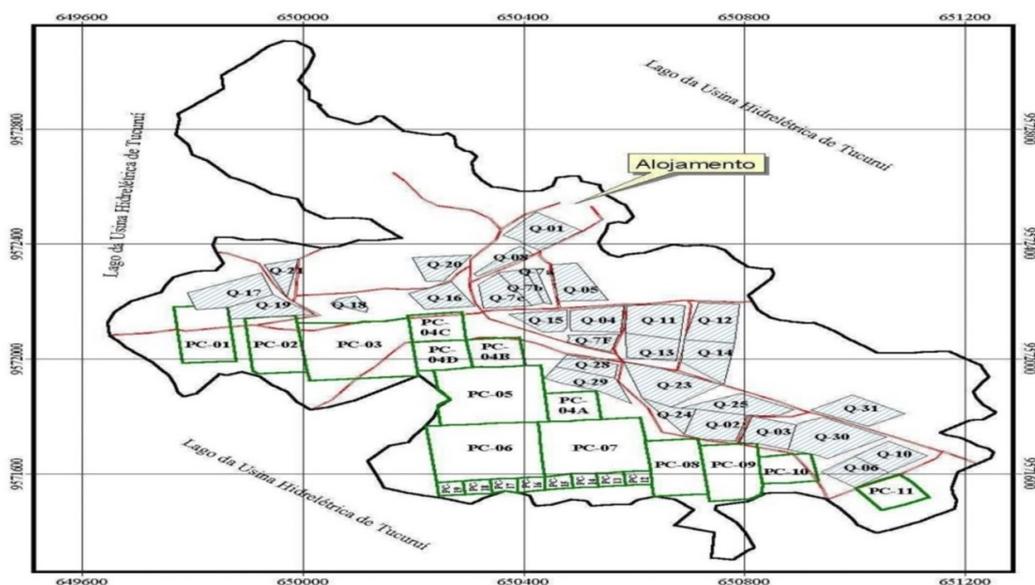


Figura 1. Quadras “*ex situ*” e parcelas “*in situ*” na Ilha de Germoplasma
Fonte: Adaptado de Mesquita Neto (2007)

A Parcela 3 (PC3) foi criada no ano de 2000 e apresenta 40.000 m² de extensão. Sua composição vegetal é formada por diversas espécies florestais, principalmente por Paricá (*Schizolobium amazonicum*) e Ucuúba (*Virola surinamensis*). As espécies presentes nessa parcela são bem desenvolvidas e seu arranjo bastante adensado. O solo da PC3 visualmente indica uma cor vermelho escuro, pavimento argiloso e completamente recoberto por uma camada de resíduos vegetais.

A Quadra 18 (Q18) foi criada no início de 1984, com uma área total de 5.000 m² de extensão. Sua composição vegetal é formada pelo plantio de Açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) no sombreamento da floresta natural preservada. Não houve qualquer preparo do solo para o plantio das espécies de açaí. Essa palmeira é bem desenvolvida e sua distribuição pouco adensada. Visualmente, o solo da Q18 apresenta uma coloração vermelho escuro, pavimento com presença de argila e areia e parcialmente recoberto por uma camada de resíduos vegetais.

A Quadra 17 (*ex situ*) é uma área com total de 10.000 m² de extensão. Sua composição vegetal é formada pelo plantio a pleno sol de Angelim amarelo (*Hymenolobium excelsum*) e Castanheira do Pará (*Bertholletia excelsa*). O Angelim amarelo e Castanheira do Pará são bem desenvolvidos e sua distribuição bem adensada. Para o plantio das espécies florestais houve o preparo do solo com calagem e adubação localizada, não foi informada a quantidade e nem o tipo de adubo e calagem utilizado. O solo apresenta coloração vermelho escuro, pavimento pedregoso e pouco recoberto por resíduos vegetais.

Os solos da região do lago da UHE de Tucuruí apresentam baixa fertilidade natural. As áreas de terra firmes apresentam características predominantes de Latossolos vermelho-amarelo e Latossolos amarelos nas terras firmes de textura média, são solos profundos, com boa permeabilidade e baixa retenção de água (RAMALHO *et al.*, 2014).

O clima, segundo a classificação de Köppen, é tropical úmido (amW) e sua principal característica são os elevados índices pluviométricos de 2.400 mm, distribuídos em duas estações bem definidas. Um período mais chuvoso vai de dezembro a maio e outro seco ocorre entre os meses de junho a novembro, com temperatura média de 26 °C e a umidade relativa do ar superior a 85% (ROSA-JÚNIOR *et al.*, 2015).

2.2 AMOSTRAGEM DO SOLO

Foram selecionadas três áreas para coletas de solo, na Ilha de Germoplasma, a área natural é representada pela PC03 (*in situ*), foi criada no ano de 2000 e apresenta 40.000 m² de extensão. Sua composição vegetal é formada por diversas espécies florestais, principalmente por Paricá (*Schizolobium amazonicum*) e Ucuúba (*Virola surinamensis*). A QD18 (*ex situ*) foi criada no início de 1984, com uma área total de 5.000 m² de extensão. E a composição vegetal é formada pelo plantio de Açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) no sombreamento da floresta natural preservada. A Q17 (*ex situ*) foi criada no ano de 1984 com uma área total de 10.000 m² de

extensão, sua composição vegetal é formada pelo plantio a pleno sol de Angelim amarelo (*Hymenolobium excelsum*) e Castanheira do Pará (*Bertholletia excelsa*).

A coleta de amostras de solo foi realizada no dia 23 de janeiro de 2019. Foram coletadas 60 subamostras deformadas, nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm. As subamostras foram coletadas considerando 1 ponto central e 9 pontos equidistantes. O comprimento dos pontos adjacentes para o ponto central foi medido com auxílio de trena, à distância máxima de 5 metros, seguindo a forma de circunferência para cada área e profundidade do solo (FONTINELE, 2017). As coordenadas geográficas dos pontos estudados foram registradas em GPS (Garmin etrex 20).

No campo, as subamostras foram coletadas com o auxílio do trado tipo caneco para amostras indeformadas e colocadas em recipientes plásticos identificados com os dados de cada área e profundidade para evitar contaminação das amostras. Em seguida, o solo foi homogeneizado e pesado e as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, identificadas, processadas e conduzidas para análises no Laboratório de Química do Campus Universitário de Tucuruí, segundo metodologia da Embrapa (2018).

2.3 ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS

As amostras foram espalhadas em uma lona preta para secagem ao ar, foram destorroadas manualmente e retirados os restos vegetais maiores como galhos, raízes e folhas. Após a secagem ao ar, o solo foi passado em peneira de abertura de 2 mm, o material passante foi acondicionado para proceder os ensaios. Os atributos físicos analisados foram: umidade em base gravimétrica, calhaus, cascalho, terra fina e condutividade elétrica. Dentre os atributos químicos foram determinados: cátions trocáveis (Al^{3+}), ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$), (Ca^{2+}) e (Mg^{2+}), acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$), ferro no extrato sulfúrico, potencial hidrogeniônico em (H_2O), (KCl) e (CaCl_2), matéria orgânica e carbono orgânico de acordo com as metodologias da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) (TEXEIRA *et al.*, 2017).

O cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e alumínio extraível (Al^{3+}) foram extraídos de 3 alíquotas de 25 mL da solução de 100 mL de solução de KCl 1 mol L⁻¹, $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ e Ca^{2+} foram titulados com solução padronizada de EDTA 0,0125 mol L⁻¹, o (Al^{3+}) foi titulado com solução padronizada de NaOH 0,0025 mol L⁻¹. A acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$) foi determinada através de 25 mL de solução sobrenadante de acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ a pH 7,0 com titulação com solução padronizada de NaOH 0,025 mol L⁻¹. O hidrogênio extraível (H^+) foi calculado a partir da diferença entre a acidez potencial e o alumínio trocável. O óxido de ferro (Fe_2O_3) foi obtido através do extrato sulfúrico titulado com solução de EDTA 0,01 mol.L⁻¹. O pH foi analisado nas seguintes soluções: água destilada, KCl a 1 mol L⁻¹ e CaCl_2 a 0,01 mol.L⁻¹ foram medidos por meio de eletrodo na amostra homogeneizada. O carbono orgânico foi determinado a partir da solução 10,00 mL de solução de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 0,0667 mol L⁻¹ e a titulação

foi realizada com solução de sulfato ferroso amoniacal 0,204 mol L⁻¹. A matéria orgânica foi analisada após retirada do solo e ser aquecida a uma temperatura de 600 °C durante 6 horas na mufla.

2.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Para a análise de variância foi elaborada a matriz de dados originais na qual as linhas correspondem às áreas estudadas (QD17, QD18 e PC03), com as suas respectivas profundidades (0-10 e 10-20 cm). Nas colunas, foram inseridos os atributos estudados: umidade gravimétrica, alumínio trocável, acidez potencial, H⁺, cálcio + magnésio, cálcio, magnésio, teor de óxido de ferro, pH em CaCl₂, H₂O, KCl delta pH, matéria orgânica e carbono orgânico. A análise estatística utilizada na pesquisa foi o teste Tukey com nível de confiança de 95% (REIS; PINTO; SOARES, 2016; CARDOSO, 2008).

A aplicação da análise estatística multivariada iniciou com a elaboração da matriz de dados originais. Nas linhas foram alocadas as amostras, QD17, QD18 e PC03, e nas colunas, as profundidades 0-10 e 10-20 cm. Nas colunas, foram colocadas as variáveis, alumínio, cálcio + magnésio, cálcio, magnésio, acidez potencial, hidrogênio extraível, óxidos de ferro, pH em H₂O, KCl, CaCl₂, carbono orgânico e matéria orgânica, formando então uma matriz de (6x13).

A matriz original foi pré-processada, admitindo-se que as variáveis têm igual importância e o método utilizado foi o autoescalamento, que consiste em, para a mesma variável (coluna), o valor original foi subtraído do valor médio e dividido pelo desvio padrão do conjunto de dados (NEVES *et al.*, 2016; GRANJA, 2018).

A partir da matriz de dados autoescalada (Tabela 1), foi aplicada a análise de agrupamentos hierárquicos (HCA), baseando-se na distância euclidiana calculada. Para isso, foi adotado o método *ward linkage* para verificar as similaridades entre as variáveis analisadas e as áreas estudadas. O resultado foi apresentado na forma de gráfico denominado dendrograma. A análise estatística multivariada foi desenvolvida no *software* Minitab 16.1.0 (2010).

Tabela 1. Matriz de dados padronizada ou autoescalada

Áreas	MO	CO	Fe ²⁺	pH			Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺ +Mg ²⁺	H ⁺	AP	
				H ₂ O	KCl	CaCl ₂	ΔpH						
Profundidade 0-10 cm													
QD18	-0,131	-0,327	-0,722	-1,275	-1,536	-1,412	1,022	1,117	-0,741	-0,774	-0,776	0,269	0,626
QD17	-0,836	-1,231	0,105	1,412	0,433	1,513	-1,400	-1,585	1,737	1,290	1,519	-1,019	-1,343
PC03	0,608	1,066	-0,838	-0,406	-0,118	-0,320	0,404	0,535	-0,085	0,201	0,077	1,698	1,418
Profundidade 10-20 cm													
QD18	1,388	0,345	0,601	-0,627	0,433	-0,451	0,754	0,277	-0,741	-1,290	-1,071	-0,858	-0,504
QD17	-1,368	-0,954	1,660	0,906	-0,591	0,640	-1,083	-0,812	0,571	0,946	0,798	-0,412	-0,609
PC03	0,339	1,101	-0,805	-0,011	1,379	0,029	0,303	0,468	-0,741	-0,373	-0,547	0,322	0,411

Fonte: Dados da pesquisa.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados das análises de calhaus, cascalho e terra fina estão contidos na Tabela 2. Constatou-se que, dentre os tamanhos granulométricos, o cascalho se apresenta em maior quantidade nas áreas da ilha de Germoplasma, independente da profundidade. De acordo com o IBGE (2015), solos com conteúdo de cascalho maior que 500 g/kg⁻¹ são classificados como muito cascalhento. Em solo com dominância de fração grosseira, por efeito do processo acelerado de infiltração da água, é impedida que ocorra a remoção da maioria dos materiais superficiais do solo por escorrimento (VIANA *et al.*, 2008).

Tabela 2. Resultados das análises química e física e teste Tukey

Áreas	MO	CO	Fe ²⁺	pH			Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺ +Mg ²⁺	H ⁺	AP	Um	
	g/kg			H ₂ O	KCl	CaCl ₂				cmol _c /kg		kg/kg		
Profundidade 0-10 cm														
QD18	157,9C	25,3C	123,3D	4,3E	3,8D	3,8D	-0,49A	21,8A	0,3D	0,6E	0,90E	14,00B	35,8B	0,449B
QD17	129,8D	18,5E	140,0C	4,9A	3,9B	4,0A	-0,97D	13,5D	1,4A	1,8A	3,20A	6,80D	20,4E	0,227D
PC03	187,2B	35,9A	121,0D	4,5CD	3,9BC	3,9C	-0,61BC	20,0B	0,6C	1,2C	1,80C	22,00A	42,1A	0,752A
Profundidade 10-20 cm														
QD18	218,2A	30,4B	150,0B	4,4D	3,9B	3,9C	-0,54AB	19,2B	0,3D	0,3F	0,6F	7,7D	27,0D	0,448B
QD17	108,7E	20,6D	171,3A	4,8B	3,8C	4,0B	-0,91D	15,9C	0,9B	1,6B	2,5B	10,2C	26,1D	0,257C
PC03	176,5B	36,1A	121,6D	4,6C	3,9A	3,9C	-0,63C	19,8B	0,3D	0,8D	1,1D	14,3B	34,2C	0,232D

Médias seguidas de mesma letra entre as linhas não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Dados da pesquisa.

Em relação à umidade gravimétrica, foi observado que a PC03 (*in situ*) na profundidade de 0-10 cm demonstrou o maior acúmulo médio de 0,752 kgkg⁻¹. Isso ocorre em consequência dos altos teores de matéria orgânica o que proporciona condições favoráveis para formação dos agregados do solo, favorecendo a manutenção da umidade (GOMES *et al.*, 2014).

Os valores de umidade do solo referentes à QD17 (*ex situ*) foram baixos nas profundidades de 0-10 (0,227 kgkg⁻¹) e 10-20 cm (0,257 kgkg⁻¹). Essa baixa umidade pode estar relacionada à presença de cascalhos nessas camadas de 0-10 e 10-20 cm aumentando a infiltração da água para as partes mais profundas e diminuindo o acúmulo de umidade do solo.

Quanto aos índices de condutividade elétrica no solo das áreas da Ilha de Germoplasma, observou-se que, na PC03, que é a área de floresta natural, foram observadas as maiores médias de condutividade elétrica nas profundidades de 0-10 (0,330 mS cm⁻¹) e 10-20cm (0,272 mS cm⁻¹) quando comparada com as QD18 e QD17, que são áreas plantadas. Conforme Encinas, Teixeira e Lima (2014), quando comparados os solos de floresta primária e plantio de Dendê a média da condutividade elétrica foi maior na área natural e diminuindo conforme a profundidade.

Na Tabela 2, os teores de alumínio no solo da Q18 e PC3 são bem próximos, principalmente nas profundidades de 10-20 cm, onde não houve diferença significativa entre os teores de alumínio nessa camada do solo. Isso acontece devido aos baixos valores de pH no solo das áreas Q18 e PC3. Em solos com presença de acidez ativa elevada, os teores de Al^{3+} também estão em grandes quantidades (FREITAS; SANTOS; OLIVEIRA, 2015).

Essas características semelhantes entre as áreas Q18 e PC3 podem ser explicadas pelo fato de a Q18 ser plantada no meio da mata nativa, preservando as condições naturais do solo e seus teores de Al^{3+} e pH do solo.

Os resultados obtidos para acidez potencial do solo estão descritos na Tabela 2. Os menores valores de acidez potencial foram observados no solo da Q17 (20,40 $cmol/kg^{-1}$) na profundidade de 0-10cm e 26,18 $cmol/kg^{-1}$ na região de 10-20 cm. Esse comportamento de baixa acidez potencial na área *ex situ* se deve em razão da maior parte da acidez potencial ser formada principalmente pelo Al^{3+} em detrimento aos teores de íons de hidrogênio. Esses atributos foram baixos nessa área e profundidade.

De acordo com Silva (2018), a acidez potencial representa o valor total de cargas negativas do solo ocupadas por elementos que podem causar acidez no solo, como alumínio (Al^{3+}) e hidrogênio (H^+). Isso significa de maneira geral que as cargas negativas dos colóides do solo da Q17 (*ex situ*) estão pouco ocupadas com íons alumínio e hidrogênio.

As maiores quantidades de $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ foram identificadas na QD17, 3,27 $cmol/kg^{-1}$ na profundidade de 0-10 cm e 2,53 $cmol/kg^{-1}$ em 10-20 cm. Esses valores encontrados podem estar associados à calagem realizada no período antes do plantio das árvores, com o intuito de aumentar o pH do solo, imobilizar o alumínio trocável e disponibilizar as cargas negativas para os cátions essenciais para o desenvolvimento das mudas plantadas a pleno sol, fornecendo também cálcio e magnésio (GUIMARÃES JÚNIOR *et al.*, 2013). A castanha do Pará (*Bertholletia excelsa*) é uma das espécies florestais presentes na QD17. Essa espécie florestal apresenta grande demanda de cálcio para produção adequada de sementes, fazendo com que o solo necessite de altos teores deste cátion (COSTA; TONINI; MENDES FILHO, 2017). De acordo com Vital *et al.* (2004) o Cálcio é um dos macronutrientes que apresenta maior ciclagem nas florestas tropicais, podendo chegar a 199,8 $Kg/ha^{-1}.a^{-1}$. O retorno desses macronutrientes através da deposição da matéria vegetal da floresta no solo é: $N > Ca > K > Mg > P$.

Os maiores teores de óxidos de ferro foram observados nas quadras 17 e 18, os teores foram de 171,33 g/kg^{-1} e 150,00 g/kg^{-1} , respectivamente. Esses valores mais elevados foram observados na camada mais profunda, 10-20 cm. Os menores valores de Fe_2O_3 no solo foram observados na PC03 nas profundidades de 0-10 (121,00 g/kg^{-1}) e 10-20 cm (121,67 g/kg^{-1}). Conforme Souza *et al.* (2018), os óxidos de ferro em solos tropicais brasileiros estão associados aos processos pedogenéticos, da mesma forma servem como indicador de intemperismo no solo. Uma explicação para a QD17 apresentar esse intemperismo corresponde ao plantio das

espécies florestais em pleno sol, ou seja, o solo permaneceu por um determinado período sem cobertura vegetal para proteger dos efeitos climáticos.

O pH em água é bastante utilizado por representar as condições naturais do solo. Por sua vez, o pH em cloreto de cálcio é empregado em razão de sua capacidade de encontrar ácidos fracos. O pH em cloreto de potássio oferece resultados que não são influenciados pela variação do conteúdo dos eletrólitos no solo (SILVA, 2018). De acordo com a classificação de Prezotti e Martins (2013) pH do solo em água abaixo de 5,0 e cloreto de cálcio abaixo de 4,5, a acidez é considerada elevada. Nesse sentido, a acidez do solo nas áreas *ex situ* (QD18 e QD17) e *in situ* (PC03) nas profundidades de 0-10 a 10-20 cm é considerada elevada. Em áreas de floresta nativa e áreas de reflorestamento nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm há de forma natural valores de pH muito baixo e por consequência uma acidez elevada (ROCHA *et al.*, 2015).

Os teores de matéria orgânica e carbono orgânico do solo foram superiores nas áreas QD18 e PC03 em relação à QD17 nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm (Tabela 2). Esse teor elevado nas áreas QD18 e PC03 pode estar relacionado a maior diversidade e adensamento das plantas, o que proporciona um constante acréscimo de resíduos vegetais nas camadas superficiais do solo, elevando os teores de matéria orgânica e consequentemente de carbono orgânico em área de mata nativa (GUIMARÃES *et al.*, 2013; FREITAS; CASAGRANDE; OLIVEIRA, 2015). A QD18 demonstrou resultados estatisticamente diferentes entre as duas camadas do solo. Isso pode ocorrer devido aos baixos valores encontrados de pH em água (4,34), cloreto de potássio (3,85) e cloreto de cálcio (3,86), este comportamento foi observado na atual pesquisa na profundidade de 0-10 cm da QD18.

No Gráfico 1 se encontra a separação ou proximidade das áreas (*scores*), baseada nas variáveis que mais contribuíram, conforme mostra o Gráfico 2. A primeira componente principal (PC1) descreve a maior porcentagem de informação do conjunto de dados (67%) e separa as áreas da Ilha de Germoplasma à esquerda e à direita. Os atributos químicos do solo que mais contribuíram na separação das áreas de acordo com o Gráfico 2 foram ΔpH , Al^{3+} e $\text{pH H}_2\text{O}$. Na segunda componente principal (PC2) que descreve 14,0% do conjunto de dados que separa as áreas na parte superior e inferior, as constituintes que mais contribuem na distinção das áreas H^+ , Fe^{2+} e AP.

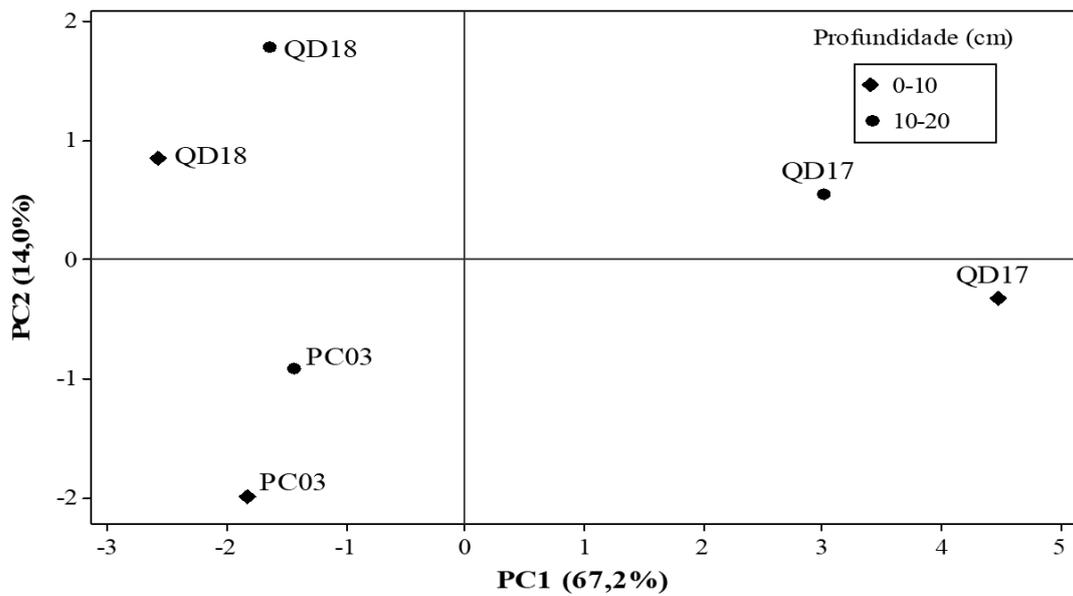


Gráfico 1. Separação das áreas em quadra 17, quadra 18 (*ex situ*) e parcela 3 (*in situ*).
 Fonte: Dados da pesquisa

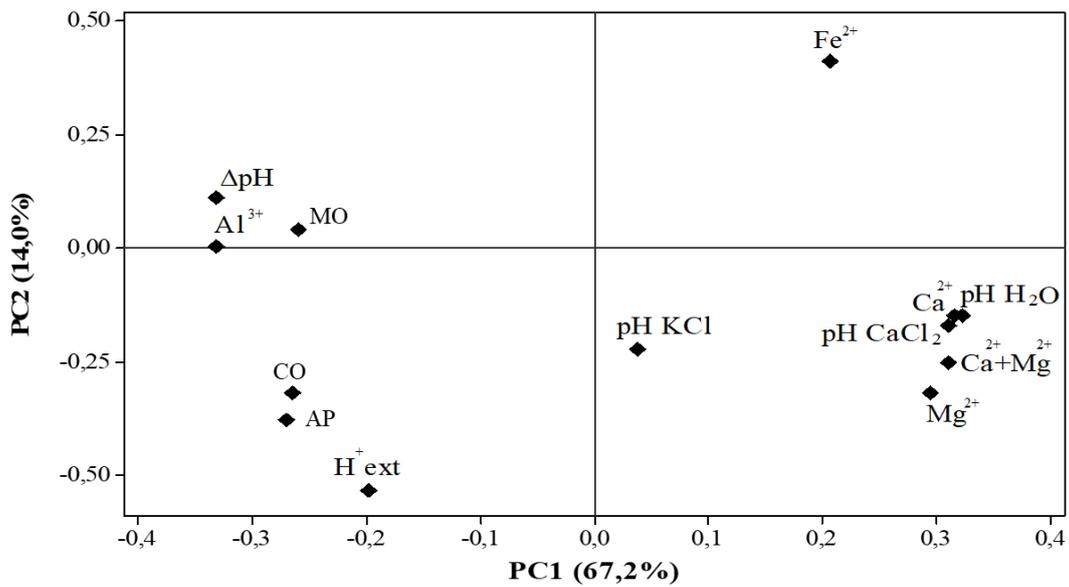


Gráfico 2. Análise dos componentes principais para as variáveis.
 Fonte: Dados da pesquisa

Na primeira componente principal (PC1) do Gráfico 1 observou-se a formação de dois grupos, os quais apresentam maiores semelhanças dentro de cada grupo. O primeiro grupo é formado pelas áreas denominadas PC03 e QD18 (à esquerda). Para esse grupo, o que pode ter influenciado nessa similaridade é que a QD18 foi plantada no sombreamento das árvores da floresta nativa PC03, preservando algumas características químicas do solo antes do plantio.

O segundo grupo (à direita) é formado pelas profundidades 0-10 e 10-20 cm da QD17. Devido à área onde o plantio foi realizado ser uma área aberta onde ocorre o manejo de plantio, e pelo fato de o reflorestamento ser realizado com apenas duas espécies florestais, o Angelim Amarelo (*Hymenolobium excelsum*) e a Castanheira do Pará (*Bertholletia excelsa*), tais fatores influenciaram diretamente nos atributos químicos do solo. O solo da QD17 tem altos teores de cálcio e magnésio essenciais para o desenvolvimento das espécies plantadas, no entanto, apresenta-se com baixo teor de matéria orgânica, que é muito importante para CTC do solo.

A partir da análise por HCA foi elaborado o Gráfico 3, conhecido como dendrograma que apresenta no eixo x as áreas com suas respectivas profundidades e no eixo y o índice de similaridade. Foi observada entre as duas profundidades da QD18 (*ex situ*) e as da PC03 (*in situ*) a formação de um único *cluster* com similaridade de 44,15%, sendo distinto da QD17 nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm. Isso demonstra que o sistema de plantio por sombreamento é menos impactante para os atributos químicos do solo e para as espécies florestais a serem inseridas na Ilha de Germoplasma. Esse sistema, aliado às boas condições nutricionais do solo e à seleção das espécies florestais locais adaptadas ao sombreamento, pode ser a solução para melhorar a produção de sementes e evitar a mortalidade das espécies florestais originárias da região de enchimento do reservatório. O *cluster* com maior similaridade foi observado na PC03 entre as profundidades de 0-10 e 10-20 cm. Essa semelhança entre os atributos químicos do solo na PC03 foi observada nos resultados obtidos no teste de Tukey, pois não houve variabilidade significativa na maioria dos resultados encontrados nas profundidades da PC03. Esse resultado da análise de agrupamento hierárquico (HCA) corrobora com o comportamento dos atributos químicos do solo observado na Análise de Componente Principal (PCA).

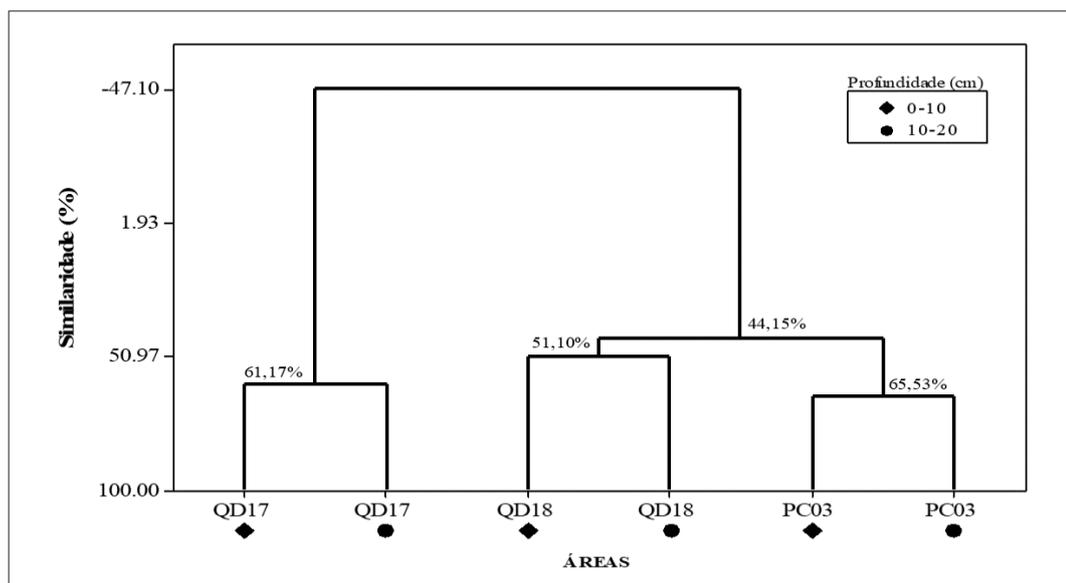


Gráfico 3. Dendrograma obtido na HCA para as áreas estudadas.

Fonte: Dados da pesquisa

4 CONCLUSÃO

A PC03, uma área de floresta nativa (*in situ*) apresentou as melhores condições quando analisados os atributos químicos e físicos. Os resultados observados indicaram que o solo está mais conservado devido à concentração mediana de cascalho, alta umidade do solo, elevada condutividade elétrica e os teores acentuados de matéria orgânica.

A partir dos resultados químicos e físicos, e aplicando-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade e a análise estatística multivariada, foi possível observar similaridade entre as áreas PC03 (*in situ*) e QD18 (*ex situ*) plantio por sombreamento em relação à área QD17 (*ex situ*), com plantio a pleno sol. Somado a isso, a área de plantio QD18 proporciona melhores condições de qualidade do solo podendo ser determinante para a manutenção e desenvolvimento das espécies vegetais e reprodução de sementes.

A análise estatística multivariada demonstrou ser uma boa ferramenta para o diagnóstico da fertilidade do solo, pois as informações obtidas na atual pesquisa podem auxiliar na manutenção das espécies florestais *in situ* e *ex situ* e produção de sementes, que é o objetivo do projeto banco de Germoplasma.

REFERÊNCIAS

- ANSARE, A.; FLYVBJERG, B.; BUDZIER, A.; LUNN, D. Should we build more large dams? The actual costs of hydropower megaproject development. **Energy Policy**, v. 69, p. 43-56, 2014.
- ARAÚJO, A. R. O.; ROCHA, M. G. Unidades de Conservação em Tucuruí/PA como instrumento de Gestão Territorial. *In*: ENCONTRO NACIONAL DA ANPPAS, 4., Brasília. **Anais [...]**. Brasília: ANPPAS, 2008, v. 4, p. 1-20.
- BORGES, A. L. I.; TAVARES, A. C. C.; LISBOA, R. C. L. Briófitas da Ilha de Germoplasma, reservatório de Tucuruí, Pará, Brasil. **Acta Botânica Brasil**, v. 18, n. 3, p. 689-692, 2004.
- CARDOSO, E. L.; SANTOS, S. A.; URBANETZ, C.; FILHO, A. C.; NAIME, U. J.; SILVA, M. L. N.; CURI, N. Relação entre solos e unidades da paisagem no ecossistema Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1231-1240, 2016.
- CENTRAIS ELÉTRICAS DO NORTE DO BRASIL. **Manual do sistema de gestão ambiental UHE Tucuruí**. [s.l.; s.n.], 2018. 34f.
- COSTA, E. M.; SILVA, H. F.; RIBEIRO, P. R. A. Matéria orgânica do solo e o seu papel na manutenção e produtividade dos sistemas agrícolas. **Enciclopédia Biosfera**. Goiânia: Centro Científico Conhecer. v. 9, n. 17, p. 1842-1860, 2013.
- COSTA, M. G.; TONINI, H.; MENDES FILHO, P. Atributos do Solo Relacionados com a Produção da Castanheira-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*). **Floresta e Ambiente**, v. 24, 2017.

CRUZ, N. N. L.; VALLADARES, G. S.; SOARES, I.; CAMARGO, O. A. Distribuição espacial da qualidade dos solos da capta-frutas em Jundiá, São Paulo. **Revista Equador**, v. 7, n. 2, p. 147-161, 2018.

ENCINAS, O. C.; TEIXEIRA, W. G.; LIMA, W. A. A. pH e condutividade elétrica da solução do solo em dendezaís e floresta primária da Amazônia Brasileira. **Sociedad Peruana de la ciencia del suelo**, Cusco, 2014.

FEARNSIDE, P. M. **Hidrelétricas na Amazônia: impactos ambientais e sociais na tomada de decisões sobre grandes obras**. Manaus: INPA, 2015. v. 2, 288f.

FONTINELE, G. A. **Atributos físicos e químicos do solo de terra firme na reserva florestal Adolpho Ducke, Manaus-AM**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências e Meio Ambiente do Instituto de Ciências Exatas e Naturais) - Universidade Federal do Pará, Belém.

FORNASIER, M. O.; ROGERIO, M. S. Sociedade de Consumo e demanda por energia elétrica: construção de hidrelétricas no rio Uruguai como reflexo do consumismo. **Juris Poiesis**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 25, p. 121-146, 2018.

FREITAS, L.; CASAGRANDE, J. C.; OLIVEIRA, I. A. Atributos químicos de latossolo vermelho submetido a diferentes manejos. **Floresta**, Curitiba, v. 45, n. 2, p. 229-240, 2015.

GOMES, R. L. R.; SILVA, G. M. C.; COSTA, F. R.; LIMA, A. F.; OLIVEIRA, I. P.; SILVA, D. B. Propriedades físicas e teor de matéria orgânica do solo sob diferentes coberturas vegetais. **Revista Monte Belos (FMB)**, v. 8, n. 5, p. 72-139, 2014.

GRANJA, I. J. A.; MENEZES, J. E. Verification and Evaluation of Exploratory Statistical Methods in the Analysis of Relative Data in a Sanitation Industry in the State of Goiás with the Application of Exhaust Production. **European Journal fo Scientific Research**, v. 148, n. 4, March, p. 450-459, 2018.

GUIMARÃES, D. V.; GONZAGA, M. I. S.; NETO, J. O.; REIS, A. F.; LIMA, T. S.; SANTANA, I. L. Qualidade da matéria orgânica do solo e estoque de carbono e nitrogênio em fragmento de Mata Atlântica do Município de Nilópolis, Sergipe. **Scientia Plena**, Nilópolis, v. 8, n. 4, p. 1-5, 2012.

GUIMARÃES SANTOS, M. P. A.; ARAÚJO, A. C.; OLIVEIRA, A. S.; RODRIGUES, L. B. T.; MARTINS, M. O. D.; DAMASCENO, A. Relação Ca:Mg do corretivo da acidez do solo e as características agronômicas de plantas forrageiras. **Revista Brasileira Saúde Produção Animal**, Salvador, v. 14, n. 3, p. 460-471, jul./set., 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTÁTICA. **Manual técnico de pedologia**. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. 430p. (Manuais técnicos em geociências, n. 4).

JATOBÁ, S. U. S. **Gestão do território e a produção da socio natureza nas ilhas do lago de Tucuruí na Amazônia Brasileira**. 2006. 301f. Tese (Doutorado em Política e Gestão Ambiental) - Universidade de Brasília, 2006.

LEÃO, N. V. M.; OHASHI, S. T.; VIEIRA, I. C. G.; GHILARDI JR, R. **Ilha de Germoplasma de Tucuruí: uma reserva da biodiversidade para o futuro**. Brasília: Embrapa Amazônia Oriental, 2005. 232p.

MAIA, F. C.; MEDEIROS, R. B.; PILLAR, V. P.; FOCHT, T. Padrões de variação do banco de sementes do solo de um campo natural em função de fatores de ambiente. **Revista Brasileira de Sementes**, Porto Alegre, v. 26, n. 2, p. 126-137, 2013.

MINITAB Inc. 2010, 1991-2019, LEAD Technologies, Inc. free 390 version, State College, PA, USA.

MESQUITA NETO, F. P. M. Programa de Germoplasma Florestal da UHE Tucuruí: contribuição para recuperação e conservação da biodiversidade na Amazônia. *In*: SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 27., Belém. **Anais [...]**. Belém: Comitê Brasileiro de Barragens, 2007.

NEVES, P. A. P. F. G.; PAULA, M. T.; AMARANTE, C. B.; CARNEIRO, B. S.; FAIAL, K. C. F.; MENDES, L. C. S.; BOTERO, W. G.; SERRÃO, C. R. G.; DANTAS FILHO, H. A. Determinação de Metais em Espécies Florestais da Amazônia. **Revista virtual de química**, v. 20, n. 20, 2016.

NOVAK, E.; LAÉRCIO, A. C.; ETENALDO, F. S.; IRZO, I. R. P. Chemical and microbiological attributes under different soil cover. **CERNE**, v. 23, n. 1, p. 19-30, jan., 2017.

PINTO, L. F. De Tucuruí a Belo Monte: a história avança mesmo? **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, Belém, v. 7, n. 3, p. 777-782, 2012.

PREZOTTI, L. C.; MARTINS, A. G. **Guia de interpretação de análise de solo e foliar**. Vitória: Incaper Instituto Capixaba de pesquisa, Assistência técnica e Extensão Rural, 2013.

RAMALHO, I.; SILVA, C. S.; MENDES, A. S.; SILVA, M. C. C.; ALMEIDA, B. C.; PEREIRA, S. F. P. Avaliação da intemperização do solo de uma área de lixão na cidade de Tucuruí - Pará - Brasil. **COPEC**, v. 13, p. 418-422, 2014.

REIS, B. C. M.; PINTO, R. L. M.; SOARES, C. L. Aplicação da análise estatística via teste de tukey e análise de variância para a avaliação dos parâmetros de qualidade de corte em um processo de fabricação. **Enegep**, v. 1, 2016.

ROCHA, J. H. T.; SANTOS, A. J. M.; DIOGO, F. A.; BACKES, C.; MELO, A. G. C.; BORELI, K.; GODINHO, T. O. Reflorestamento e recuperação de atributos químicos e físicos do solo. **Floresta e Ambiente**, v. 22, p. 299-306, 2015.

ROSA-JÚNIOR, W. O.; BASTOS, M. N. C.; AMARAL, D. D.; SOARES, C. C. Composição florística de remanescentes florestais na área de influência do Reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) de Tucuruí, Pará, Brasil. **Biota Amazônia**, v. 5, n. 2, p. 10-17, 2015.

SILVA, S. B. **Análise de solos para ciências agrárias**. 2. ed. Belém: Universidade Federal Rural da Amazônia, 2018.

SOUZA, J. L. M.; FEZER, K. F.; GURSKI, B. C.; JERSZURKI, D.; PACHECHENIK, P. E.; EVANGELISTA, A. W. P. Atributos físicos e balanço hídrico do solo com floresta ombrófila mista, em latossolo vermelho-amarelo, em Telêmaco Borba - PR. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 1, p. 90-101, 2018.

STOTT, D. E.; ANDREWS, S. S.; LIEBIG, M. A.; WIENHOLD, B. J.; KARLEN, D. L. Evaluation of b-glucosidase activity as a soil quality indicator for the soil management assessment framework. **Soil Science Society of America Journal**, v. 74, p. 107-119, 2010.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2017. 210p.

VIANA, J. H. M.; SOARES, G. H.; MARTINS, O. F. L.; LIMA, T. L. B.; PAIVA, V. F. **Características químicas e físicas de um solo cascalhento e suas implicações para o manejo sustentável desse solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2008.

VITAL, A.; GUERRINI, I.; FRANKEN, K.; FONSECA, R. Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes de uma floresta estacional semidecidual em zona ripária. **R. Arvoré**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 793-800, 2004.