

Remote Sensing and Geoprocessing as a Support to the Management of Amazon Soils

Milton V. da Silva Junior^{*}, Suzana R. Araújo^{*}, Mayke F. Progênio^{**}, Carlos E. A. de S. Costa^{**}, Vanessa C. dos Santos^{***}, Evanice. Gomes^{**}

^{*}Universidade Federal Rural da Amazônia, Av. Tancredo Neves, nº 2501, Belém-PA, juniorvazweb@gmail.com, suzanaromeiro@yahoo.com.br

^{**}Universidade Federal do Pará, R. Augusto Corrêa, 01, Belém - PA, maykefeitosa@gmail.com, eduardoaguarsc@hotmail.com, gomesevanice@ufpa.br

^{****}Universidade Federal do Pará, Rodovia BR 422, km 13 – Vila Permanente, Tucuruí - PA, vanessacs@ufpa.br

Received 30 October 2021; accepted 21 December 2021

Abstract

The identification and characterization of soils can assist in its use and occupation in an adequate way; thus, remote sensing tools have been used for this purpose. Therefore, the objective of this work was to promote the survey of information to help update the soil map of the Federal Rural University of Amazon (UFRA), through remote sensing and geoprocessing tools. The characterization of the study area, the survey of base data, some office steps using a Geographic Information System (GIS), and specific software, and field steps with in-depth soil collections were carried out. a toposequence. In the total area studied (207.62 ha) there was a predominance of flat relief (61.63%), non-homogeneous, with a degree of declivity between 0-3%. Drainage networks were described as dendritic, poorly oriented, poorly integrated, and poorly uniform. The drainage density was 0.785km/km². Vegetation varied between pasture and forest areas. The total length of the evaluated toposequence was 830 m, with an altimetry variation of 7.1 m. There was a difference in slope between points 1 and 4 of it. It was observed a predominance of the yellowish-Bruno color in the evaluated soil layers, varying the tonality, with Matiz YR. The consistency ranged from loose, very friable, friable, firm, very firm and extremely firm. Soils were classified as Yellow Oxisols at points P1, P2, P3, P4 and P5 of the toposequence. At P6, characteristics of Gleissolos were observed. Remote sensing tools assisted in the assessment of UFRA's soils.

Keywords: Toposequence. Soil assessment. Support tools.

Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento como Suporte à Gestão de Solos Amazônicos

Resumo

A identificação e caracterização dos solos podem auxiliar no seu uso e ocupação de forma adequada, assim, ferramentas de sensoriamento remoto têm sido utilizadas para este fim. Diante disto, objetivou-se com este trabalho promover o levantamento de informações para auxílio na atualização do mapa de solos da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), através de ferramentas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. Realizaram-se a caracterização da área de estudo, o levantamento de dados base, algumas etapas de escritório com o uso de um Sistema de Informação Geográfico (SIG), e de softwares específicos, e etapas de campo com coletas de solos em profundidade, em uma topossequência. Na área total estudada (207,62 ha) houve predominância de relevo plano (61,63%), não-homogêneo, com grau de declividade entre 0-3%. As redes de drenagem foram descritas como dendríticas, pouco orientadas, pouco integradas e pouco uniformes. A densidade das drenagens foi de 0,785km/km². A vegetação variou entre áreas de pasto e áreas de mata. O comprimento total da topossequência avaliada foi de 830 m, com variação de altimetria de 7,1 m. Houve diferença de declividade entre os pontos 1 e 4 da mesma. Observou-se predominância da cor Bruno-amarelado nas camadas de solos avaliadas, variando a tonalidade, com Matiz YR. A consistência variou entre solto, muito friável, friável, firme, muito firme e extremamente firme. Os solos foram classificados como Latossolos Amarelos nos pontos P1, P2, P3, P4 e P5 da topossequência. Em P6, observou-se características de Gleissolos. Ferramentas de sensoriamento remoto auxiliaram na avaliação de solos da UFRA. Palavras-chave: Topossequência. Avaliação de solos. Ferramentas de auxílio.

1. Introdução

Com o aumento da urbanização e o crescimento populacional, o uso do solo vem sendo

intensificado, tanto para a agricultura como para a acomodação das pessoas, tornando a atuação do homem no contexto ambiental cada vez mais importante (Alves e Costa, 2007). Para planejar

atividades agrícolas e urbanas torna-se fundamental, informações acerca dos solos e usos das terras, podendo ser obtidas, dentre outros, através do levantamento e mapeamento de solos. O levantamento consiste na identificação e no mapeamento dos solos de uma área e um relatório descritivo de um mapa de solo (Silva et al., 2018).

Através do levantamento e mapeamento de solo, as informações necessárias sobre a caracterização e distribuição de solos de uma área são obtidas, podendo atender o planejamento de programas de reflorestamento, irrigação e drenagem, avaliação ambiental, confecção de mapas, descarte de resíduos, além de ensino e pesquisa de extensão agrícola. Assim, seguindo o pensamento de Flach e Corrêa (2017), o levantamento de solo é de extrema serventia ao desenvolvimento de modelos sustentáveis das sociedades modernas. Na avaliação de limitações de estruturas de produção agrícola e econômica, conhecer as potencialidades dos recursos naturais é fundamental, especialmente em um país com o porte territorial como o Brasil, cuja economia possui um embasamento essencial para a produção agrícola e recursos naturais do solo.

O processo de execução e levantamento de solo no Brasil não é recente. Porém, o número de trabalhos realizados e publicados até o momento encontra-se em carência de informações, especialmente em relação à escala de médio detalhe (Figueiredo, 2006). No caso do Brasil, país de grande extensão continental, a evolução e o conhecimento em relação ao solo ainda são muito limitados. As principais informações cartográficas estão disponíveis através do mapa de solos do Brasil em escala de 1:5.000.000 (EMBRAPA, 2011).

A maioria das escalas disponíveis não são compatíveis com algumas demandas atuais que necessitam de uma maior precisão cartográfica, como por exemplo, o mapeamento de solos em pequenos lotes. Logo, esses mapeamentos não apresentam cobertura significativa do território nacional por estarem vinculados a regiões restritas, e, dada a escassez e a enorme demanda por informações sobre os solos, torna-se necessário desenvolver métodos modernos e adoção de novas técnicas que permitam acelerar e melhorar o conhecimento pedológico do território nacional em escalas mais operacionais (EMBRAPA, 2011).

Um dos principais métodos que vem sendo utilizado no levantamento de solos é o geoprocessamento, onde baseado nas análises de campo e características do levantamento do solo, é possível executar mapas com menor custo e maior rapidez. Para tanto, as técnicas de geoprocessamento

tornam-se ferramentas auxiliares nos levantamentos de solo, subsidiando o planejamento do território e ambiente (Nolasco-Carvalho et al., 2009; Carvalho et al., 2013). Tais técnicas surgem como alternativas para os processos de mapeamento e permitem a modelagem e integração de grande quantidade de dados e informações em diversos formatos (Carvalho et al., 2015). Assim, tendo em vista a importância estratégica da região Amazônica, e a dificuldade para a obtenção dos mais variados tipos de dados para estudos, buscou-se com este trabalho, auxiliar na atualização do mapa de solos da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA, Campus Belém), de 1983, através do levantamento de informações da área com o uso de ferramentas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. Os dados obtidos nesta pesquisa também irão auxiliar futuros estudos na área de conservação de solos, planejamento para uso e ocupação do solo e prevenção de eventos extremos (inundações, grandes secas, etc.) na cidade de Belém e Região Metropolitana.

2. Material e métodos

Caraterização da Área de Estudo

O estudo foi desenvolvido na Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Campus Belém, localizada no município de Belém-Pará, em altitude local de 10 metros, e coordenadas de partida latitude 01°26' 00" S e longitude 48° 26' 00" W (Datum Sirgas 2000). O local situa-se às margens da baía do Guajará no delta do Rio Amazonas, em região de baixada, que compreende parte da área da UFRA, cujo campus é descrito no bairro Universitário/Montese, na Avenida Presidente Tancredo Neves, 2501 (Figura 1). O clima local é caracterizado por elevada umidade e temperaturas variando entre 23°C e 33°C, tropical úmido, abundante em chuvas por todo o ano, sendo mais chuvoso entre dezembro e maio, e menos chuvoso de junho a novembro. A umidade relativa do ar é de 85%, contendo acúmulo anual de precipitação pluviométrica em torno de 2.870 mm, sendo classificado como Afi por Köppen-Geiger, conforme citado por Bastos et al. (2002).

Por se tratar de uma região quente e úmida, a característica climática equatorial tem influência direta da floresta amazônica, onde as chuvas são constantes. Além de serem bastante úmidas, as temperaturas são elevadas durante todo o ano, com baixa amplitude térmica. Na área de estudo, há inúmeras árvores de médio e grande porte que ajudam no equilíbrio térmico (Franca; Mendonça, 2016).

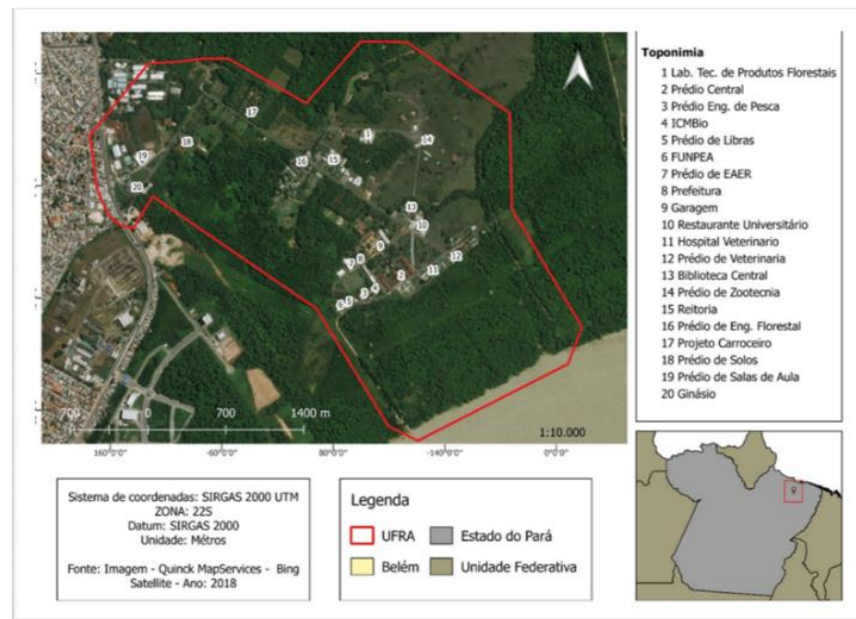


Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo.

Para a realização do presente estudo, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre o tema para serem utilizados como material de apoio. Dentre estes, foi consultado o informe didático, publicado em 1983, contendo um levantamento pedológico da UFRA (Santos et al., 1983). Como material cartográfico utilizado para este levantamento, têm-se mapas planialtimétricos e cerca de 500 fotografias aéreas feitas por drone, cedidas pelo curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura da UFRA. O modelo de drone utilizado para obtenção das fotografias aéreas foi o Phantom 4®, que possui câmera de bordo equipada com sensor de CMOS de 20 megapixels de 1 polegada, capaz de gravar vídeos em 4k / 60 fps e modos Burst em 14 fps. Com o equipamento, foram obtidas as fotografias com um Ground Sample Distance (GSD) de 3,6 cm, atingindo recobrimento longitudinal de 70 % e lateral 30%. A precisão cartográfica da imagem do drone é em torno de 5-10 metros, já que não foram utilizados Ground Control Points (GCP). Estes pontos são coletados em campo em regiões que possam ser identificáveis nas imagens aéreas obtidas pelo drone visando posteriormente o seu georreferenciamento com o auxílio do Global Navigation Satellite System (GNSS). É importante mencionar que o método utilizando o GNSS deve apresentar uma precisão planimétrica maior que o GSD da imagem para que o produto gerado esteja adequado com o Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD). Mas como objetivo do trabalho não é a alta precisão, o produto gerado foi considerado adequado (Araújo et al., 2018).

Levantamento de Dados Base

Para organizar as informações e materiais

levantados, utilizou-se um Sistema de Informação Geográfico (SIG). Foi utilizado para o processamento das informações o software QGIS 2.18.24 'Las Palmas'.

O Modelo Digital de Elevação (MDE) foi gerado a partir de uma imagem de radar Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) com 1 segundo de arco (~30 metros) de resolução espacial, e o seu download foi gratuitamente pelo Earth Explorer do USGS (2019). Vale lembrar que os dados baixados no Earth Explorer são dados brutos, e por este motivo foi necessário realizar a correção das imagens através processo de preenchimento das depressões espúrias do MDE SRTM, conforme recomendação de Planchon e Darboux (2002). Acrescenta-se que o mesmo procedimento foi adotado no estudo de Progênio et al. (2020) para remover os vazios (voids) nos dados. Na elaboração e edição dos mapas foram destacados os aspectos morfológicos da declividade, descrição do relevo e parâmetros relativos à amplitude altimétrica do relevo.

Os valores do Mapa de declividade foram gerados em porcentagem e do tipo contínuo, por apresentar valores reais, e as classes de declividade foram separadas em três intervalos distintos, utilizando a ferramenta slope em (Spatial Analyst Tools >> surface), de acordo com o critério adotado por Progênio et al. (2020), que levou em consideração o grau de inclinação em relação ao plano horizontal, em porcentagem: 0-3% (plano), 3-8% (ondulado) e 8-20% (suave ondulado). Ainda de acordo com El-robrini et al. (2018), as regiões localizadas na Zona Costeira Amazônica (ZCA) como é o caso da área de estudo são em sua maioria planas. Para o melhor aproveitamento dos dados, o arquivo raster apresenta-se no datum WGS 84 o qual

foi reprojetado para o sistema de projeção de coordenadas sirgas 2000 UTM, Zona 22-S.

Geração da Rede de Drenagem

A drenagem foi gerada através de vetorização manual. Para isso, foi utilizada a imagem em alta resolução do Drone Phantom 4, e por meio de fotointerpretação, foi possível definir o tipo de drenagem. Após isso, o arquivo foi convertido para o formato vetorial shapefile, podendo ser aplicado na análise e cálculo da drenagem.

A densidade das redes de drenagem foi calculada pelo Índice de circularidade (Ic) (Equação 1) de acordo com Fraga et al. (2014), que é considerado um índice adimensional, e diz que quanto mais próximo o resultado tender ao valor de índice de unidade (1), mais a bacia e a drenagem tenderão ao formato circular, e isso diminui à medida em que a drenagem se modifica e torna-se alongada.

$$Ic = \frac{12,57 \times A}{P^2} \quad (1)$$

Em que:

Ic é o índice de circularidade, A é a área em Km² e P é o perímetro dado em km.

Etapas de campo

Após o planejamento em escritório foi

escolhida a topossequência localizada na estrada principal da UFRA (Figura 2). Seis pontos foram amostrados em 5 profundidades (0-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm). Estes pontos foram denominados de P1 a P6 progressivamente, a fim de facilitar a interpretação dos resultados. Para as amostragens dos solos foi utilizado o trado holandês, sendo possível visualizar a transição dos horizontes do solo.

Em seguida, cada ponto de coleta teve suas coordenadas geográficas registradas com o GPS Gramim 62S. Foi feita a organização das amostras em sequência e realizado o estudo de algumas características morfológicas dos solos coletados, tais como a cor e seus horizontes, a consistência e a textura, conforme descrito no Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo (Santos et al., 2013). Após isso, seguiu-se a padronização mundial denominada Sistema Munsell de Cores, que contempla o grau de intensidade de três componentes da cor: Matiz, Valor, e Cromo, onde a Matiz faz referência ao espectro dominante de cor (R - red; Y - yellow; B - blue; G - green; e P - purple), o Valor se refere a tonalidade da cor (0 a 10 - preto absoluto e branco absoluto, respectivamente), e o Cromo aponta a pureza relativa ou saturação da cor (0 a 10, sendo 0 relativo a cores neutras e acinzentadas).

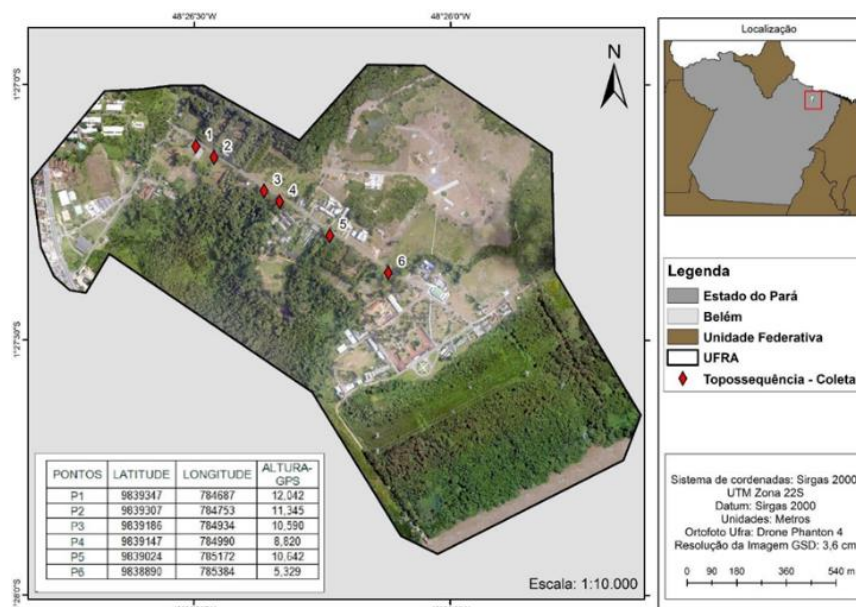


Figura 2 – Topossequência e pontos coletados.

A textura dos solos foi estimada por sensações táteis. As camadas de cada ponto da topossequência, tiveram uma amostra de terra umedecida e trabalhada com as mãos, até virar uma massa homogênea sem excesso de água, a qual foi pressionada e/ou friccionada entre o indicador e o polegar para assim, sentir-se a sensação de aspereza, sedosidade e pegajosidade, as quais geralmente estão

correlacionadas com as proporções de areia, silte e argila, nesta ordem, conforme descrito por Santos et al. (2013). A consistência dos solos foi analisada quando úmidos. Para isso, as amostras foram submetidas a pressão para tentativa de esboroá-las. Assim, foi possível classificar a consistência de cada camada dos solos avaliados, como solta (não coerente), muito friável (a massa se rompe sob

pressão fraca), friável (a massa se rompe sob pressão fraca), firme (a massa se rompe sob pressão moderada), muito firme (a massa se rompe sob pressão forte), ou extremamente firme (a massa se rompe sob pressão muito forte) (Santos et al., 2013).

3. Resultados e discussão

O mapa de solos da UFRA gerado em 1983 apresentava uma classificação de solos antiga. Assim, para iniciar a discussão dos dados de levantamento, foi realizada a conversão das unidades taxonômicas antigas para aquelas correspondentes no novo sistema brasileiro de classificação de solos, elaborado pela EMBRAPA (Santos et al., 2018) (Figura 3).

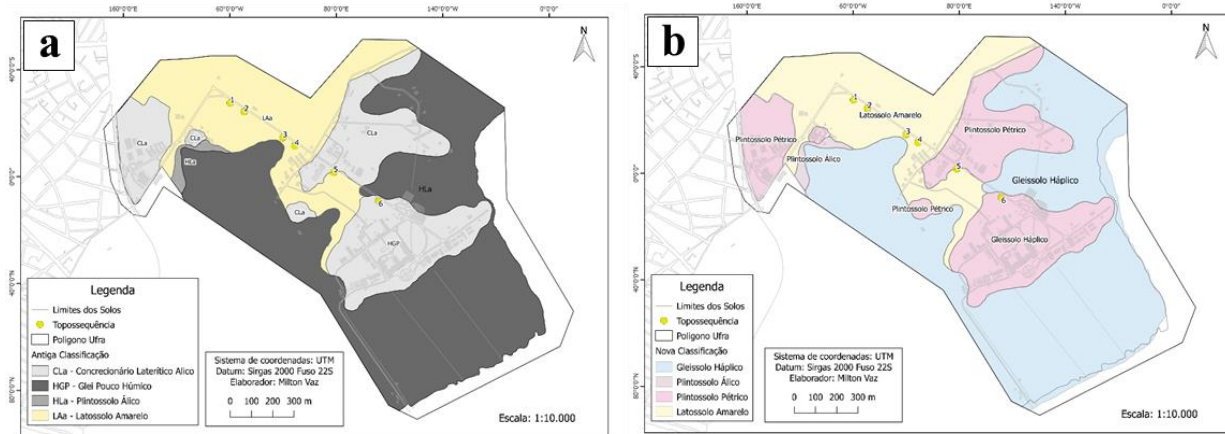


Figura 3 – Mapa de solos da UFRA contendo os pontos da topossequência – Classificação antiga (a) e classificação atual (b).

Em relação à declividade, observou-se três classes no total da área do campus da UFRA-Belém, de 207,62 ha, sendo elas: relevo plano, abrangendo 61,63% (126,88 ha) da área total; relevo suave ondulado, compreendendo 28,22% (58,09 ha) da área estudada; relevo ondulado, contabilizando 10,15% (20,91 ha). Observou-se a predominância do solo da

classe Gleissolo Háplico (52%) (Figuras 3 e 4) na área estudada, que correspondem às áreas de várzeas com acúmulo de água durante o ano todo ou na maior parte dele. Segundo Demattê et al. (2012), em áreas mais planas é comum a ocorrência de pequenas depressões de drenagem lenta, onde tipicamente formam-se Gleissolos.

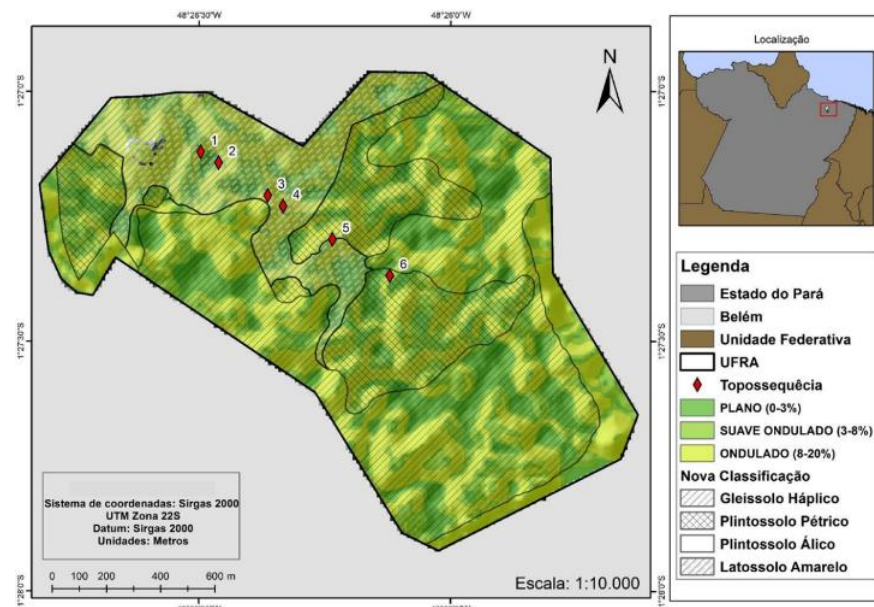


Figura 4 – Mapa de declividade da UFRA contendo unidades de mapeamento.

Este tipo de solo, são considerados solos minerais formados em condições de saturação com água, presentes principalmente em planícies ou várzeas inundáveis (Santos e Zaroni, 2017), onde a

água permanece estagnada internamente ou a saturação é por fluxo lateral no solo. Caracterizam-se, assim, pela forte gleização, em decorrência do regime de umidade redutor, virtualmente livre de oxigênio

dissolvido, em razão da saturação por água durante todo o ano, ou pelo menos por um longo período, associado à demanda de oxigênio pela atividade biológica. São descritos pelo SiBCS como hidromórficos, possuindo material mineral, que apresentam horizonte glei, além de horizonte superficial com cores acinzentas e até pretas, espessura entre 10 e 50 cm e teores médios a altos de carbono orgânico (EMBRAPA, 2006).

Sabe-se que há uma relação direta entre relevo e tipo de solo (Demattê et al., 2014), sendo que a declividade facilmente observada com ferramentas de sensoriamento remoto, pode auxiliar na indicação de possíveis unidades de mapeamento da área. Cunha (2005) afirmou que as superfícies geomórficas possuem correlação com as unidades de mapeamento. De fato, ferramentas de sensoriamento

remoto podem auxiliar no mapeamento convencional de solos, reduzindo recursos humanos, materiais para trabalho de campo e, gastos e tempo necessários para a elaboração dos mapas de solos, já que permite ir a campo com um conhecimento prévio da área a ser analisada (Coelho e Giasson, 2010).

Em relação as redes de drenagem da área do campus, foram classificadas como dendríticas (Figura 5) (Ramos, 2005). As redes dendríticas, pode ser também designada arborescente, onde a corrente principal corresponde ao tronco, os tributários aos ramos, distribuindo-se em todas as direções, e se unindo formando ângulos agudos, e as correntes de menor categoria às folhas. este padrão de rede de drenagem é tipicamente desenvolvido sobre rochas de resistência uniforme, ou em estruturas sedimentares horizontais.

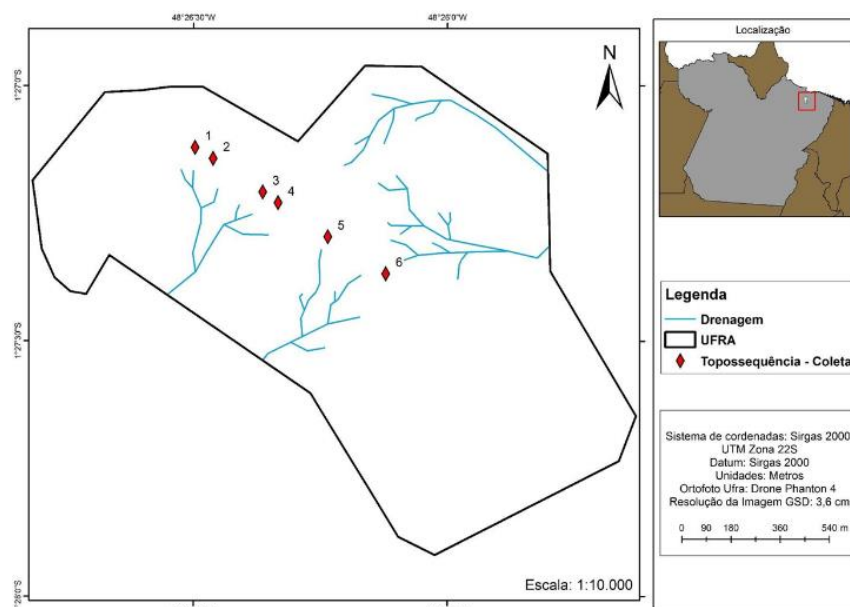


Figura 5 – Mapa de rede de drenagem da UFRA.

A rede de drenagem apresentou canais de drenagem secundários interligados ao canal principal, classificada como ramificada com baixo grau de ramificação. Seus canais possuem formas diferentes e se ligam em poucos pontos, portanto, foi configurada como rede de drenagem pouco integrada e pouco uniforme (Figura 5) (Ramos, 2005; Santos, 2013).

Para Demattê e Demétrio (1993) uma rede de drenagem pouco uniforme possui ângulos ausentes ou ângulos de confluência retos passando a agudos, estando de acordo com os resultados acima descritos. Com relação à orientação da rede de drenagem, devido ao solo possuir pouca diferença de declividade, a mesma apresentou-se como pouco orientada. Para Lima (2015), é esta diferença de declividade que influencia diretamente sobre a direção geral da declividade – orientação da bacia e, por sua vez, é esta orientação que define a direção para a qual a declividade está exposta (Figura 5).

Baseado na alteração de relevo e nas diferentes classes de solos encontradas na área total do estudo, e na diferenciação entre os horizontes dos solos observados no decorrer da topossequência avaliada, o solo da UFRA – Campus Belém, não foi considerado homogêneo. Assim, ao relacionar-se essas características com o padrão de rede de drenagem descrito (dendrítica), pode-se denotar que há diferenças nas angulações no percurso desta rede e de suas ramificações.

Isso provavelmente ocorre justamente devido a essas diferenças de relevo e tipos de solos, já que, de acordo com o abordado por Demattê e Demétrio (1993), diferenças em angulações de rede de drenagem variam conforme a variação do tipo de relevo e tipo de solo encontrado, onde nas partes mais baixas da área, os rios tendem a se distribuir sem direção, refletindo as características dos solos.

A vegetação influencia na dinâmica

hidrológica devido ao tipo de revestimento e ao grau de cobertura. As florestas minimizam o impacto da chuva no solo, reduzindo a erosão. Por ser uma área recoberta, e com baixa declividade (61,63% de relevo plano), a velocidade de escoamento superficial é reduzida, favorecendo a infiltração de água no solo (Progênio et al., 2019).

Em relação à densidade de drenagem, neste trabalho observou-se um valor de 0,785km/km². A densidade de drenagem foi considerada média, com valores próximos a 1,0, caracterizando uma boa drenagem, que é influenciada tanto pelos tipos de solos, quanto pela topografia, atenuado pelo tipo de solo, bem drenado com uma capacidade de infiltração (Stipp, Campos; Caviglione, 2010).

Em relação aos pontos selecionados na topossequência avaliada, a menor distância entre pontos (P3-P4) foi 68 m, e a maior (P5-P6), foi 250

m (Figura 6). A altimetria inicial da topossequência foi de 11,6 m e a final foi de cerca de 4,5 m, demonstrando uma variação de altura, ao longo do perfil traçado, de aproximadamente 7,1 m, denotando um desnível de altimetria entre os pontos, caracterizando um relevo irregular (Figura 6). Ainda na Figura 6, é possível observar a variação média entre pontos de altimetria de 6,5 m (P5-P6) a 10,25 m (P3-P4) em seus valores mínimo e máximo, respectivamente. Baseado no método de cálculo disposto no Manual Técnico de Pedologia (IBGE, 2015), o maior índice de declividade foi 2,2% (P3-P4), seguido por 1,03% (P1-P2), enquanto o menor foi 0,36% (P2-P3) (Figura 6), indicando que houve uma maior irregularidade no relevo da área no intervalo de P1-P4, equivalendo a cerca de 43,6% da área total (830 m).

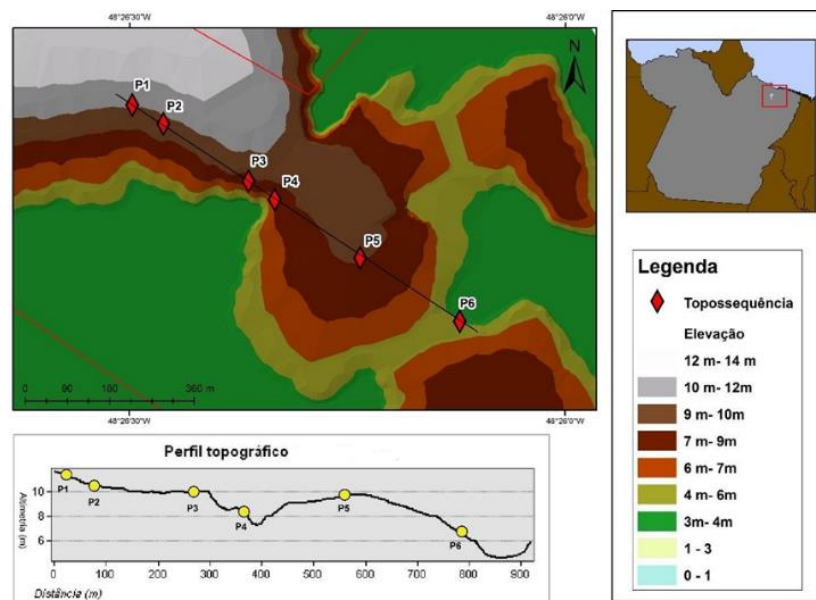


Figura 6 – Mapa do perfil topográfico da topossequência

Essa diferença de declividade observada dentro da topossequência, confirmou o esperado ao se realizar o mapeamento local, já que o mesmo constatou a existência de três classes diferentes de relevo na área total da UFRA Campus-Belém, e, segundo Oliveira (2012), a variação pedológica é condicionada pela distinção geológica e pelo relevo, já que o mesmo vai se formando de forma concomitante ao desenvolvimento do solo (Demattê et al., 2014). A vegetação observada na topossequência variou em seus pontos havendo em P1, presença de vegetação rasteira, áreas de pasto, e áreas de plantio (Mandioca, Açaí e Girassol), em P2 observou-se Girassol e solos tomado por gramíneas, nos Pontos 3, 4 e 5, notou-se área de mata, e o Ponto 6 localizou-se em área de baixada, alagada em períodos de alta pluviosidade.

Ao se analisar as colorações das camadas dos

solos observados, notou-se predominância da tonalidade amarelada em cinco (P1-P5), dos seis pontos avaliados. Esta definição das cores seguiu a tabela de Munsell (Santos, et al., 2013), sendo classificadas de acordo com a profundidade da camada analisada. Nas camadas mais superficiais (0-20 cm), observou-se coloração Bruno-escuro em P1 e P2, Bruno-muito-escuro em P3 e P4, Bruno em P5, e Bruno-amarelo-escuro em P6 (Tabela 1). Já nas camadas intermediárias (40-60 cm), as colorações encontradas foram Bruno-amarelado-escuro em P1 e P5, Bruno-escuro em P2, Bruno-muito-escuro em P3, e Preto em P4. Enquanto nas camadas mais profundas (80-100 cm), foram observadas coloração Bruno-amarelado em P1 e P2, Bruno-amarelado-escuro em P3 e P5, e Bruno- muito-escuro em P4. Em P6, não houve avaliação destas camadas (Tabela 1). Esta predominância da coloração amarelada, deve-se,

provavelmente, à presença de compostos ferrosos, como a goethita, na composição do solo nestas camadas, já que, segundo Ker (1997), este óxido de ferro é responsável por atribuir coloração amarelada aos solos.

Já no ponto 6, as colorações observadas foram mais acinzentadas (Tabela 1), sendo identificada a presença de óxido de ferro. Esta coloração provavelmente está relacionada ao acúmulo de matéria orgânica, segundo Oliveira Neto e Silva (2016), e pode indicar redução, solubilização ou remoção dos óxidos de ferro (Botelho et al., 2006;

Santos e Zaroni, 2017), já que o processo de gleização implica na redução, solubilização ou precipitação destes compostos, permitindo a expressão das cores neutras dos minerais de argila. Neste P6, observou-se a presença de mosqueado a partir de 80 cm de profundidade, sendo considerado abundante acima de 30% (Tabela 1). Exatamente como apontado por Oliveira Neto e Silva (2016), que indicam o horizonte glei iniciando dentro de 50 cm da superfície, ou entre 50 e 125 cm, desde que precedido por horizontes com presença de mosqueados abundantes.

Tabela 1- Características morfológicas do solo em cada ponto da topossequência.

Pontos da topossequência	Profundidade (cm)	Consistência do solo quando úmido	Cor
Ponto 1	0-20	Muito friável	7.5 YR 3/4 – Bruno-escuro
	40-60	Friável	10 YR 3/4 – Bruno-amarelado-escuro
	80-100	Friável	10 YR 5/8 – Bruno-amarelado
Ponto 2	0-20	Friável	7.5 YR 3/4 – Bruno-escuro
	40-60	Firme	10 YR 3/4 – Bruno-amarelado-escuro
	80-100	Friável	10 YR 5/8 – Bruno-amarelado
Ponto 3	0-20	Muito friável	10 YR 2/2 – Bruno-muito-escuro
	40-60	Muito firme	10 YR 2/2 – Bruno-muito-escuro
	80-100	Solto	10 YR 2/2 – Bruno-muito-escuro
Ponto 4	0-20	Solto	10 YR 2/1 – Preto
	40-60	Solto	10 YR 2/2 – Bruno muito escuro
	80-100	Solto	7,5 YR 4/4 – Bruno
Ponto 5	0-20	Friável	10 YR 3/4 – Bruno-amarelado-escuro
	40-60	Friável	
	80-100	Extremamente firme	
Ponto 6	0-20	Extremamente firme	30%-Mosqueado
	40-60	Extremamente firme	
	80-100	Extremamente firme	

Ainda de acordo com a Tabela 1, denota-se na topossequência, colorações de solos caracterizadas pela Matiz “YR”, que corresponde ao tom vermelho-amarelado (yellow-red), o que, segundo Tremocoldi (2003) e Das e Hendry (2011), é considerado comum em solos bem drenados em condições de oxidação, devido a presença de óxidos de Fe (Hematita) e oxi-hidróxido de Fe hidratados (Goethita), que são as substâncias responsáveis pelo tom avermelhado e amarelado do solo, respectivamente. A presença desses argilominerais é proveniente da intensa intemperização dos constituintes minerais, promovendo maior concentração de óxidos e hidróxidos de ferro e de alumínio no solo (Batista et al., 2014).

Tratando-se da consistência do solo (Tabela 1), em P1, a mesma foi considerada muito friável na camada superficial (0-20 cm), passando a ser friável nas suas camadas mais profundas (40-60 cm e 80-100 cm). Assim as condições para as quais um solo exibe friabilidade, são também aquelas ótimas para aração,

e que são apresentadas quando a coesão entre as partículas sólidas do solo é mínima. Em P2, houve alteração em consistência apenas na camada intermediária (40-60 cm), que encontrava-se firme, já as suas demais camadas (0-20 cm e 80-100 cm), foram friáveis; P3 apresentou-se muito friável na superfície (0-20 cm), passando à consistência muito firme e solto nas camadas intermediária (40-60 cm) e profunda (80-100 cm) nesta ordem; já P4 teve solo de consistência solta em todas as suas camadas, enquanto P5 e P6 apresentaram solos friável e extremamente firme, respectivamente, sem diferenciação entre camadas.

A consistência do solo é a resistência de um material à deformação ou ruptura, ou o grau de coesão e adesão da massa ao solo, sendo caracterizada, quando em solo úmido, pela friabilidade, a qual, por sua vez, caracteriza a facilidade de ruptura da massa do solo úmido. Baseado nisto, pode-se estimar que, dos pontos avaliados, os solos com melhores condições para

aração, são os encontrados em P4, já que possui todas as suas camadas com solo de consistência solta.

De acordo com as descrições feitas acima e dispostas na Tabela 1, juntamente com a avaliação in loco dos solos da topossequência, P1, P2, P3, P4 e P5 foram classificados, à nível de ordem, como formado por Latossolo Amarelo, enquanto P6 foi considerado Gleissolo. O Latossolo Amarelo é comumente observado em relevo plano, que foi predominante nos solos observados na topossequência (61,63%). A cor amarelada foi uniforme em profundidade, já que em todas as áreas que apresentaram este tipo de solo, houve predominância de Matiz “YR”, segundo escala de Munsell (Santos et al., 2013), onde “Y” faz denotação a coloração amarela (EMBRAPA, 1988).

Já os Gleissolos são considerados, pelo SIBICS, como solos minerais, hidromórficos, com horizontes A (mineral) ou H (orgânico), seguido de um horizonte glei, resultado de modificações sofridas pelos óxidos de ferro existentes no solo (redução) em condições de encharcamento. Pode apresentar tanto argila de baixa atividade, quanto de alta atividade, e como estão localizados em baixadas, próximas às drenagens, suas características são influenciadas pela contribuição de partículas provenientes dos solos das posições mais altas (diferença de declividade) e da água de drenagem (Santos et al., 2018). Na topossequência avaliada no presente trabalho, ocorreu acúmulo de água em período chuvoso em dois dos pontos analisados (P5 e P6), devido a diferença de declividade destes pontos em relação aos demais, o que acaba por tornar ambos mais úmidos quando comparado aos outros quatro, demonstrando assim, uma maior capacidade de infiltração de água nos dois pontos supracitados.

Entretanto, o Ponto 6 foi o ponto considerado com maior umidade, já que se localiza em área de baixada. Isto está de acordo com o descrito por Santos e Zaroni (2017), que informaram que os solos desta classe se encontram permanente ou periodicamente saturados por água, e com o abordado por Pauletto et al. (1999), que indica que a formação de Gleissolos ocorre em condições de hidromorfismo, portanto a deficiente drenagem natural é, normalmente, motivada pelo relevo predominantemente plano, associado a um perfil com camada superficial pouco profunda e subsuperficial praticamente impermeável. Estas caracterizações da região da topossequência (830 m – distância horizontal), bem como da área total avaliada (207,62 ha), permitiram estipular a delimitação de cada classe de solo, podendo, por meio deste conhecimento, promover uma melhor capacitação do uso dos solos deste local

4. Conclusão

Foi possível realizar o levantamento de dados sobre os solos da UFRA a partir de mapas bases e de materiais didáticos pré-existentes. Foram identificadas três classes de declividade do solo do local estudado, com relevo plano, não-homogêneo, abrangendo a maior parte da área, tendo grau de declividade de 0-3 %.

As redes de drenagem foram dendríticas, pouco orientadas, pouco integradas, pouco uniformes, e com densidade mediana, promovendo baixa velocidade de escoamento, com acúmulo de água em período chuvoso em dois pontos analisados. Na topossequência, foi determinado Latossolo amarelo, em cinco pontos – de seis, e Gleissolo em um ponto, com predomínio da cor Bruno-amarela (escura ou não) em todos os pontos, provavelmente devido a presença de compostos ferrosos na sua composição.

Referências

- Alves, A.K., Costa, M.V.C., 2007. Mapeamento do uso do solo e cobertura vegetal da Bacia do Ribeirão Santa Juliana no Triângulo Mineiro. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis.
- Araújo, G.M., Santos, F.F.L., Martins, R.N., Tavares, L.C.M., Viana, L.A., Almeida, S.L.H., 2018. Avaliação da Precisão de Diferentes Dispositivos GNSS. Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas 12, 212-222. doi: <https://doi.org/10.18011/bioeng2018v12n2p212-222>
- Bastos, T.X., Pacheco, N.A., Nechet, D., Sá, T.D.A., 2002. Aspectos climáticos de Belém nos últimos cem anos. Embrapa Amazônia Oriental, Belém. (Documentos, 128).
- Batista, M.D.A., Paiva, D.W.de, Marcolino, A., 2014. Solos para todos: perguntas e respostas. Embrapa Solos, Rio de Janeiro. (Documentos, 169).
- Botelho, M.R., Dalmolin, R.S.D., Pedron, F.D.A., Azevedo, A.C.D., Rodrigues, R.B., Miguel, P., 2006. Medida da cor em solos do Rio Grande do Sul com a carta de Munsell e por colorimetria. Ciência Rural 36, 1179-1185. doi: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782006000400021>
- Carvalho, C.C.N., Nunes, F.C., Antunes, M.A.H., 2013. Histórico do levantamento de solos no Brasil: da industrialização brasileira à era da informação. Revista Brasileira de Cartografia 65, 997-1013.
- Carvalho, C.C.N., Nunes, F.C., Antunes, M.A.H., Nolasco, M.C., 2015. Soil surveys in Brazil and perspectives in soil digital mapping. Soil Horizons 56, 1-9. doi: [10.2136/sh14-01-0002](https://doi.org/10.2136/sh14-01-0002)
- Coelho, F.F., Giasson, E., 2010. Comparação de

- métodos para mapeamento digital de solos com utilização de sistema de informação geográfica. *Ciência Rural* 40, 2099-2106. doi: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782010005000156>
- Cunha, P., Marques Júnior, J., Curi, N., Pereira, G.T., Lepsch, I.F., 2005. Superfícies geomórficas e atributos de Latossolos em uma seqüência arenítico-basáltica da região de Jaboticabal (SP). *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 29, 81-90. doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000100009>
- Das, S., Hendry, M.J., 2011. Changes of crystal morphology of aged goethite over a range of pH (2–13) at 100° C. *Applied clay science* 51, 192-197. doi: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2010.11.006>
- Demattê, J.A.M., Demétrio, V.A., 1993. Caracterização de solos por padrões de drenagem e sua relação com índices de intemperismo. Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Goiânia.
- Demattê, J.A., Alves, M.R., Gallo, B.C., Fongaro, C.T., 2014. Detecção de limites de solos por dados espectrais e de relevo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 38, 718-729. doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000300004>
- Demattê, J.A.M., Vasques, G.D.M., Corrêa, E.A., Arruda, G.P.D., 2012. Fotopedologia, espectroscopia e sistema de informação geográfica na caracterização de solos desenvolvidos do Grupo Barreiras no Amapá. *Bragantia* 71, 438-446. doi: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052012000300018>
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1988. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Critérios para distinção de classes de solos e de fases de unidades de mapeamento: normas em uso pelo SNLCS. Embrapa-SNLCS, Rio de Janeiro. (Documentos, 11).
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (2006). Procedimentos normativos de levantamentos pedológicos. Embrapa-Documents, Rio de Janeiro.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2011. Mapeamento digital de solos se organiza no Brasil. Embrapa. (Documentos, 316).
- El-Robrini, M., Torres, A.M., Costa, W.J.P., 2018. Panorama da Erosão Costeira do Estado do Pará, in: Muehe, D., Panorama da Erosão Costeira do Estado do Pará. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, pp. 65-166.
- Figueiredo, S.R., 2006. Mapeamento supervisionado de solos através do uso de regressões logísticas múltiplas e sistema de informações geográficas. Dissertação (Mestrado). Porto Alegre, UFRGS.
- Flach, C.W., Corrêa, E.A., 2017. Levantamento de solos no Brasil: métodos, práticas e dificuldades. *Geographia Meridionalis* 3, 420-431.
- Fraga, M.S., Ferreira, R.G., Silva, F.B., Vieira, N.P.A., Silva, D.P.da, Barros, F.M., Martins, I.S.B., 2014. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Catolé Grande, Bahia, Brasil. *Nativa* 2, 214-218. doi: [10.31413/nativa.v2i4.1785](https://doi.org/10.31413/nativa.v2i4.1785)
- Franca, R.R.D., Mendonça, F.D.A., 2016. A pluviosidade na Amazônia meridional: variabilidade e teleconexões extra-regionais. *Confins. Revue Franco-Brésilienne de Géographie/Revista Franco-Brasileira de Geografia* 29, 1-12. doi: <https://doi.org/10.4000/confins.11580>
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2015. Manual técnico de Pedologia. 3ed. IBGE, Rio de Janeiro.
- KER, J.C., 1997. Latossolos do Brasil: uma revisão. *Geonomos*, 17-40. doi: <https://doi.org/10.18285/geonomos.v5i1.187>
- Lima, V.C., 2015. Caracterização dos solos através da rede de drenagem e sua relação com índice de intemperismo (Ki) em uma topossequência no SE do Brasil. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso). Viçosa, UFV.
- Nolasco-Carvalho, C.C., Franca-Rocha, W., Ucha, J.M., 2009. Mapa digital de solos: Uma proposta metodológica usando inferência fuzzy. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 13, 46-55. doi: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662009000100007>
- Oliveira, L.A., 2012. Análise da qualidade de obtenção de classes de solos, no município de Uberlândia/MG, utilizando-se Sistema de Informação Geográfica – SIG. *Caminhos de Geografia* 13, 113-127.
- Oliveira Neto, M.B., Silva, M.S.L., 2016. Árvore do conhecimento. Território Mata Sul Pernambucana – Gleissolos. Agência Embrapa de Informação Tecnológica (AGEITEC).
- Pauletto, E.A., Gomes, A.S., Sousa, R., 1999. O Manejo de solos de várzea, in: Gomes, A.S., Pauletto, E. A., Manejo do solo e da água em áreas de várzea. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, pp. 61-87.
- Planchon, O., Darboux, F., 2002. A fast, simple and versatile algorithm to fill the depressions of digital elevation models. *Catena* 46, 159-176. doi: [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(01\)00164-3](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(01)00164-3)
- Progênio, M.F., da Costa Filho, F.A.M., Raiol Souza, M.J., Pessoa, F.C.L., 2019. Análise do potencial de impacto ambiental para implantação de pequenas centrais hidroelétricas nas unidades

- hidrográficas do estado do Pará. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, Desarrollo y Práctica* 12, 399-412. doi: <http://dx.doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2019.12.3.62469>
- Progênio, M.F., Costa Filho, F.A.M.da, Crispim, D.L., Raiol Souza, M.J., Pimentel da Silva, G.D., Fernandes, L.L., 2020. Ranking sustainable areas for the development of tidal power plants: A case study in the northern coastline of Brazil. *International Journal of Energy Research* 44, 9772-9786. doi: <https://doi.org/10.1002/er.5716>
- Ramos, C., 2005. Programa de Hidrogeografia, Linha de Investigação em Dinâmica Litoral e Fluvial, DILIF – 3. Centro de Estudos Geográficos, Lisboa.
- Santos, H.G., Aglio, M.L.D., Dart, R.D.O., Breffin, M., Souza, J.S.de, Mendonça, L., 2013. Distribuição Espacial dos Níveis de Levantamento de Solos no Brasil. Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Florianópolis.
- Santos, H.G., Jacomine, P.K.T., Anjos, L.H.C., Oliveira, V.A., Lumbrreras, J.F., Coelho, M.R., Almeida, J.A., Araújo Filho, J.C., Oliveira, J.B., Cunha, T.J.F., 2018. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Embrapa, Brasília.
- Santos, H.G., Zaroni, M.J., 2017. Árvore do conhecimento. Solos Tropicais – Gleissolos. Agência Embrapa de Informação Tecnológica (AGEITEC).
- Santos, P.C.T.C., Vieira, L.S., Vieira, M.D.N.F., Cardoso, A., 1983. Os solos da Faculdade de Ciências Agrárias do Pará. Informe didático. FCAP, Belém.
- Silva, B.A., Martins, V.M., Macedo, R.S., Hayakawa, E.H., Sanchez, R.M., Danzer, M., 2018. Mapeamento digital de solos e os atributos topográficos das vertentes no alto curso da sub-bacia hidrográfica do córrego quatro pontes, Pr-Brasil. *Revista Brasileira de Geomorfologia* 19, 871-886. doi: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v19i4.1385>
- Stipp, N.A.F., Campos, R.A., Caviglione, J.H., 2010. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio Taquara–Uma contribuição para o estudo das ciências ambientais. *Portal de Cartografia das Geociências* 3, 105-124.
- Tremocoldi, W.A., 2003. Mineralogia dos silicatos e dos óxidos de ferro da fração argila de solos desenvolvidos de rochas básicas no Estado de São Paulo. *Revista Biociências* 9, 15-22.
- USGS. United States Geological Survey, 2019. Ferramenta Earth Explorer. Disponível: <https://earthexplorer.usgs.gov>. Acesso: 10 set. 2019.