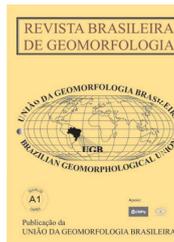


www.ugb.org.br
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 19, nº 3 (2018)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v19i3.1288>



DINÂMICA VEGETAL E EVOLUÇÃO DA PAISAGEM NO CONTATO ENTRE CAMPINARANA E CAMPINA SOBRE ESPODOSSOLOS - BACIA DO RIO DEMINI - AM (BRASIL)

VEGETATION DYNAMICS AND LANDSCAPE EVOLUTION IN THE CONTACT BETWEEN CAMPINARANA AND CAMPINA ON SPODOSOLS - DEMINI RIVER BASIN-AM (BRAZIL)

Felipe Silva Guimarães

*Departamento de Geografia, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Av. Itaú, 505- Belo Horizonte, Minas Gerais. CEP: 30.535-012. Brasil
E-mail: felipeecologia@yahoo.com.br*

Guilherme Taitson Bueno

*Departamento de Geografia, Universidade Federal de Goiás
Avenida da Esperança, s/n, Goiânia, Goiás. CEP: 74.690-900. Brasil
E-mail: guilhermetaitsonb@gmail.com*

Débora de Sena Oliveira Mendes

*Departamento de Geografia, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Av. Itaú, 505- Belo Horizonte, Minas Gerais. CEP: 30.535-012. Brasil
E-mail: dsomendes@gmail.com*

Nádia Regina do Nascimento

*Departamento de Geografia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"
Av. 24-A, 1515, Rio Claro, São Paulo. CEP: 13.506-900. Brasil
E-mail: nadianascimento2013@gmail.com*

Alisson Duarte Diniz

*Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia
Rua Barão de Jeremoabo, s/n, Salvador, Bahia. CEP: 40170-115. Brasil
E-mail: alisson.diniz@ufba.br*

Jorge Batista de Souza

*Departamento de Geografia, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Av. Itaú, 505- Belo Horizonte, Minas Gerais. CEP: 30.535-012. Brasil
E-mail: jorgebsouza@yahoo.com.br*

Informações sobre o Artigo

Data de Recebimento:
10/08/2017

Data de Aprovação:
28/02/2018

Palavras-chave:

Razão Isotópica do Carbono;
Evolução da Paisagem;
Amazônia.

Keywords: Carbon Isotope
Ratio; Landscape Evolution;
Amazônia.

Resumo:

As campinas e campinaranas são ecossistemas amazônicos de grande importância, sobretudo, na Bacia do Rio Negro, As campinaranas são fitofisionomias florestais onde predominam plantas de metabolismo C_3 . Já as campinas são fitofisionomias abertas caracterizadas pela abundância de plantas C_4 . Estes ecossistemas estão frequentemente associados aos Espodosolos, que possuem horizonte espódico pela migração do húmus proveniente dos horizontes superficiais e posterior acúmulo em alguma região do perfil. Estudos têm mostrado que a dinâmica de retração e expansão entre campinas e campinaranas está relacionada a processos pedogenéticos e morfogenéticos. Os objetivos deste trabalho são verificar se na área de estudo tem ocorrido a expansão ou a contração das campinas sobre as campinaranas e propor um modelo para explicar esta dinâmica. Foi traçado um transecto da borda do baixo platô em direção a seu centro de modo a contemplar as principais fitofisionomias presentes na região. Ao longo deste transecto foram abertas trincheiras para descrição pedológica e coleta de amostras para realização

de análises físico-químicas e de razão isotópica do carbono. Esta última foi procedida em amostras dos horizontes A e Bh. As interpretações feitas com base na literatura disponível sobre a evolução da paisagem da região, nos resultados das análises físicas e de razão isotópica do carbono sugerem que as campinaranas, que estão associadas aos Espodosolos, têm expandido em função da retração das campinas que se encontram sobre Gleissolos ou Organossolos. O processo motriz desta dinâmica está relacionado à incisão dos cursos d'água nos platôs culminando na drenagem e exaustão da fração argila destes últimos.

Abstract:

The campinas and campinaranas are Amazonian ecosystems of great value, especially in the Rio Negro Basin. The campinaranas are an forest *phytophysiology* where C_4 metabolism plants predominate. The campinas are an grassland *phytophysiology* characterized by the abundance of C_3 plants. These ecosystems are often associated to Spodosols. These soils have a Bh horizon formed by the humus migration from the surface horizons and subsequently accumulate in some region of the profile. Studies have shown that the dynamics of contraction and expansion between campinas and campinaranas are related to pedogenetic and morphogenetic processes. The goals of this paper is to verify if there have been expansion or contraction of the campinas over the campinaranas in the study area the and propose a model to explain this dynamic. A transect was established from the edge of the low plateau toward its center so as to include the main the *phytophysiology*s of the region. Along this transect pits were opened for pedological description and sample collection for physicochemical and carbon isotope ratio analysis. The latter was performed on samples of the A and Bh horizons. The interpretations made based on the available literature about the region landscape evolution, results of physical analysis and carbon isotope ratio analysis suggest the campinaranas, which are associated with Spodosols, have expanded and the campinas that lies on Gleysols and Histosols are retracting. The driving process of this dynamics is related to incision of the watercourses on the plateaus culminating in drainage and clay depletion of the plateaus.

Introdução

As campinas e campinaranas são ecossistemas amazônicos que ocorrem em áreas normalmente sujeitas ao alagamento periódico (Silveira 2003) sobre solos extremamente pobres, normalmente Espodosolos (Ferreira 2009 e Mendonça 2011). Na bacia do Rio Negro estas fitofisionomias ocupam grandes áreas contínuas (Anderson 1978, Whitmore e Prace 1987,

Junk *et al.* 2011), mas podem ocorrer em padrão insular em meio a uma matriz de floresta de terra firme (Oliveira *et al.* 2001 e Vicentini 2004).

Os Espodosolos são solos essencialmente arenosos, constituídos por material mineral, apresentando horizonte espódico (Bh, Bs, Bhs) imediatamente abaixo do horizonte E, A ou horizonte hístico (Embrapa 2006). Segundo

Oliveira (2011), o B espódico é formado a partir da migração da matéria orgânica que pode gerar compostos complexos com Fe e Al (Oliveira 2011).

A matéria orgânica acumulada nos horizontes Bh guarda importantes informações sobre a vegetação que a formou, sendo possível, através das análises dos isótopos estáveis de carbono (^{13}C e ^{12}C), saber se esta vegetação era constituída principalmente por plantas de metabolismo C₃ (maioria das árvores e arbustos) ou C₄ (principalmente gramíneas) (Schwartz *et al.* 1986 e Martinelli *et al.* 2009). Segundo Pessenda *et al.* (2009), a aplicação de isótopos de carbono para este fim é baseada nas diferenças da composição em ^{13}C que as espécies C₃ e C₄ possuem. A composição isotópica do carbono é expressa pela notação $\delta^{13}\text{C}$, onde valores de $\delta^{13}\text{C}$ entre -24‰ e -38‰ indicam plantas do tipo C₃, enquanto as plantas do tipo C₄ são representadas por valores entre -11‰ e -15‰ (Martinelli *et al.* 2009).

As campinas são caracterizadas por serem fitofisionomias abertas que frequentemente apresentam uma matriz herbácea na qual se salientam arbustos com altura de um a cinco metros, e alguns indivíduos podendo alcançar nove metros (Ferreira 2009). As campinaranas são fisionomias de porte florestal marcadas pela presença de um sub-bosque relativamente espaçado e escassez de lianas e cipós. Nesta fitofisionomia as árvores podem alcançar 30 metros de altura (Anderson 1981). É comum a ocorrência de transições entre campina e campinarana, ou mesmo entre floresta de terra firme, campinarana e campina, ao longo de um gradiente edáfico-ecológico (Silveira 2003). Todavia, são raros estudos que buscam elucidar questões sobre a dinâmica de recuo e avanço destas fitofisionomias uma em relação às outras.

Prance e Schubart (1978) apresentaram uma das primeiras hipóteses sobre essa dinâmica. Segundo esses autores, as campinas seriam representariam áreas que sofreram impactos por queimadas, a cerca de mil e duzentos anos, principalmente por populações indígenas e atualmente se encontrariam em estágios iniciais da sucessão ecológica. Para os autores, a sucessão ecológica nestes ambientes seria extremamente lenta devido à pobreza nutricional do solo e as baixa capacidade do substrato em reter água. Nesse contexto, se houvesse uma situação de relativa estabilidade durante muito tempo, as campinas seriam gradativamente substituídas pelas campinaranas e estas

últimas pelas florestas de terra firme.

Existem duas propostas mais atuais que podem explicar a dinâmica de expansão ou contração das campinas e campinaranas. Uma delas está relacionada ao empobrecimento em argila de solos lateríticos e consequente podzolização destes. Isto ocorre comumente ao longo de sequências de solos que vão das bordas para o centro dos baixos platôs, terminando em suaves depressões com solos hidromórficos que se desenvolvem nos interflúvios. Nestas depressões, acumulam-se água e matéria orgânica, favorecendo a desestabilização e destruição dos minerais de argila, tendo como consequência o esgotamento da fração argila do solo e o empobrecimento deste por lixiviação e lessivagem (Chauvel *et al.* 1987, Bravard e Righi 1989, Dubroeuq *et al.* 1999, Mafra *et al.* 2002, Nascimento *et al.* 2004, Bueno 2009 e Bueno *et al.* 2011). Neste caso, as campinas estão relacionadas às partes mais centrais das depressões, enquanto as campinaranas às partes mais periféricas, ainda sobre Espodossolos, e as florestas de terra firme às bordas de platô, onde ainda existem os solos lateríticos (Bueno 2009). Neste contexto, as campinaranas e florestas de terra firme estariam se retraindo em função da expansão das campinas que acompanhariam a expansão das depressões com Espodossolos hidromórficos

Rossetti *et al.* (2012) propôs um modelo relacionado à formação de paleocanais arenosos devido a atividades tectônicas recentes. Foi postulado por estes autores que a bacia do Rio Demini foi afetada por tectonismo ocasionando a subsidência de blocos, o que desorganizou a drenagem fazendo com que a região rebaixada fosse transformada em uma área de acumulação em megaleque. Nestas áreas formaram-se lagos rasos onde apenas espécies que possuem adaptações a condições de alagamento sobrevivem; normalmente estas são de porte herbáceo e arbustivo, formando as campinas. Nas partes um pouco mais elevadas, sujeitas a menor estresse por alagamento, encontram-se as campinaranas. À medida que procede a sedimentação das áreas rebaixadas por subsidência, ocorreria o gradativo nivelamento do relevo, amenizando as condições de inundação, o que favoreceria o avanço da campinarana sobre a campina.

Ressalta-se que, na área de estudos não existem trabalhos em escala de detalhe visando à compreensão das relações dinâmicas entre as fitofisionomias de maior e menor biomassa. Dentre os trabalhos acima citados,

apenas o de Rossetti *et al.* (2012) foi proposto para a região em que se insere a área de estudos. Assim, os objetivos do trabalho aqui apresentado são: 1. verificar se na área de estudo tem ocorrido a expansão ou a contração das campinas sobre as campinaranas durante o Quaternário. 2. propor um modelo que possa explicar esta dinâmica de vegetação.

Materiais e métodos

A área de estudada situa-se na porção centro-leste do município de Barcelos – AM, à distância de 140 km ao norte da sede do referido município, na margem direita do Rio Demini (Figura 1). O clima é do tipo Afi, de acordo com a classificação de Köppen. Predominam baixas amplitudes anuais pluviométrica e térmica. A variação térmica mensal não ultrapassa 5°C. A temperatura média anual é de 25,9°C e a precipitação

média anual é de 2548 mm. As chuvas se concentram entre março e julho, sendo maio o mês mais chuvoso (338 mm). A precipitação varia de 137 a 184 mm entre os meses de agosto e dezembro (INMET, 2018). O sítio de estudo está localizado sobre Formação Içá (Terciária), sendo esta uma sucessão deposicional que na região estudada apresenta textura predominantemente arenosa (CPRM 2005 e Campbell *et al.* 2006). Na área de estudo, esta formação repousa sobre a associação petroectônica Proterozóica do Complexo Cauaburi (CPRM 2000). Quanto à geomorfologia, é uma ampla superfície relativamente plana, na qual os baixos platôs, que configuram os principais interflúvios, estão entre 10 e 15 m acima do nível dos rios de maior volume de água. A vegetação é caracterizada por apresentar transições entre campinarana florestada, campinarana arborizada e campina, sendo que as áreas de campinas apresentam condições de alagamento.

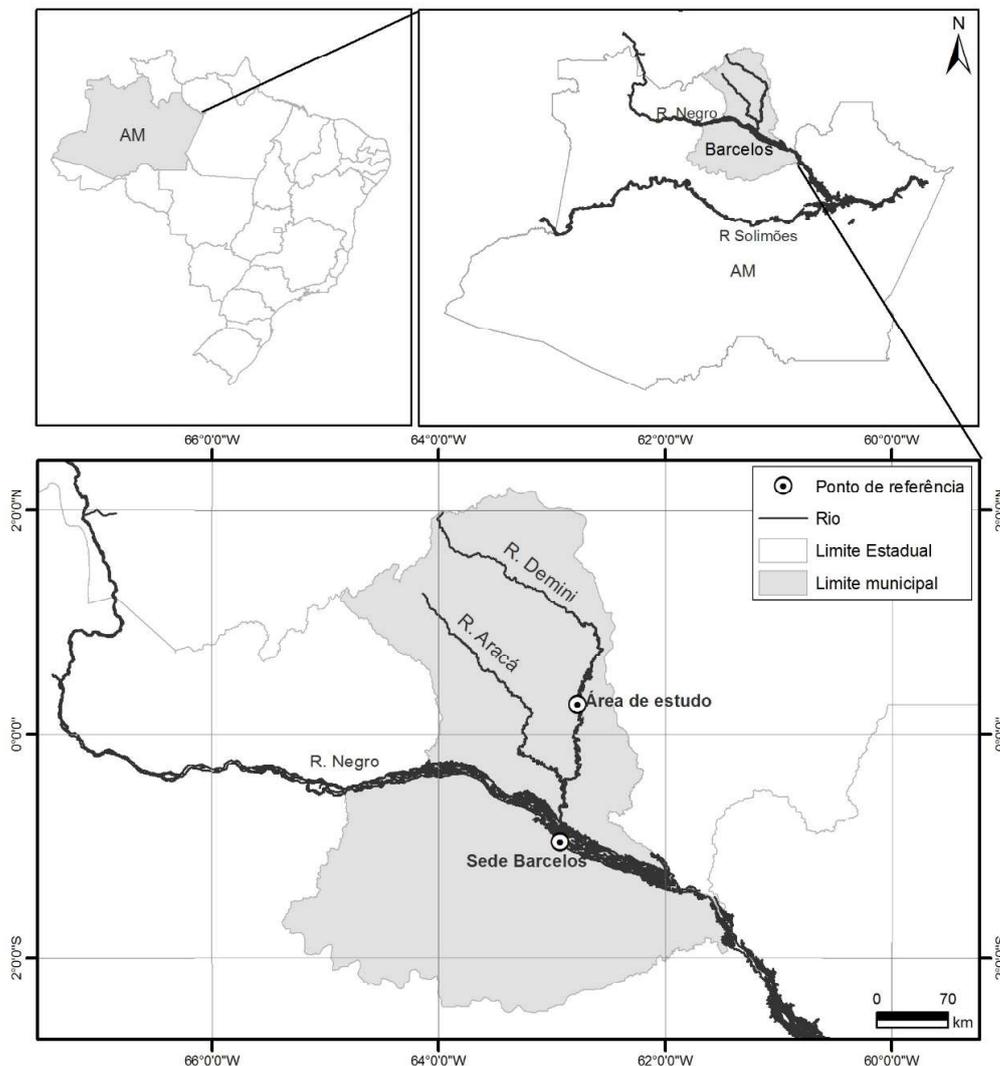


Figura 1 -. Localização da área de estudo

Foi traçado um transecto que contemplou as três fitofisionomias dominantes na região da área de estudo (campinarana florestada, arborizada e campina), como mostra a Figura 2. A topografia do transecto foi medida com o auxílio de um clinômetro.

Com base em variações de características fisionômicas e estruturais da vegetação, características do solo, topografia e do nível do lençol freático, foram delimitados seis geoambientes ao longo do transecto: três na campinarana florestada (G1, G2 e G3), um na campinarana arborizada (G4) e dois na campina (G5 e G6). Nos três primeiros foram abertas trincheiras

para amostragem de solo (Figura 2) e amostras mais profundas foram adquiridas através de tradagens no fundo de cada trincheira. Nos geoambientes G4, G5 e G6 as amostras foram coletadas utilizando apenas tradagens (Figura 2), devido à altura do nível do lençol freático, que impossibilitava a abertura de trincheiras. Além disso, foram feitas tradagens entre os pontos de amostragem, a fim de verificar transições no solo. Os procedimentos de amostragem e descrição dos solos foram feitos de acordo com Santos *et al.*, (2005). Os solos foram classificados seguindo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa 2006).

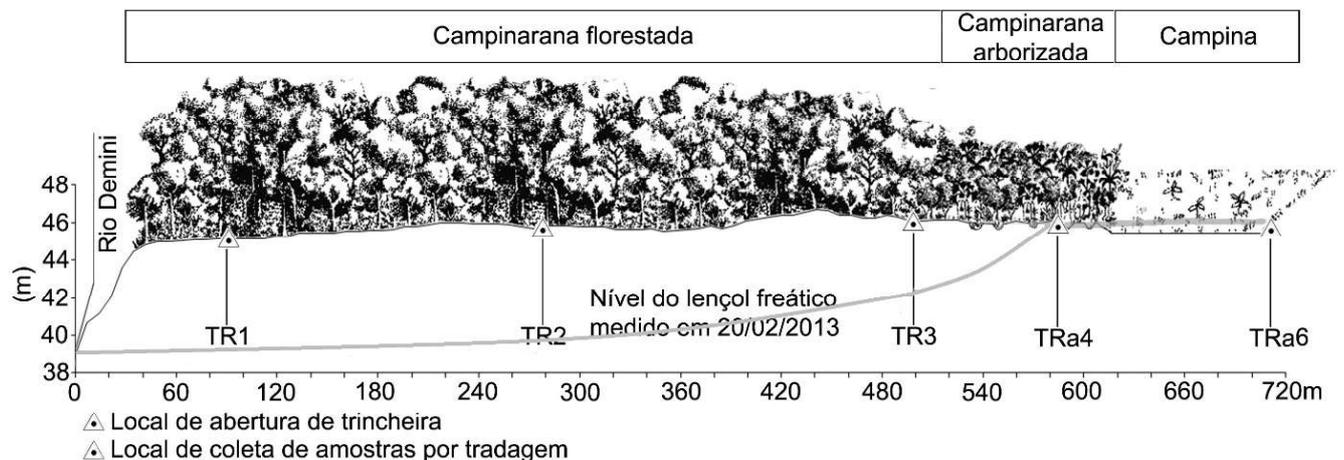


Figura 2 - Perfil topográfico do transecto estudado mostrando a variação da vegetação e pontos de amostragem de solo ao longo do transecto.

As amostras de solo foram conduzidas ao laboratório de análise de solos da Universidade Federal de Viçosa (UFV) para as seguintes análises utilizando os equipamentos especificados a seguir: pH em H₂O - pHmetro (TEC-11, Tecnical, Piracicaba, SP, Brasil); P e P-remanescente (P-rem) - espectrofotômetro-UV (600S, Femto, São Paulo, SP, Brasil); K e Na - fotômetro de chama (FC-180, Barueri, SP, Brasil); Ca²⁺, Mg²⁺ - espectrofotômetro de absorção atômica (EspectrAA 220 FS, Varian, Las Vegas, NV, USA). A determinação das concentrações de Al³⁺, H + Al e teor de matéria orgânica (MO) foram feitas por titulação. Foi feito também o cálculo para determinar a capacidade de troca catiônica (CTC). As análises granulométricas destas amostras foram feitas pelo laboratório de Física do solo da Universidade Federal de Viçosa utilizando o método da pipeta. As amostras de horizonte A, bem como as amostras de cada perfil que apresentaram maior teor de matéria orgânica, foram encaminhadas para o laboratório GNS Stable Isotope Laboratory, na Nova

Zelândia, para a análise de isótopos de carbono ¹³C e ¹²C. Esta análise foi realizada após lavagem ácida das amostras utilizando um Espectrômetro de massa (GVI IsoPrime, IsoPrime, Manchester, UK, Reino Unido).

Resultados

Caracterização pedológica ao longo do transecto

Todas as amostras dos perfis TR1, TR2 e TR3 apresentaram as seguintes características: textura arenosa, sem estrutura (grãos soltos); não plástica; não pegajosa. Nestas três trincheiras ocorrem horizonte E subjacente ao horizonte A. Na TR1 o horizonte E (cinza - 7.5 YR 5/1) encontra-se na profundidade de 5 – 70 cm, onde há transição irregular e clara com horizonte Bhs. O Bhs (a aproximadamente 240 cm) é um horizonte brunado (10YR 5/3). Na sequência ocorre um horizonte E, entre 280 – 360 cm (bruno muito claro-acinzentado - 10YR 7/3), seguido por horizonte Bh2, 440 – 480 cm,

bruno muito escuro (7.5YR 2.5/3), e E2, a 480+ cm, bruno claro-acinzentado 2.5Y 8/2. A TR2 apresenta uma sequência de três horizontes E: E1 (5 – 50 cm, bruno, 10 YR 4/3); E2 (50 – 75 cm, bruno-escuro, 7.5 YR 3/3), um pouco mais orgânico que os demais horizontes E; e E3 (75 - 133 cm, cinza 7.5 YR 5/1). As transições entre estes três horizontes são onduladas e difusas. Subjacente ao E3 encontra-se um horizonte Bh_s (133 – 250 cm, bruno, 10YR 5/3), que apresenta transição irregular, clara com o horizonte E sobrejacente. Entre, aproximadamente, 250 – 300 cm há o horizonte E4 (bruno, 10YR 5/3), seguido pelos horizontes Bh₂ (bruno-escuro, 2.5Y 7/3) e E5 (bruno-claro acinzentado 2.5Y 7/3). Nos primeiros 15 cm da TR3 ocorrem delgadas faixas de matéria orgânica com cerca de 5 cm de espessura justapostas ao horizonte E1, que podem representar pequenos horizontes Bh, ou restos de carvão. O horizonte E1 (0 – 15 cm, cinza, 10YR 6/1) apresenta transição ondulada gradual para o horizonte subjacente Bh_s (15 – 35 cm, bruno-acinzentado-escuro, 10YR 4/2) e este último apresenta transição irregular e difusa para o horizonte E/Bh_s (35 – 80 cm, cinza, 10YR 5/1). O E/Bh_s apresenta transição plana difusa para o horizonte E2 (80 – 180 cm, cinzento-claro, 10YR 7/1). Um horizonte Bh (bruno muito escuro, 7.5YR 2.5/2) ocorre na profundidade de 240+.

A amostra mais superficial da TRa4, (0 – 10 cm, cinzento escuro, 4YR 4/1) apresentou textura franco-arenosa enquanto as amostras situadas a 40 cm (10YR 5/1, cinza) e 60 cm (cinzento claro 10YR 7/1) se enquadraram nos seguintes grupos texturais, respectivamente: areia franca e arenosa. Na TRa5, a amostra 0 – 10 cm (cinzento muito escuro, 2.5YR 3/1) apresentou textura franco-arenosa. As amostras nas profundidades de 40 cm (cinzento-rosado, 7.5YR 6/2) e 60 cm (bruno, 7.5YR 5/2) apresentaram textura de areia-franca. Já as amostras mais profundas do perfil, situadas a 120 cm (bruno-claro, 10YR 6/3) e 180 cm (cinza claro 10YR 7/2) se enquadraram nos respectivos grupos texturais: franco-argilo-arenoso e franco-arenoso. O horizonte representado pelas amostras nas profundidades de 120 cm e 180 cm foi interpretado como horizonte glei. O horizonte A deste perfil foi classificado como hístico por apresentar mais de 80g/kg de carbono orgânico e espessura superior de 20 cm (Embrapa 2006).

O solo dos perfis TR1, TR2 e TR3 foi classificado como ESPODOSSOLO FERRIHUMILÚVICO Órtico espessarênico. O perfil TRa4 foi classificado como ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidromórfico organossólico, sendo possível também a ocorrência nesta região de ESPODOSSOLO FERRIHUMILÚVICO Hidromórfico organossólico. TRa5 foi classificado como GLEISSOLO MELÂNICO Tb Distrófico organossólico também sendo possível a ocorrência neste geoambiente, dependendo da espessura do horizonte hístico, de ORGANOSSOLO HÁPLICO Hêmico (podendo também ser Sáprico) térrico.

As amostras de todos os perfis são distróficas, com V abaixo de 2,4%. Os horizontes mais orgânicos, A, Bh e Bh_s, apresentam maior CTC, no entanto os sítios de troca do complexo sortivo são quase na totalidade saturados por Al e H. Nas amostras de horizonte A, uma pequena parte dos sítios de troca está ocupada com bases trocáveis. Já nos horizontes mais profundos, mesmo quando apresentam elevada CTC, as cargas são totalmente ocupadas por H e Al.

TRa4 e TRa5 são mais siltosos e argilosos (Figura 3A e B) enquanto TR1 e TR2 são extremamente arenosos (Figura 3C). Embora TR3 seja mais próxima, quanto à granulometria, de TR1 e TR2, que representam a parte bem drenada do transecto, os teores de silte e argila desta trincheira apresentam valores intermediários entre a parte do transecto mais próxima ao rio (TR1 e TR2) e parte próxima ao centro do platô (TRa4 e TRa5), conforme pode-se observar na Figura 3A, B e C. Ao analisar esta figura, nota-se que há um gradiente granulométrico ao longo da sequência, onde a textura se torna mais fina em direção a Tra5, região que se desenvolve a campina.

Razão isotópica do carbono

Na maioria das trincheiras e tradagens, exceto em TRa5, os valores de ¹³C das amostras mais superficiais foram os mais baixos do perfil e houve uma tendência geral de aumento destes valores em função do aumento da profundidade. A variação de ¹³C foi de 3,4, sendo que o menor valor (-30,4‰) encontrado para a amostra do horizonte A da TR1 e o maior valor (-27,0‰) foi obtido para a amostra da TR2 situada a 410 cm de profundidade (Figura 4).

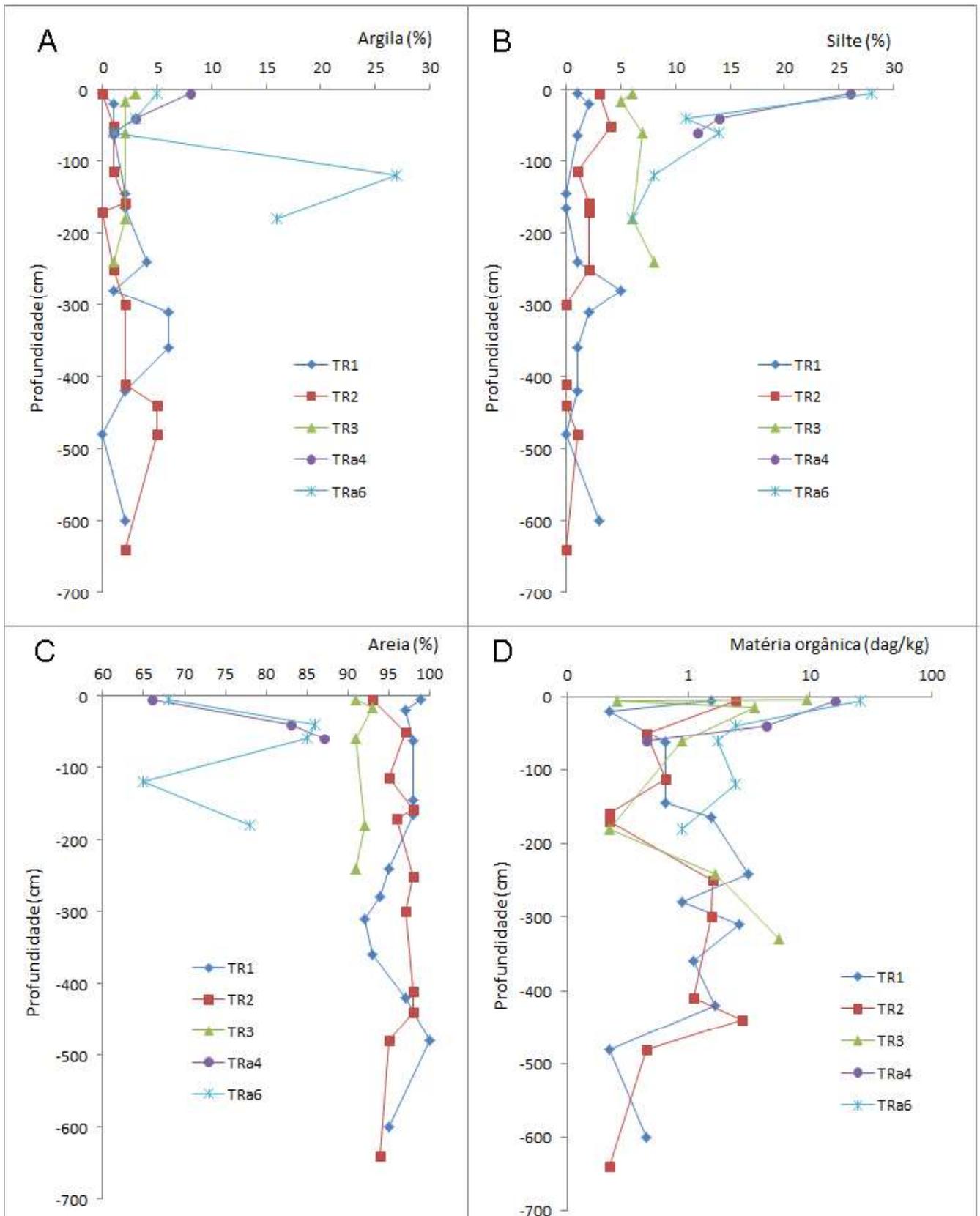


Figura 3 - Variação da granulometria e matéria orgânica em função da profundidade em todos os perfis estudados.

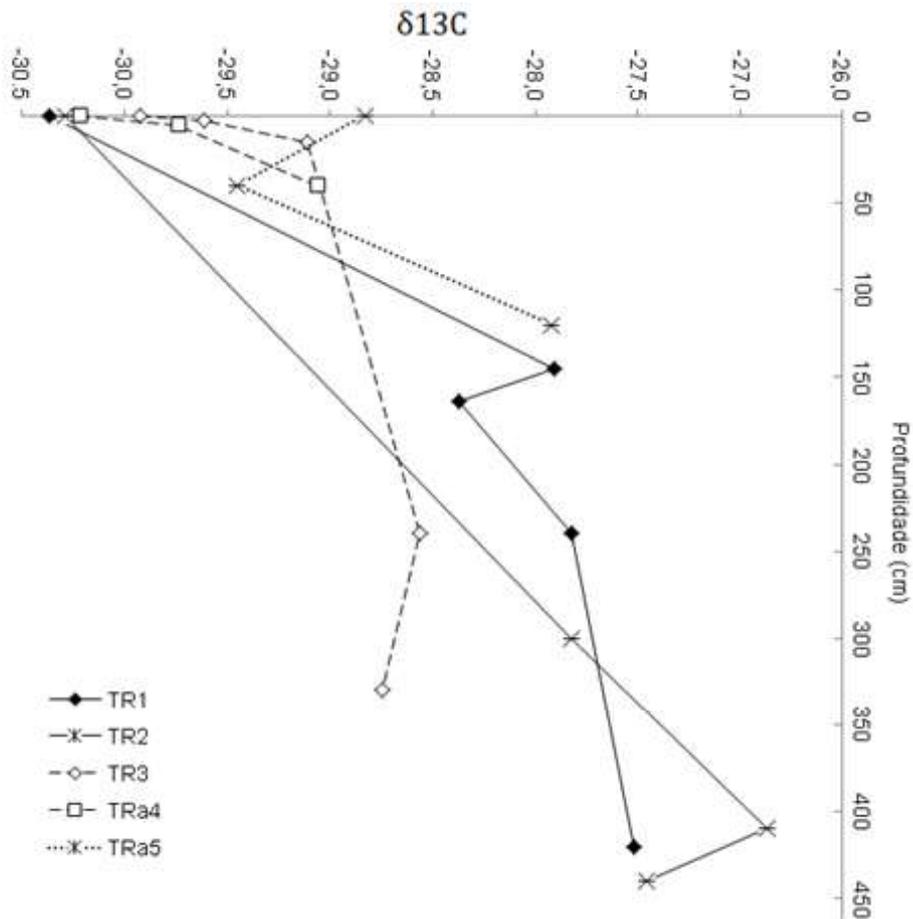


Figura 4 - Variação da composição isotópica na matéria orgânica do solo ao longo do transecto e dos perfis.

Os valores de ¹³C obtidos para amostras de serrapilheira/horizonte A das campinaranas foram próximos ou superiores a -30. Já o valor obtido para a campina foi o mais elevado, -28,8 (Figura 4).

Discussão

Interpretação das análises físico-químicas do solo

O fato de as amostras de horizonte A apresentarem uma pequena saturação por bases e as amostras coletadas no horizonte Bh estarem totalmente saturadas por H e Al pode indicar que as raízes, cuja concentração é maior nos horizontes superficiais, são eficientes na ciclagem de nutrientes a ponto de não permitirem que as bases migrem para maiores profundidades no perfil.

As curvas dos perfis TRa4 e TRa5 mostram expressiva variação vertical da granulometria (Figura 3A, B e C). Isso foi interpretado como decorrente da influência de estruturas sedimentares em camadas de diferente granulometrias, preservadas do material

sedimentar da Formação Içá, nesta parte do transecto. Nos demais perfis, de pedogênese mais avançada, essas estruturas já teriam sido apagadas. Esta interpretação sugere a ocorrência de eluviação das frações silte e argila, crescente no sentido centro - borda do platô, o que indica na expansão lateral do Espodosolos, cada vez mais bem drenados, em detrimento dos Gleissolos.

A acumulação da matéria orgânica em profundidade em TRa5 (Figura 3D) pode ser herança do ambiente de sedimentação da Formação Içá ou um horizonte Bh, de natureza pedológica. No entanto, teores relativamente elevados de argila e silte são uma restrição à migração vertical da matéria orgânica (Oliveira, 2011). Além disso, níveis orgânicos, turfosos, são comumente descritos na estratigrafia da Formação Içá (Brasil 1977). Nos perfis da área bem drenada do transecto (TR1, TR2 e TR3) trata-se, certamente, de horizontes Bh, formados quando a matéria orgânica, em migração vertical e lateral, encontra camadas menos porosas (mais argilosas, siltosas) herdadas da Formação Içá.

Interpretação das análises $\delta^{13}C$ e a dinâmica da vegetação na área de estudo

Ao contrário do que se esperava, a amostra mais superficial da campina (TRa5), a qual representa a identidade isotópica da vegetação atual (Martinelli *et al.* 2009), não apresentou valor de ^{13}C que indique uma vegetação de dominância de plantas C_4 , mas de plantas C_3 (Figura 4). A espécie dominante neste geoambiente é *Hypolitrum schraderianum* (Cyperaceae). Embora esta espécie seja uma gramínea, há estudos sobre Cyperaceae que apresentam via fotossintética C_3 (Li *et al.* 1999 e Bruhl e Wilson 2007), portanto é provável que esta espécie seja um exemplo.

De acordo com Martinelli *et al.* (2009), fatores que diminuem as taxas fotossintéticas, a exemplo de menores concentrações de CO_2 , alta incidência de luz a ponto de ocasionar o fechamento dos estômatos por um grande período e condições de alagamento (Arruda e Calbo 2004, Parolin *et al.* 2010 e Medri *et al.* 2012) provocam um pequeno aumento (entre -1‰ e -5‰) dos valores de ^{13}C . A amostra superficial na campina apresentou $^{13}C = -28,8$ enquanto o ^{13}C médio para esta mesma profundidade na campinarana foi de -30,2 (Figura 4). Assim, estes dados dão margem para a seguinte interpretação: mesmo que os valores de ^{13}C encontrados por este estudo não representem uma variação quanto ao ciclo fotossintético predominante nas diferentes regiões e profundidades amostradas no transecto, esta pequena variação em ^{13}C pode resultar de diferenças nas condições ambientais, sendo que valores inferiores ou muito próximos a -28,8‰ indicam ambientes com alta incidência de luz e/ou submetidos a longos períodos de alagamento. No caso da área de estudo, esses ambientes são as áreas de campinas. Por outro lado, valores mais baixos, acima de -29,6‰ devem indicar a presença de campinaranas.

Nota-se, através da Figura 4, que amostras mais profundas das trincheiras TR1 e TR2 apresentam valores superiores a -28,8‰ e as amostras mais profundas das trincheiras TR3 e da TRa4 apresentam valores próximos a -28,8‰. No caso da TRa4, a amostra orgânica mais profunda se encontrava a 40cm da superfície. É provável que se fosse viável obter amostras mais profundas na referida tradagem, este valor continuaria a aumentar, conforme mostra a tendência da linha (Figura 4). Portanto, se assumirmos que valores mais altos que -28,8‰ representam a vegetação que se desenvolveu sob condições

ambientais de alta luminosidade e alagamento, a análise da Figura 4 conduz a interpretar que, na área de estudo, as áreas que atualmente são ocupadas por campinaranas já foram campinas, ou seja, as campinaranas estão expandindo em detrimento das campinas. No entanto estes dados também permitem outra interpretação.

Segundo Martinelli *et al.* (2009), durante o processo de decomposição dos tecidos vegetais, há uma perda preferencial de átomos de ^{12}C resultando, muitas vezes, em um enriquecimento e conseqüente aumento do $\delta^{13}C$ no sentido do material menos decomposto para o mais decomposto. De acordo com estes autores, tal aumento é em torno de 1‰ a 2‰. Considerando que geralmente a idade e grau de decomposição da matéria orgânica aumentam em maiores profundidades no perfil, ao analisar a Figura 4 nota-se que os valores, em todas as trincheiras (ou tradagem), possuem uma tendência geral em aumentar de acordo com a profundidade. Na TR3, por exemplo, ao se assumir que houve a perda de ^{12}C durante o processo de decomposição, se corrigirmos o maior valor deste perfil subtraindo dele 1‰, chega-se à conclusão de que estes valores não variaram ao longo do perfil (Figura 4), portanto a vegetação que originou cada uma das amostras de matéria orgânica coletada deve ser similar à vegetação presente neste local atualmente. Por outro lado, ao realizar a mesma correção para as curvas da TR1 e TR2 (ou até mesmo considerando o valor de 2‰ para a correção da TR2), nota-se que os valores mais altos ficam próximos ao valor encontrado para a campina: -28,8‰ (Figura 4). Isto significa que mesmo considerando que houve perda de átomos de ^{12}C durante o processo de decomposição da matéria orgânica, os dados destes perfis sustentam a hipótese de que os locais onde atualmente ocorrem campinaranas já foram ocupados pelas campinas.

Modelo de evolução da paisagem

Tendo como base nos estudos de Campbell *et al.* (2006), CPRM (2006), Bueno (2009), Bueno *et al.* (2011) e Bueno (2012), observações em campo, interpretações de imagens de satélite (Landsat 7) e nos dados obtidos a partir da análise de $\delta^{13}C$, é proposto um modelo de evolução da paisagem para a região da área de estudo que é apresentado a seguir.

Em resposta ao evento orogenético andino Quechua II, ocorrido, segundo Campbell *et al.* (2006), entre 9,5 e 9 Ma, ou há 12 Ma, segundo Hoorn *et al.*

(2010), a região do Rio Demini, bem como praticamente toda a região da atual bacia Rio Negro e parte do que hoje é a bacia do Rio Solimões, constituíam ambiente flúvio-lacustres e deltaico. Nesta etapa, possivelmente ocorriam campinas em forma de ilhas em locais mais rasos ou que se sobressaíam no nível dos lagos (Figura 5A).

Há aproximadamente 2,5 Ma ocorre a abertura da drenagem da bacia para o Oceano Atlântico, provocando a reorganização da rede fluvial do Amazonas com a formação dos rios principais e assim a erosão passa a predominar sobre a sedimentação (Campbell *et al.* 2006). A atual rede de drenagem do Rio Negro se estabelece, superimpondo-se à antiga rede de drenagem ou aproveitando trechos dos canais dessa paleodrenagem. A partir dos eixos dos rios mais importantes dessa nova rede de drenagem começa a se desenvolver (Figura 5B) uma rede densa de igarapés, que dissecam e drenam a borda dos baixos platôs (Figura 5C). Nestas bordas, próximo aos rios ou a locais onde houve a incisão do platô por algum igarapé, os níveis freáticos mais profundos favorecem a eluviação e a formação de Espodosolos bem drenados, sobre os quais se desenvolvem campinaranas florestadas. Nas regiões mais centrais dos platôs, distantes das linhas de entalhamento da drenagem, ocorrem áreas alagadas, que representam remanescentes dos ambientes sedimentares da Formação Içá, preservados da erosão que ocorre na borda dos platôs. Nestas áreas se estabelecem as campinas. Estas estão associadas a solos mal drenados (Gleissolos ou Organossolos), pouco desenvolvidos, que evoluem lentamente a partir dos materiais sedimentares da Formação Içá. Entre as campinaranas florestadas e campinas ocorrem as campinaranas arborizadas (Figura 5D). Estas últimas estão relacionadas a um ambiente que apresenta condições de drenagem intermediária onde o lençol freático aflora em alguns pontos, formando um microrrelevo em rede de pequenos canais anastomosados. As relações entre as fitofisionomias presentes na área de estudo e fatores edáficos e nível do lençol freático foram melhores descritas em Guimarães *et al.* (2016)

À medida que procede o entalhamento dos igarapés nos platôs (Figura 6), o nível do lençol freático é gradativamente rebaixado nas regiões mais próximas às bordas e às linhas de incisão dos igarapés, assim os platôs são paulatinamente drenados. Como as campinaranas florestadas estão mais relacionadas

a solos melhor drenados, esta fitofisionomia estaria, segundo esse modelo, avançando em direção ao centro dos platôs, tendo o seu ritmo de colonização comandado pela velocidade de encaixamento dos igarapés e da drenagem dos platôs por eles (Figuras 5 e 6). As campinaranas arborizadas, que são relacionadas a condições de drenagem intermediárias, estariam sendo “empurradas” em direção ao centro do platô, à medida que os Espodosolos bem drenados e as campinaranas florestadas relacionadas a eles se expandem nessa direção (Figuras 5B e C). Concomitantemente, as campinas, que estão relacionadas a solos mal drenados (Gleissolos e Organossolos), estariam também sendo “empurradas”, cada vez mais, em direção ao centro do platô à medida que as condições de drenagem melhoram nessa direção (Figura 5). Assim, este modelo prevê a diminuição (e talvez desaparecimento) das campinas na região, quando o processo de dissecação dos platôs estiver avançando a tal ponto que as condições de melhor drenagem se estendam às suas regiões interfluviais.

Fritsch *et al.* (2006) e Rosolen *et al.* (2007) realizaram estudos acerca de sistemas Latossolo-Gleissolo sobre a Formação Içá, no sudoeste do estado do Amazonas. Estes estudos indicam que os Gleissolos estão expandindo em função da “destruição” dos Latossolos. Os dados e interpretações apresentadas pelo estudo aqui proposto sugerem que na região do Médio Demini há um sentido de expansão dos Espodosolos, juntamente com as campinaranas a eles relacionadas, em direção ao centro do platô, onde predominam Gleissolos, que por sua vez estariam diminuindo em área. Este processo ocorreria à medida que os Gleissolos fossem drenados e suas frações silte e argila perdidas. Assim, o processo pedogenético que domina na área de estudo difere do processo predominante nas áreas estudadas por Fritsch *et al.* (2006) e Rosolen *et al.* (2007).

A técnica da razão isotópica ^{13}C para identificar os ciclos fotossintéticos e, assim, identificar os tipos de cobertura vegetal foi proposta nesse trabalho para tentar entender a dinâmica das coberturas de campinarana e campina. Entretanto, a pequena variação nos resultados das análises de ^{13}C gerou ambiguidade na interpretação sobre essa dinâmica na área de estudo. Esta pequena variação se deve, possivelmente, ao fato de a espécie dominante na campina, *Hypolitrum schraderianum* – uma Cyperaceae, provavelmente apresentar ciclo fotossintético C_3 (Li *et al.* 1999 e Bruhl e Wilson, 2007).

Desta forma, a técnica de razão isotópica do carbono se mostrou pouco eficiente para o estudo da dinâmica entre campinas e campinaranas na região da área de estudo e em áreas onde *Hypolirum schraderianum* seja dominante na fitofisionomia aberta. Para estas áreas, sugere-se a utilização de métodos que não usem como base os ciclos fotossintéticos para distinção dos tipos de vegetação a partir da análise da matéria orgânica do solo. Nesse contexto, a absorção na região do infravermelho próximo (NIR) parece ser uma técnica promissora para

ser utilizada em estudos futuros. Esta é baseada na hipótese de que a matéria orgânica formada a partir de tipos distintos de vegetação, é formada por diferentes compostos orgânicos que apresentam diferentes ligações. A grande variedade destas ligações dá origem a espectros NIR característicos que podem ser interpretados como “impressões digitais” dos materiais vegetais (Ertlen *et al.* 2010). Estes autores obtiveram resultados positivos na distinção de tipos diferentes de vegetação a partir da matéria orgânica do solo utilizando esta técnica.

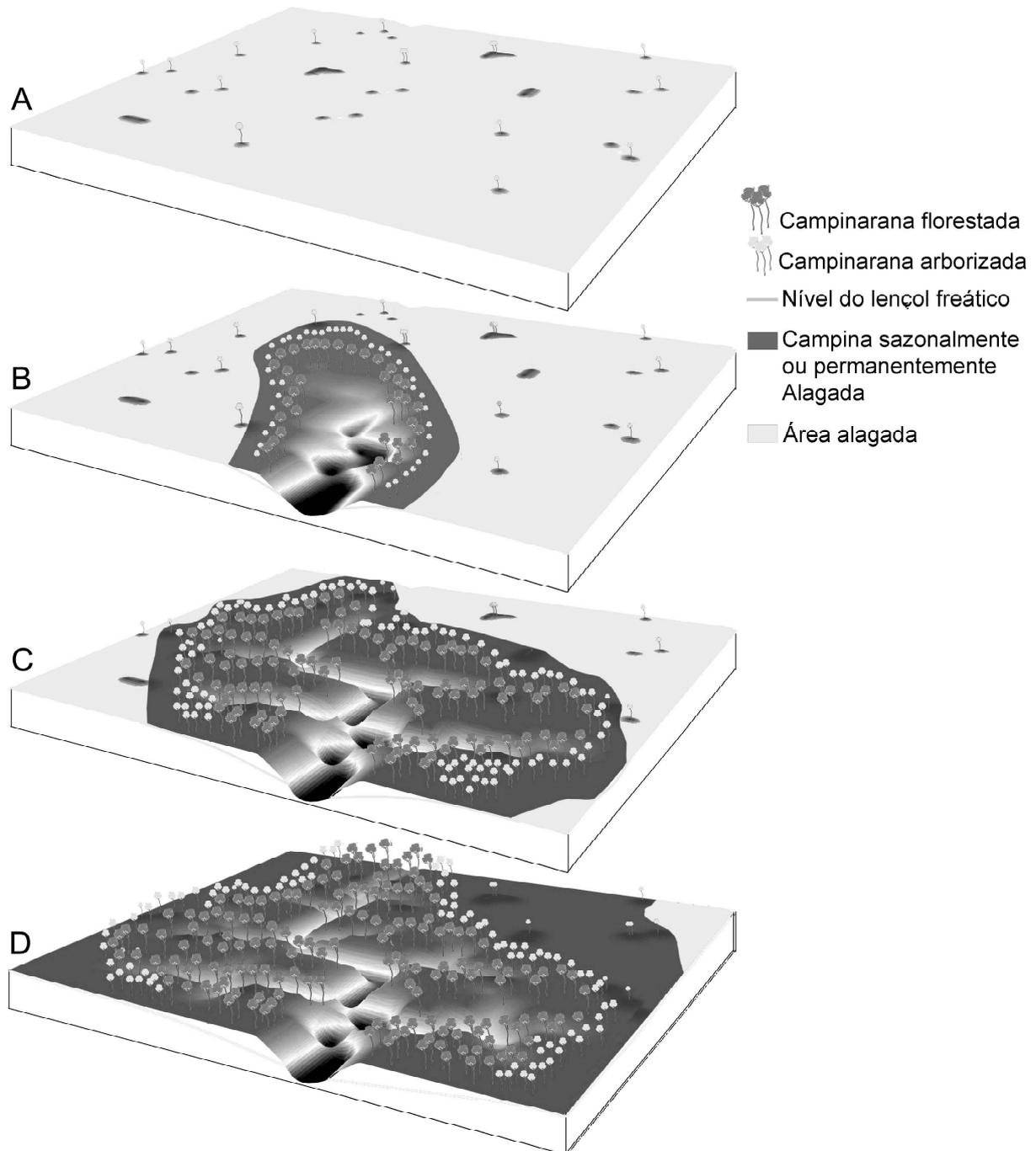


Figura 5 - Modelo de evolução da paisagem após *Quechua II* apresentado para a região da área de estudo.

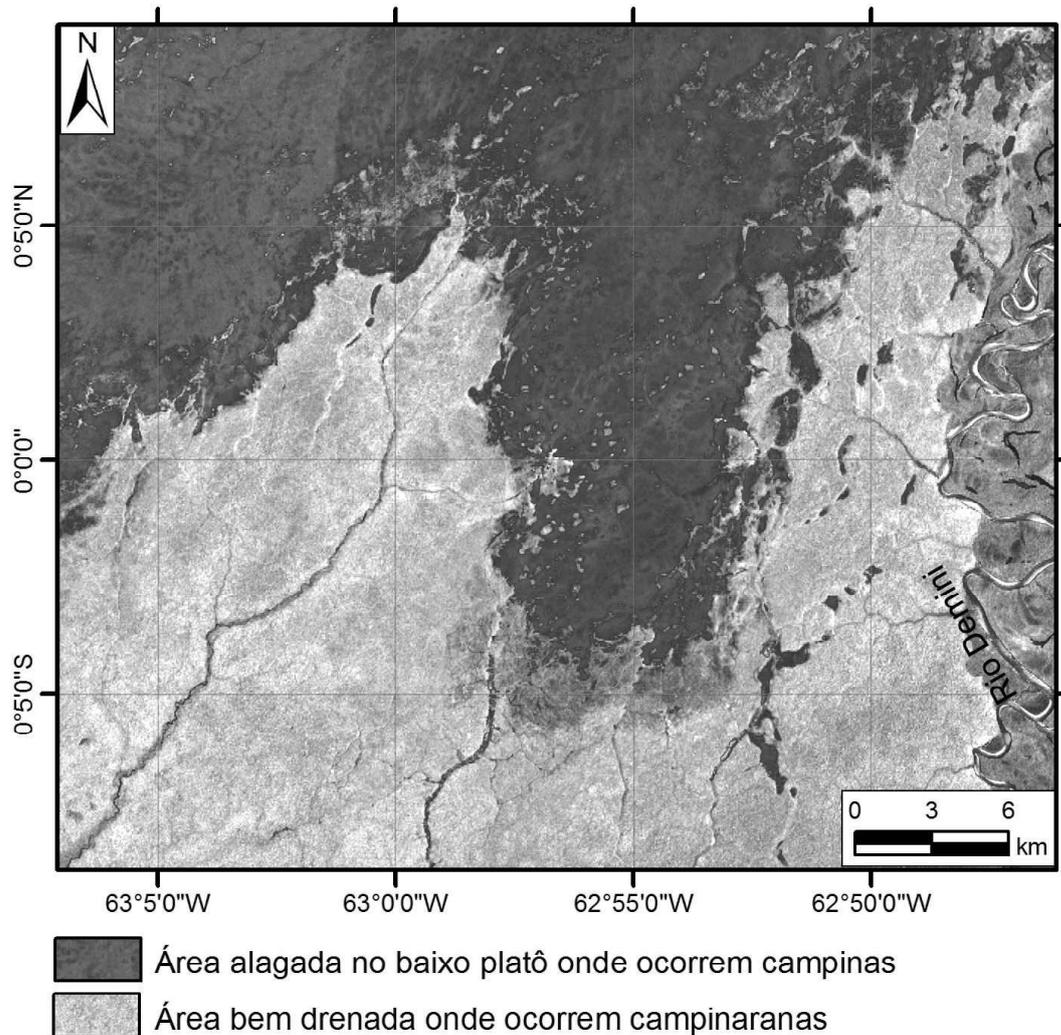


Figura 6 - Incisão de alguns igarapés, afluentes do Rio Demini, no baixo platô resultando na drenagem deste último.

Conclusões

As hipóteses aqui apresentadas sobre essa questão central basearam-se em interpretações de imagens de satélite acerca da distribuição e das relações espaciais entre as áreas de cobertura de campina e de campinarana, nas observações obtidas em campo, ao longo do transecto investigado e das análises de razão isotópica do carbono. Segundo essas interpretações e observações, propõe-se que os sistemas associados às campinas constituem feições relictuais dos ambientes de deposição da Formação Içá, preservados nas zonas interfluviais, onde prevalecem condições de drenagem parcialmente impedida e substratos de textura mais argilosa e siltosa (Organossolos e Gleissolos). Nesse caso, nas áreas situadas ao longo dos principais canais fluviais, condições de drenagem mais favoráveis

teriam promovido o rebaixamento do nível freático e favorecido o processo de eluviação das frações granulométricas mais finas, gerando solos mais arenosos e profundos (Espodossolos bem drenados), sobre os quais se desenvolveram coberturas de maior porte (campinaranas). Admitindo-se a continuidade do processo de dissecação dos platôs pela rede de drenagem, prevê-se o avanço das campinaranas e a retração das campinas na área estudada.

Agradecimentos

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) por financiar a pesquisa, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pela concessão da bolsa e a equipe de auxiliares de campo.

Referências Bibliográficas

- ANDERSON, A. B. **Aspectos florísticos e fitogeográficos de campinas e campinaranas, na Amazônia Central.** Dissertação (mestrado em botânica), Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia/ Fundação da Universidade do Amazonas, Manaus, 1978. 83p.
- ANDERSON, A.B. White-sand vegetation of Brazilian Amazonia. **Biotropica**, 13: 199-210. 1981.
- ARRUDA, G. M. T.; CALBO, M. E. R. Efeitos da inundação no crescimento, trocas gasosas e porosidade radicular da carnaúba (*Copernicia prunifera* (Mill.) H.E. Moore). **Acta Botânica Brasil**, v. 18: p. 219-224. 2004. Disponível em: (http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-33062004000200002) Acesso em 22 jan. 2014.
- BRASIL. 1977. Departamento Nacional da Produção Mineral. **Projeto RADAM. Folha SA.18 Manus; geologia e geomorfologia.** Rio de Janeiro, (Série Levantamentos de Recursos Naturais).
- BRASIL. 1978 Departamento Nacional de Produção Mineral. **Projeto RADAM Brasil, 452p. Folha SA 19 Iça; Geologia, geomorfologia, pedologia e uso potencial da terra.** Rio de Janeiro, (Série Levantamentos de Recursos Naturais).
- BRASIL. 1969. **Atlas climatológico do Brasil.** Ministério da agricultura. Escritório de meteorologia. Rio de Janeiro.
- BRAVARD, S.; RIGHI, D. Geochemical differences in an oxisolspodosol toposequence of Amazonia (Brazil). **Geoderma**, v. 44, p. 29–42, 1989.
- BRUHL, J. J.; WILSON, K. L. Towards a Comprehensive Survey of C3 and C4 Photosynthetic Pathways in Cyperaceae. **Aliso: A Journal of Systematic and Evolutionary Botany**, v. 23, p. 99-148. 2007. Disponível em (<http://scholarship.claremont.edu/aliso/vol23/iss1/11>) Acesso em 22 jan. 2014.
- BUENO, G.T. 2009 **Appauvrissement et podzolisation des latérites du bassin du Rio Negro et gèneses des Podzols dans le haut bassin amazonien.** Tese (doutorado em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências exatas. Universidade Estadual Paulista *Júlio de Mesquita Filho*, Rio Claro. 2015, 191p.
- BUENO, G. T.; NASCIMENTO, N. R.; FRITSCH, E. Considerações acerca da evolução dos relevos nas paisagens podzolizadas da bacia do Rio Negro-Am. In: Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia, 9., Goiânia. p. 7. 2011
- BUENO, G.T. **Datação de formações lateríticas e sedimentares da bacia do rio negro e sua contribuição para o entendimento da história geomorfológica das terras baixas da Amazônia – Brasil.** Pré projeto de pós doutorado. Belo Horizonte, Minas Gerais. 2012. 9p.
- CAMPBELL, K. E.; FRAYLEY, C. D.; ROMERO PITTMAN, L. The Pan Amazonian Ucayali Plain, late Neogene Sedimentation in Amazonia, and birth of the modern Amazon river system. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 239, p. 166-219. 2006
- CHAUVEL, A.; LUCAS, Y.; BOULET, R. On the genesis of the soil mantle of the region of Manaus, Central Amazonia, Brazil. **Experientia**, v. 43, p. 234-241. 1987
- DUBROEUCQ, D.; VOLKOFF, B.; FAURA, P. Les couvertures à podzols du Bassin du haut Rio Negro. **Étude et Gestion de Sols**, v. 6, n. 2, p. 131-153. 1999
- CPRM (2005). Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Geologia da região da Serra do Imeri. Relatório. p.70. (<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=534&sid=26>). Acesso em 22 jan. 2014.
- EMBRAPA. 2013 **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Segunda ed. Embrapa, Rio de Janeiro, 2013, 306p.
- ERTLEN, D.; SCHWARTZ, M.; TRAUTMANN, R.; WEBSTER, D.; BRUNET, D. Discriminating between organic matter in soil from grass and forest by near-infrared spectroscopy. **European Journal of Soil Science**, v. 61, p. 207–216. 2010
- FERREIRA, C. A. C. **Análise comparativa de vegetação lenhosa do ecossistema de campina na Amazônia brasileira.** Tese de doutorado (Doutorado em Biologia Tropical e Recursos Naturais) - , Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia / Fundação da Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2009. 277p.
- GUIMARÃES, F. S.; BUENO, G. T.; MENDES, D. S. O.; DINIZ, A. D.; SOUSA, J. B. Variações ecológicas, fitofisionômicas, edáficas e distribuição das espécies em um gradiente ambiental entre campinarana e campina – Bacia do Rio Demini, AM. **Caderno de Geografia**. v.26, p.98 - 118, 2016.
- HOORN, C.; WESSELINGH, F.P.; STEEGE, H.; TER; BERMUDEZ, M.A.; MORA, A.; SEVINK, J.; SANMARTÍN, I.; SANCHEZ-MESENGUER, A.; ANDERSON, C.L.; FIGUEIREDO, J.P.; JARAMILLO, C.; RIFF, D.; NEGRI, F.R.; HOOGHMESTRA, H.; LUNDBERG, J.; STADLER, T.; SÄRKINEN, T.; ANTONELLI, A. Amazonia through time: Andean uplift, climate change, landscape evolution, and biodiversity. **Science**, v. 330 p. 927-931. 2010

- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA DO BRASIL – INMET. Normais Climatológicas (1961/1990). Brasília - DF, 1992. Disponível em: (<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>) Acesso em 08 de março de 2018
- JUNK, W.J.; PIEDADE, M.T.F.; SCHÖNGART, J.; COHN-HAFT, M.; ADENEY, J.M.; WITTMANN, F. A Classification of Major Naturally-Occurring Amazonian Lowland Wetlands. **Wetlands**, v. 31, p. 623-640. 2011
- LI, M.-R.; WEDIN, D. A.; TIETZEN, L. L. C3 and C4 photosynthesis in *Cyperus* (Cyperaceae) in temperate eastern North America. **Canadian Journal of Botany**, v. 77: 209-p. 218. 1999. (<http://www.cedarcreek.umn.edu/biblio/fulltext/t1733.pdf>) Acesso em: 22 jan. 2013.
- MAFRA, A.L.; MIKLÓS, A.A.W.; VOLKOFF, B.; MELFI, A.J. Pedogênese numa seqüência Latossolo-Espodosolo na região Alto Rio Negro, Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v. 26. p. 381-394. 2002
- MARTINELLI, L. A.; OMETTO, J. P. H. B.; FERRAZ, E. S.; VICTORIA, R. L.; CAMARGO, P. B.; MOREIRA, M. Z. **Desvendando questões ambientais com isótopos estáveis**. primeira ed. Oficina de textos, São Paulo, 2007. 144p.
- MEDRI, C.; PIMENTA, J. A.; RUAS, E. A.; ANTÔNIO, L. S.; MEDRI, P. S.; SAYHUN, S.; BIANCHINI, E.; MEDRI, E. O alagamento do solo afeta a sobrevivência, o crescimento e o metabolismo de *Aegiphila sellowiana* Cham. (Lamiaceae)? **Semina: Ciências Biológicas e da Saúde**, v. 33 p. 123-134. 2012
- MENDONÇA, A. F. M. **Campinaranas Amazônicas: pedogênese e relações solo-vegetação**. Tese (doutorado ciências do solo), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais. 2011. 110p.
- NASCIMENTO, N. R.; BUENO, G. T.; FRITSCH, E.; HERBILLON, A.J.; ALLARD, T.; MELFI, A.J.; ASTOLFO, R.; BOUCHER, H. LI, Y. Podzolization as a deferralitization process: a study of an Acrisol-Podzol sequence derived from Palaeozoic sandstones in the northern upper Amazon Basin. **European Journal of Soil Science**, v. 55, p. 523-538. 2004
- OLIVEIRA, J.B. **Pedologia Aplicada**. Quarta ed. Fealq, Piracicaba, 2011, 592 p.
- OLIVEIRA, A.A.; DALY, D.C.; VICENTINI, A.; COHN-HAFT, M. (2001) Florestas sobre areia: campinaranas e igapós. In: OLIVEIRA, A.A.; DALY, D.C. **Florestas do Rio Negro**. v.1. Companhia das Letras: UNIP, São Paulo, São Paulo, p.179-220.
- PAROLIN, P.; LUCAS, C.; PIEDADE, M.T.; WITTMANN, F. Drought responses of floodtolerant trees in Amazonian floodplains. **Annals of Botany**, v. 105v p. 129-139. 2010
- PESSENDA, L.; C. R.; OLIVEIRA.; P. E.; MOFATTO.; M.; MEDEIROS, V. B.; GARCIA, R. J. F.; ARAVENA, R.; BENDASSOLI, J. A.; LEITE, A. Z.; SAAD, A. R.; ETCHEBEHERE, M. L. The evolution of a tropical rainforest/grassland mosaic in southeastern Brazil since 28,000 14C yr BP based on carbon isotopes and pollen records. **Quaternary Research**, v. 71, p. 437-452. 2009
- PRANCE, G. T.; SCHUBART, H. O. R. 1978. Notes on the vegetation of Amazonia I. A preliminary note the origin of the open white sand Campinas of the lower Rio Negro, **Brittonia**. v. 30, p. 60-63. 1978
- ROSOLEN, V.; HERPIN, U.; MELFI, A. J. Expansão dos solos hidromórficos na paisagem sudoeste da bacia amazônica brasileira: mudanças texturais e de porosidade do solo. **Caminho da Geografia**, v. 20, p. 69-78. 2007. Disponível em: (<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/15478/8761>). Acesso em 7 fev. 2013.
- ROSSETTI, D. F.; BERTANI, T.C.; ZANI, H.; CREMON, E.H.; HAYAKAWA, E. H. Late Quaternary sedimentary dynamics in Western Amazonia: implications for the origin of savanna/forest contrasts. **Geomorphology**, v. 177, p. 74-92. 2012
- SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. 2005. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. Quinta ed. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 2005. 100p.
- SCHWARTZ, D.; MARIOTTI, A.; LANFRANCHI, R.; GUILLET, B. 13C/12C ratios of soil organic matter as indicators of vegetation changes in the Congo. **Geoderma**, v. 39, p. 97-103. 1986
- SILVEIRA, M. (2003) **Vegetação e Flora das Campinaranas do Sudoeste Amazônico (JU-008)**. Relatório de Defesa Técnica, Associação S.O.S. Amazônia, Rio Branco, Acre. 28p.
- VICENTINI, A. (2004) A Vegetação ao Longo de um Gradiente Edáfico no Parque Nacional do Jaú. In: BORGES, S.H.; IWANAGA, S.; DURIGAN, C.C.; PINHEIRO, M.R. (Eds.). **Janelas para a Biodiversidade no Parque Nacional do Jaú: uma estratégia para o estudo da biodiversidade na Amazônia**. Fundação Vitória Amazônica (FVA)/WWF/IBAMA, Manaus, Amazonas, p.117-143
- WHITMORE, T.C.; PRANCE, G.T. **Biogeography and Quaternary history in tropical America**. Clarendon Press, Oxford. 1987. 224p.