

Revista do Instituto de Geociências - USP

Geol. USP, Sér. cient., São Paulo, v. 16, n. 1, p. 23-41, Marco 2016

Estratigrafia de subsuperfície da sequência sedimentar cretáceaneógena das regiões de Manaus e Itacoatiara, Amazônia Central

Subsurface stratigraphy of the cretaceous-neogene sedimentary sequence of Manaus and Itacoatiara regions, Central Amazon

Emílio Alberto Amaral Soares¹, Ingo Wahnfried¹, Rodolfo Dino²
¹Departamento de Geociências, Universidade Federal do Amazonas - UFAM, Avenida Rodrigo Otavio 6200,
CEP 69077-000, Manaus, AM, BR (easoares@ufam.edu.br; iwahnfried@gmail.com)
²Petrobras/Cenpes/PDEDS/AMA, Rio de Janeiro, RJ, BR (dino@petrobras.com.br)

Recebido em 22 de janeiro de 2015; aceito em 06 de janeiro de 2016

Resumo

O arcabouço estratigráfico pós-paleozoico da região de Manaus e Itacoatiara (Amazônia Central) foi elaborado com base em quatro seções geológicas contendo principalmente dados geofísicos e litológicos de 15 poços tubulares com até 300 m de profundidade, complementado com descrições de afloramentos. A definição de padrões específicos das curvas de raios gama natural (RG) e resistividade (RE) permitiu a individualização das unidades sedimentares inferior, intermediária e superior e seus contatos (descontinuidades S1 e S2). A unidade inferior, definida a partir da cota de -130 m, é constituída principalmente de folhelho, cujas repetições diagráficas das curvas de RG e RE caracterizam os padrões de curva tipos funil e serrilhado. A unidade intermediária, definida nas cotas entre 20 a -180 m, é constituída por intercalações de arenitos, pelitos e conglomerados, que geram repetições cíclicas de valores das diagrafias de RG e RE, gerando os padrões serrilhado e sino. A unidade superior, definida na cota de -30 m até a superfície do terreno, é constituída principalmente de arenitos com intercalações restritas de pelitos, que definem os padrões simétrico (curva de RG) e caixote (curvas de RE e RG). O posicionamento estratigráfico das unidades inferior, intermediária e superior nas seções, bem como o aspecto litológico e as relações com as superfícies limitantes, aliado a dados estratigráficos e geocronológicos regionais permitiram sua respectiva associação com as formações Nova Olinda-Andirá (Paleozoico), Alter do Chão (Cretáceo) e Novo Remanso (Neógeno) da Bacia do Amazonas. Em função da densa cobertura de vegetação e solo, os aspectos litológicos e padrões diagráficos descritos para cada unidade podem servir de base para o estudo da cobertura sedimentar pós-paleozoicas da Amazônia.

Palavras-chave: Estratigrafia de subsuperfície; Formação Alter do Chão; Formação Novo Remanso; Perfilagens geofísicas; Superfícies de descontinuidade.

Abstract

The post-Paleozoic stratigraphic setting of Manaus and Itacoatiara area (central Amazonia) was developed based on four coross-sections containing geophysical and lithological data from 15 wells, up to 300 m deep, and outcrop description. Gamma ray (GR) and electric resistivity (ER) patterns allowed the separation into lower, intermediate and upper sedimentary units, and their contacts (S1 and S2 surfaces). The lower unit, starting at -130 m, is composed by carbonatic shale, with characteristic funnel and serrated GR and ER patterns. The intermediary unit occurs between 20 and -180 m, and is composed by sandstones with intercalated silt and claystone, with scattered layers of conglomerate. These intercalations generate cyclic repetitions of GR and ER values, creating a serrated and bell-type patterns. The upper unit occurs from -30 m to the surface and is composed by sandstone with scattered silt- and claystone, generating symmetrical (GR) and box-type (ER and GR) patterns. The stratigraphic position, lithological composition and the contact surfaces of the lower, intermediate and upper units allow us to associate them with the Nova Olinda-Andirá (Paleozoic), Alter do Chão (Cretaceous), and Novo Remanso (Neogene) formations of the Amazon Sedimentary Basin. Weathering and vegetation are always a challenge for geologic mapping the Amazon. Thus, the geophysical patterns and lithological aspects described in this paper may well serve as a good starting point for determining post-Paleozoic formations and their contact surfaces in the Amazon Sedimentary Basin.

Keywords: Subsurface stratigraphy; Alter do Chão Formation; Novo Remanso Formation; Geophysical profiling; Discontinuity surfaces.

INTRODUÇÃO

A história sedimentar pós-paleozoica (cretácea-neógena) da Bacia do Amazonas ainda é pouco conhecida e a elaboração desse arcabouco estratigráfico tem sido dificultado principalmente pela falta de dados paleontológicos, devido, em parte, ao caráter arenoso e oxidado das unidades. Durante muito tempo os trabalhos geológicos existentes da Amazônia Central (Soares et al., 2001; Rossetti et al., 2005; CPRM, 2006) mostravam que o relevo dessa região era constituído pela unidade cretácea, atribuída unicamente à Formação Alter do Chão (Caputo, 1984), recoberta por depósitos quaternários indiferenciados. Apenas no início deste século, estudos estratigráficos e de fácies sedimentares (Rozo, 2004; Rozo et al., 2005; Nogueira et al., 2006; Soares, 2007; Soares et al., 2010; Abinader et al., 2007) identificaram depósitos póscretáceos, sobrepostos discordantemente à referida unidade, que afloram nas barrancas dos rios e rodovias da região entre Manacapuru e Itacoatiara, na Amazônia Central (Figura 1). Esses depósitos, com fácies características de ambiente fluvial, foram denominados informalmente de Formação Novo Remanso por Rozo (2004), sendo individualizados na base e no topo por superfícies de descontinuidades, como crostas lateríticas (Rozo, 2004; Soares, 2007; Dino et al., 2012). Estudo palinológico realizado em afloramentos da região de Manacapuru (Dino et al., 2012) e Rio Uatumã (Soares et al., 2015) a oeste e nordeste de Manaus, respectivamente, permitiram posicionar essa unidade inequivocamente no Mioceno Médio.

Entretanto, a distribuição espacial em área dessa nova unidade litoestratigráfica tem sido dificultada por causa da falta de bons afloramentos, os quais em grande parte mostram-se encobertos por vegetação e solo, que dificultam os mapeamentos geológicos regionais, bem como pela carência de dados geológicos e geofísicos de subsuperfície disponíveis, os quais restringem-se às empresas de petróleo e água subterrânea. Dados de afloramentos na região entre Manaus, Presidente Figueiredo e Itacoatiara mostram as relações de contato discordante entre as unidades paleozoica, cretácea e neógena (Soares et al., 2005; Souza e Nogueira, 2009), entretanto, os dados são pontuais, não permitindo a correlação das unidades e superfícies por grandes extensões. De forma mais consistente, os dados de subsuperfície (perfis sônicos e seções sísmicas) da região sudeste de Manaus permitiram pela primeira vez que Costa (2002) individualizasse o limite discordante (com feições de canalização) entre as unidades sedimentares cretácea e miocênica, sem entretanto definir suas espessuras reais, as quais estão sobrepostas à unidade paleozoica por meio de expressiva discordância erosiva que se estende por dezenas de quilômetros.

Portanto, os dados aqui apresentados reconsideram as interpretações obtidas por Andrade e Soares (2009), que

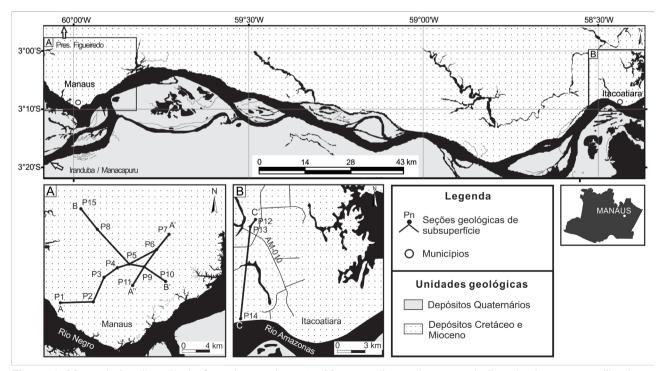


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo, entre Manaus e Itacoatiara, com indicação dos poços utilizados e seções elaboradas (Detalhes A e B).

utilizaram dados diagráficos de perfis geofísicos (raios gama natural – RG, resistividade – RE, e potencial espontâneo – PE) e litológicos (amostras de calha) de 15 furos de sondagens (com até 300 metros de profundidade) das regiões de Manaus e Itacoatiara (distante cerca de 170 km) para mostrar as relações de contato e espessuras das unidades sedimentares cretácea e neógena, bem como sua relação com o substrato paleozoico, na porção central da Bacia do Amazonas. Os dados litológicos, que refletem diretamente os padrões específicos das curvas diagráficas de RG e RE, permitiram definir cinco tipos principais de curvas (caixote, sino, serrilhado, simétrico e funil), que conferem padrões distintos para as unidades estudadas e podem servir de referência no estudo da cobertura sedimentar da bacia. Os aspectos litológicos, diagráficos e as relações de contato das unidades, bem como seu posicionamento estratigráfico na seção, foram associados a dados geológicos de campo e aos estudos palinoestratigráficos (Dino et al., 2012), geofísicos (Costa, 2002) e faciológicos (Soares, 2007; Abinader et al., 2007) regionais. Os dados palinológicos das amostras analisadas nesses estudos não foram decisivos nas definições das datações e correlações, já que resultaram estéreis e apenas sugerem, com base no resíduo orgânico, correlação entre as unidades paleozoicas.

CONTEXTO GEOLÓGICO

O relevo da região de Manaus e adjacências é sustentado por rochas siliciclásticas das formações Alter do Chão (Cretáceo) e Novo Remanso (Neógeno), recobertas por depósitos fluviais quaternários distribuídos predominantemente ao longo das calhas dos rios, planícies aluviais e áreas lacustres (Soares et al., 2001; Rossetti et al., 2005; CPRM, 2006; Soares, 2007; Soares et al., 2010), conforme ilustrado na carta estratigráfica regional (Figura 2A).

A Formação Alter do Chão apresenta sua seção tipo no poço 1-AC-1-PA (Alter do Chão) na margem direita do Rio Tapajós, no Pará (Caputo et al., 1971). Dados de subsuperfície obtidos da Petrobrás indicam que essa formação apresenta espessura variando de 50 a 600 m (Hoorn et al., 2010), sendo constituída de arenitos, siltitos, argilitos e conglomerados (Caputo, 1984). Apresenta níveis silicificados que foram denominados de "Arenitos Manaós" por Albuquerque (1922). Essa formação contém poucos fósseis e apresenta cores variegadas, entre vermelho, amarelo e branco. Diversos estudos (Caputo et al., 1971; Cunha et al., 1994; Dino et al., 1999; Nogueira et al., 1999; Cunha et al., 2007) consideram que a Formação Alter do Chão é representativa de um paleoambiente fluvio-lacustre. Fácies de preenchimento de canal (barras conglomeráticas e de acreção lateral e formas de leito arenosas) e de depósitos externos ao canal (planície de inundação, canal de crevasse e diques marginais) foram definidos em afloramentos dessa formação na região de Óbidos (Pará), os quais foram associados a um sistema fluvial meandrante (Mendes et al., 2012). Entretanto, Rossetti e Neto (2006), baseados em dados sedimentológicos e icnológicos, sugerem uma influência marinha durante a deposição dessa unidade.

De forma generalizada, depósitos paleógenos (Formação Marajó) e neógenos (Formação Solimões) estão inseridos na Carta Estratigráfica da Bacia do Amazonas (Cunha et al., 2007), nas proximidades dos arcos de Gurupá e Purus, respectivamente. Entretanto, essas unidades pertencem à estratigrafia das bacias do Marajó e Solimões, respectivamente, não sendo inseridas nos estudos geológicos regionais. Na porção central da bacia, Rozo et al. (2005) formalizaram o termo Formação Novo Remanso para os depósitos essencialmente arenosos, que ocorrem sobrepostos discordantemente à unidade cretácea na localidade homônima, a leste de Manaus (Amazonas). Em geral, essa unidade apresenta espessura aflorante em torno de 10 a 20 m, sendo constituída de arenitos com pelitos e conglomerados subordinados, característicos de um paleoambiente fluvial meandrante, sendo pouco fossilífera (Soares, 2007; Dino et al., 2012).

Com base em dados palinológicos, a idade da Formação Alter do Chão foi posicionada no Meso-Albiano/Turoniano (Daemon, 1975) e Aptiano-Cenomaniano (Dino et al., 1999), e a Formação Novo Remanso no Mioceno Médio (Dino et al., 2012), apesar do estudo palinológico de Guimarães et al. (2014) estender a idade dessa formação, do Mioceno Superior ao Plioceno. Dados palinológicos recentes definiram uma nova ocorrência da unidade miocênica na região do Rio Uatumã, permitindo estender seus limites até a borda norte da Bacia do Amazonas (Soares et al., 2015).

Os limites estratigráficos das unidades cretácea e miocênica são marcados por superfícies de erosão e/ou por crostas lateríticas ferruginosas e imaturas (de acordo com a classificação de Costa, 1991). Em geral, as crostas exibem estrutura maciça e colunar cavernosa, textura vermiforme pisolítica, com espessura métrica e extensão quilométrica e estão associadas às fases de lateritização que ocorreram na Amazônia, sendo denominadas informalmente de Sd1, Sd2 e Sd3 (Soares, 2007), conforme ilustrado na Figura 2A. Por meio de técnicas paleomagnéticas, Horbe (2014) dataram dois eventos de lateritização na Amazônia Central, com idades de 28 – 50 Ma e 10 Ma, os quais podem ser associados às crostaa desenvolvidas sobre as formações Alter do Chão e Novo Remanso, respectivamente.

Entretanto, com base na reavaliação de dados geológicos, paleontológicos e geofísicos ao longo da Bacia do Amazonas, Caputo (2011) considera a existência de extensa capa sedimentar terciária recobrindo discordantemente à unidade cretácea, sob as denominações de formações Alter do Chão e Jazida da Fazendinha, respectivamente. Segundo o autor,

na região de Manaus e arredores a unidade cretácea está ausente, ocorrendo apenas a unidade cenozoica recobrindo discordantemente aos depósitos paleozoicos da Formação Nova Olinda.

Em Manaus e adjacências (Amazônia Central), grande parte dos dados de sondagens e perfilagens geofísicas está relacionada ao estudo hidrogeoquímico do "Aquífero Alter do Chão" (Silva, 1999; Cunha e Rocha Neto, 2001; Silva 2001; Aguiar et al., 2002; Souza e Verma, 2006; Silva e Silva, 2007a, 2007b), sendo pouco utilizado na definição do arcabouço estratigráfico pós-paleozoico regional, onde só é reconhecida a unidade cretácea (Formação Alter do Chão).

Nessa região, Aguiar et al. (2002) utilizaram informações litológicas de 400 poços tubulares e definiram a espessura média de 200 m para essa formação, subdividindo-a em 5 litofácies (paleossolo, arenito manaus, argilosa, areno-argilosa e arenosa), ressaltando seu contato discordantemente sobre a unidade paleozoica. Souza (2005) e Souza e Verma (2006), por meio da integração de perfilagens geofísicas (RG, RE e PE), sondagens elétricas verticais e dados litológicos de 15 poços tubulares, subdividiram a Formação Alter do Chão em 2 zonas aquíferas, perfazendo cerca de 290 m de espessura. A zona 1, que corresponde aos 50 m iniciais de profundidade, é composta pelas litofácies argilosa,

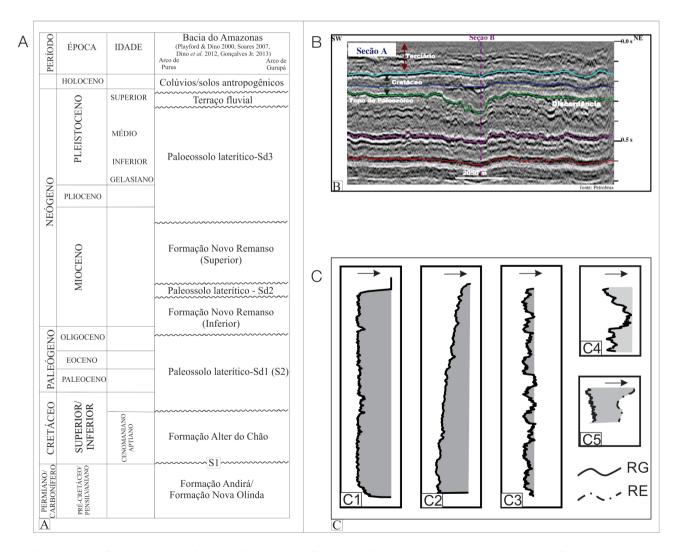


Figura 2. (A) Coluna estratigráfica do Paleozoico, Cretáceo, Paleógeno e Neógeno da porção Central da Bacia do Amazonas, destacando as principais superfícies de descontinuidades (Playford e Dino, 2000; Soares, 2007; Dino et al., 2012; Gonçalves Jr., 2013); (B) seção sísmica A entre Manaus e Urucará (Bacia do Amazonas), destacando as unidades sedimentares paleozoica, cretácea e terciária, limitadas por descontinuidades (Costa, 2002); (C) padrões de curvas descritas nos perfis P3, P6, P7 e P10 (tipos C1 – caixote; C2 – sino; C3 – serrilhado; C4 – simétrico; e C5 – funil), baseado na classificação de Calhôa et al. (2011).

arenosa e areno-argilosa, não constituindo um bom aquífero por causa da maior concentração de argilas. A zona 2, que se estende dos 50 a 290 m de profundidade, é constituída pelas litofácies arenosa e areno-argilosa, sendo considerada propensa à transmissão de água subterrânea.

O arcabouço estratigráfico das unidades sedimentares pós-paleozoicas ficou mais evidente nas perfilagens sônicas e seções sísmicas realizadas a sudeste e leste de Manaus por Costa (2002), onde foi possível definir pela primeira vez o limite discordante entre duas unidades sedimentares pós-paleozoicas; a superior (terciária) foi correlacionada pelo autor à Formação Solimões, e a inferior (cretácea), à Formação Alter do Chão, sobrepostas discordantemente à unidade paleozoica (Figura 2B). Entretanto, estudos faciológicos e estratigráficos regionais restringem a área de ocorrência da Formação Solimões às proximidades do Arco de Purus (Cunha et al., 2007) ou unicamente à Bacia do Solimões (Vega et al., 2006; Vega, 2006).

Dependendo da área estudada na Bacia do Amazonas, existem divergências na definição da unidade litoestratigráfica paleozoica que ocorre sotoposta à sequência cretácea-neógena. Seções geológicas de subsuperfície definidas por Dino et al. (1999, 2000) mostram que nas porções centrais da bacia, a unidade paleozoica é representada pela Formação Andirá (Permiano), enquanto nos flancos, pela Formação Nova Olinda (Carbonífero), conforme ilustrado na Figura 2A. Em Manaus e adjacências, os dados geológicos das seções de Aguiar et al. (2002), Costa (2002) e Souza (2005), associam a unidade paleozoica unicamente à Formação Nova Olinda.

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado com base em três metodologias: perfilagens geofísicas (incluindo litologia) de poços, levantamentos de campo e palinologia. A escassez de exposições aflorantes contínuas, aliada às transformações intempéricas e ausência de testemunhagem contínua nos furos de sondagens estudados fizeram das diagrafias uma das únicas fontes de informação para a definição do arcabouço estratigráfico regional, entre Manaus e Itacoatiara, distantes cera de 170 km. Foram analisados dados diagráficos (parâmetros de RG, RE e PE) e litológicos (amostras de calha) de 15 poços tubulares, dos quais 12 localizam-se na área urbana de Manaus (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11 e P15) e 3 em Itacoatiara (P12, P13 e P14) (Tabela 1 e Figuras 3 a 6). As diagrafias, cedidas pela empresa SP Saneamento e Poços Ltda. (Sede Manaus), foram obtidas com o equipamento da marca Mount Sopris Instruments, modelo HLP-2375, Gamma-SP-SPR. Esse instrumento coleta dados de emissão natural de RG na descida, e PE e resistividade na subida. O sensor gama é de NaI, com precisão

de 1% e resolução de 0,02%. Nesse equipamento, a conversão entre os métodos de medição com padrão *American Petroleum Industry* (API) e contagens por segundo (CPS) é de 1 API = 1,15 a 1,19 CPS. A medição de resistividade é feita por sonda de eletrodo único (*Single Point Resistance*), na qual um eletrodo fica em superfície e outro é inserido no poço. Esse arranjo faz com que cada medição seja influenciada por todas as camadas pelas quais a corrente elétrica passa, desde a superfície até o eletrodo inserido no poço. Portanto, não permite a realização de interpretações quantitativas. As três metodologias são sensíveis a mudanças litológicas, o que torna as perfilagens boas ferramentas para caracterização estratigráfica em subsuperfície. A interpretação dos dados foi feita seguindo as seguintes características:

- RG: a sonda de gama natural mede a emissão natural dessa radiação emitida pela rocha, que contém os elementos urânio, tório e potássio. Esses elementos estão mais presentes em pelitos que, dessa forma, emitem mais radiação gama do que carbonatos e arenitos (Dewan, 1983), ainda que esses últimos possam apresentar valores altos de radiação originada pela presença de feldspatos potássicos, micas e minerais pesados (Doveton, 1994);
- RE: a resistividade é a medida da resistência que o meio oferece à passagem de uma corrente elétrica. A resistividade apresentada em uma perfilagem é, na verdade, uma média das resistividades das camadas que a corrente elétrica atravessou (Doveton, 1986), que depende do posicionamento e da distância dos eletrodos de corrente e de medição. Os minerais mais frequentemente presentes em rochas sedimentares possuem resistividades altas. Porém, os íons presentes nas camadas superficiais de argilominerais saturados com água ficam móveis, permitindo a passagem de corrente elétrica e, consequentemente, diminuindo sua resistividade (Doveton, 1986);

Tabela 1. Relação dos poços tubulares utilizados nesse trabalho.

Poço	Profundidade (m)	Município
P1	92	Manaus
P2	206	Manaus
P3	176	Manaus
P4	206	Manaus
P5	234	Manaus
P6	200	Manaus
P7	300	Manaus
P8	234	Manaus
P9	198	Manaus
P10	210	Manaus
P11	200	Manaus
P12	170	Itacoatiara
P13	170	Itacoatiara
P14	150	Itacoatiara
P15	230	Manaus

• PE: o potencial espontâneo apresenta inversões de tendências de potencial elétrico quando a sonda cruza contatos litológicos. A interpretação em poços de água é invertida em relação àquela observada em poços de petróleo, por causa da ausência de salinidade na água contida na formação geológica, ou seja, o potencial espontâneo nas porções mais permeáveis é positivo em relação às porções menos permeáveis (Dewan, 1983). A menor permeabilidade está relacionada à maior presença de pelitos nos sedimentos.

Diversos estudos (Lang, 1986; Miall, 1990; Miall e Tyler, 1991; Cant, 1992; Silva et al., 2005) usam a comparação das formas das curvas de RG, RE e PE para a correlação de poços. A correlação estratigráfica utilizando diagrafias se baseia no fato dos parâmetros geofísicos refletirem diferentes propriedades físicas e químicas das rochas, expressos pelo caráter das curvas registradas em respostas às suas variações litológicas. O conjunto de respostas da(s) diagrafia(s) de poços permite estabelecer eletrofácies, ou seja, caracterizar fácies por respostas geofísicas que permitam distingui-las das demais (Serra, 1985). Com isso é possível definir padrões específicos de curvas que reflitam ambientes

sedimentares distintos. Como exemplo dessa aplicação, o estudo estratigráfico efetuado por Calhôa et al. (2011) no Grupo Brenha (Bacia Lusitânia, Portugal) se baseou no padrão de RG natural, onde foram identificadas diferentes padrões de curvas (tipos caixote, funil, sino, simétrico e serrilhado), os quais foram associados a ambientes sedimentares distintos.

De forma complementar às diagrafias, dados geológicos obtidos de afloramentos nas regiões de Manaus, Itacoatiara e Presidente Figueiredo (borda norte da bacia) ajudaram na definição dos parâmetros litoestratigráficos e nas relações de contato entre as unidades. Material cinza com evidente conteúdo orgânico, propício à análise palinológica, foi encontrado apenas no furo P-15, enquanto nos afloramentos estudados as unidades são arenosas e oxidadas. Assim, somente 4 amostras de pelito cinza, das profundidades 194, 208, 215 e 230 m abaixo da superficie, foram processadas pelo método padrão apresentado por Phipps e Playford (1984).

Na individualização das unidades sedimentares foram utilizados dados litológicos e contrastes diagráficos para a definição de cinco padrões característicos de curvas para as unidades estudadas (caixote, sino, serrilhado, simétrico

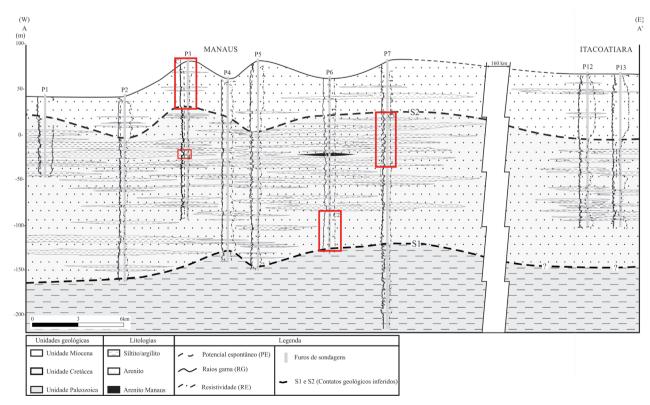


Figura 3. Seção geológica A-A' entre Manaus e Itacoatiara ilustrando os aspectos litológicos e diagráficos entre as unidades sedimentares paleozoica, cretácea e miocênica. S1 e S2 representam os limites entre as unidades. Os retângulos vermelhos nos poços P3, P6 e P7 mostram os locais das representações diagráficas da Figura 2 (detalhes C1, C2, C3 e C4).

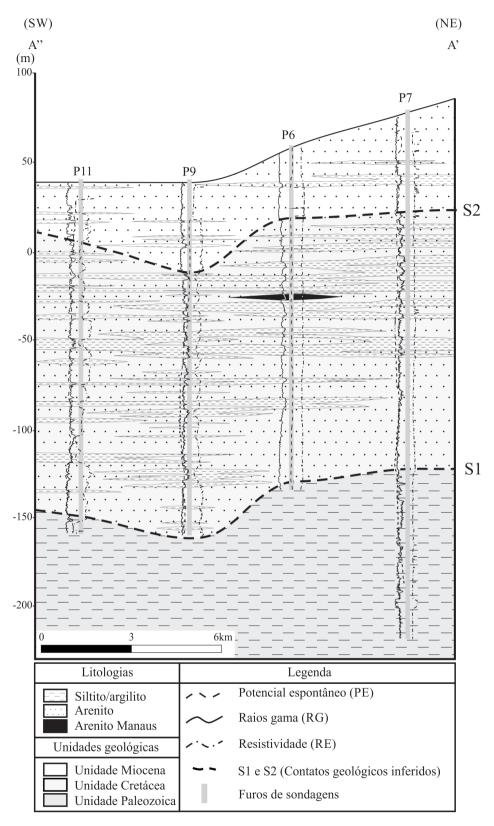


Figura 4. Seção geológica A'-A" ilustrando as espessuras, limites geológicos e aspectos litológicos e diagráficos entre as unidades inferior, intermediária e superior. S1 e S2 representam os limites entre as unidades.

e funil). A identificação de padrões distintos em função de profundidade serviu de critério básico na determinação dos limites estratigráficos (Figura 2C). A repetição dos padrões (litológicos e diagráficos), bem como o posicionamento da unidade em estudo na seção permitiram a correlação estratigráfica de cada unidade nas quatro seções geológicas

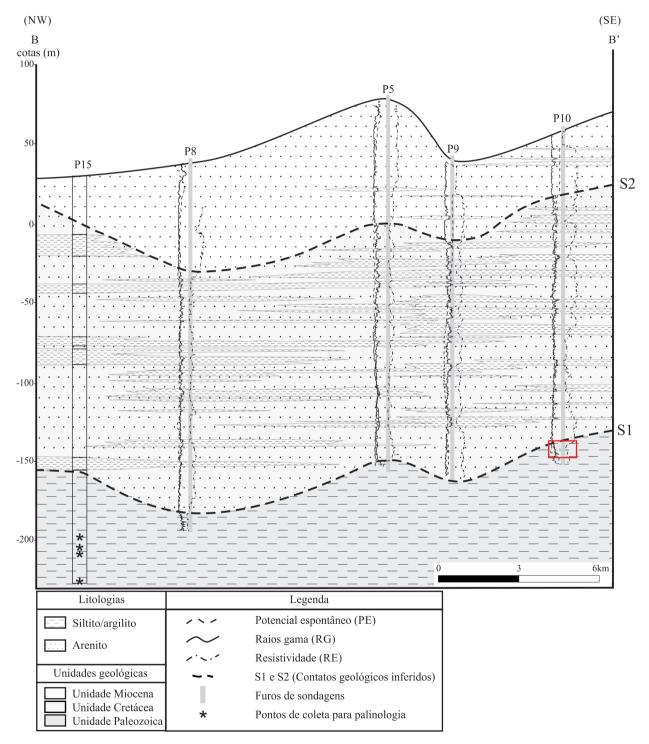


Figura 5. Seção geológica B-B' ilustrando as espessuras, limites geológicos e aspectos litológicos e diagráficos entre as unidades inferior, intermediária e superior. S1 e S2 representam os limites entre as unidades. O poço P15 mostra os locais de coleta para análise palinológica. O retângulo vermelho do poço P10 mostra o local da representação diagráfica da Figura 2 (Detalhe C5).

elaboradas (A-A', A'-A", B-B' e C-C'), as quais mostram-se orientadas, respectivamente, nas direções E-W, NW-SE, SW-NE e N-S (Figura 1). Para a definição litoestratigráfica

de cada unidade, os dados geológicos e diagráficos e o posicionamento estratigráfico foram associados aos estudos geológicos regionais, principalmente os bioestratigráficos.

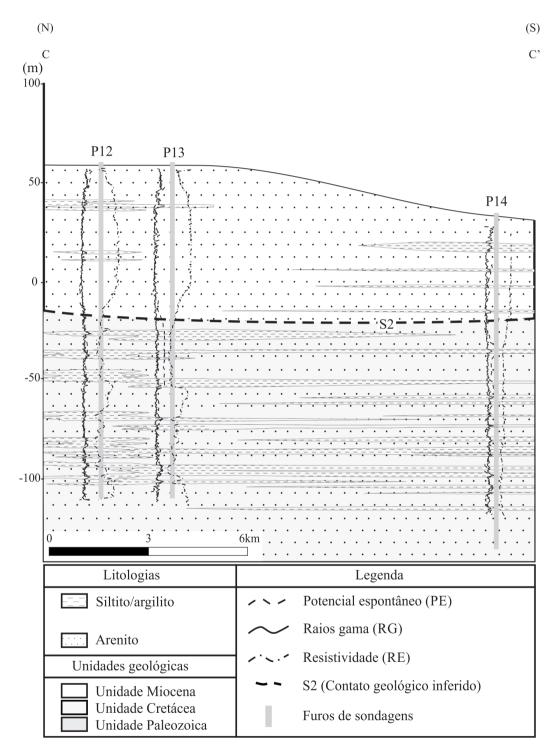


Figura 6. Seção geológica C-C' em Itacoatiara, indicando as espessuras, superfície S2, aspectos litológicos e diagráficos das unidades intermediária e superior. S2 representa o limite entre as unidades intermediária e superior.

Os critérios de correlação estratigráfica seguiram os conceitos fundamentais da estratigrafia moderna estabelecidos pela *International Union of Geological Science* (IUGS, 1994) por meio da *International Subcommission on Stratigraphic Classification* (ISSC) e *North American Comission on Stratigraphic Nomenclature* (NACSN, 2005).

RESULTADOS

Litoestratigrafia, palinologia e superfícies limitantes

A integração dos dados litológicos e das relações de contatos obtidos dos *logs* de poços tubulares estudados e descrições de afloramentos das regiões de Manaus, Itacoatiara e Presidente Figueiredo possibilitaram a identificação de três unidades sedimentares distintas, denominadas informalmente neste estudo de inferior, intermediária e superior, que compõem o arcabouço estratigráfico paleozoico-cenozoico da Amazônia Central. Nos afloramentos visitados, que se lozalizam nas margens de rios e estradas, foi possível observar a litologia das unidades, bem como as relações de contato, que definiram as superfícies limitantes (S1 e S2), entre as unidades inferior-intermediária e intermediária-superior.

A unidade inferior é constituída principalmente por folhelho cinza carbonático, com laminação plano-paralela. Esta foi identificada nos poços P2, P4, P5, P6, P7, P8, P10, P11 e P15 da região de Manaus, na profundidade mínima de -130 m (poços P4, P6 e P7) e máxima de -180 m (poço P8), não tendo sido alcançada nos poços de Itacoatiara (Figuras 3 a 6). Em Manaus, apenas os poços P-7 e P-15 atravessam uma porção significativa dessa unidade, atingindo cerca de 80 e 40 m, respectivamente, mas sem alcançar seu limite inferior. Os demais poços atingem apenas sua porção mais superior, atravessando cerca de 10 metros. Nessa unidade foi realizada análise palinológica em quatro amostras de folhelho cinza laminado, coletadas no poço P-15 (Figura 5). Entretanto, as amostras mostraram-se estéreis em palinomorfos (esporos e acritarcos), impossibilitando a definição de uma idade para essa unidade. Contudo, o raro resíduo orgânico recuperado revela material dominantemente lenhoso, algo carbonizado, compatível com os resíduos orgânicos obtidos por Playford e Dino (2000) nas formações Nova Olinda e Andirá.

A unidade intermediária é constituída principalmente por arenitos com intercalações regulares e variadas de pelitos (argilitos e siltitos) e mais raramente de conglomerados, por vezes distribuídos quase na mesma proporção, que definem descontinuidades laterais de interdigitação e lenticularização. Em afloramentos, essa unidade exibe coloração esbranquiçada a rosada, eventualmente avermelhada, e sua composição é quartzosa caulínica (Figuras 7 e 8). Internamente, apresenta

intercalações restritas e descontínuas de paleossolos reliquiares silicificados de coloração vermelha mais intensa, com gretas de contração, bioturbação e *slickensides* (Figuras 8B a 8D). A espessura individual das intercalações varia na média de 5 a 10 m, por vezes atingindo cerca de 30 a 40 m. Em geral, apresenta expressiva continuidade lateral, tendo sido descrita em todos os furos analisados (Figuras 3 a 6), entre as cotas de 20 (poço P3) a -180 m (poço P8). Seus limites inferior e superior são bem definidos em Manaus, onde apresenta uma espessura variável entre 120 e 180 m (média constante de aproximadamente 150 m), enquanto em Itacoatiara o limite inferior não pode ser definido, já que os furos de sondagens estudados não ultrapassaram os limites da referida unidade.

A unidade superior é constituída predominantemente por arenitos com esparsas intercalações descontínuas de argilitos e siltitos. Dados de afloramentos mostram que apresenta coloração rosada a avermelhada, sendo constituída predominantemente por arenitos quartzosos ferruginosos, com pelitos (argilitos e siltitos) e conglomerados subordinados, com até 10 m de espessura, que definem lenticularizações e, por vezes, pares de estratificação heterolítica inclinada (Figuras 7 a 9). Essa unidade foi identificada em todos os furos estudados, definindo uma cobertura sedimentar contínua nas regiões de Manaus e Itacoatiara, disposta entre a cota de -30 m (poço P8) e a superfície do terreno, com espessura variável entre 20 (poço P1) e 80 m (poço P5), conforme ilustrado nas Figuras 3 a 6.

Devido ao aspecto arenoso e oxidado das unidades intermediária e superior, não foram encontradas amostras de material sedimentar orgânico de coloração cinza apropriado para análise palinológica.

A superfície S1, no topo da unidade inferior, é visível nas margens da rodovia BR-174, região de Presidente Figueiredo, delimitando-a da unidade superior (Figuras 7A e 7B), sendo caracterizada por contato brusco e ondulado, por vezes marcado por lag conglomerático constituído principalmente de seixos de arenitos e pelitos das unidades sedimentares sotopostas. A superfície S2, definida no topo da unidade intermediária, é visualizada em afloramentos nas margens dos rios Negro, Solimões e Amazonas, sendo definida por uma superficie irregular (erosiva) ou marcada por paleossolo laterítico maciço e cavernoso, de aspecto colunar, com até 2 m de espessura (Figuras 8 e 9), que a separa da unidade superior. Nessa região o topo da unidade superior é sustentado por paleossolo laterítico e latossolo amarelo, que definem o relevo de morros e colinas (Figura 10).

Aspectos diagráficos e padrões das curvas

Os dados diagráficos evidenciam diferenças claras no comportamento dos padrões das curvas nos poços estudados, que permitiram delimitar e correlacionar as unidades inferior, intermediária e superior. Os valores máximo, mínimos e médios de raios gama e resistividade obtidos para cada unidade e litotipo são apresentados na Tabela 2.

Na unidade inferior, o valor máximo de RG é de 195 API e mínimo de 5 API, definindo uma média de 95 API, que ocorrem em ciclos irregulares e com gradual redução do topo em direção à base, visíveis principalmente na base do poço 7, a partir da profundidade de 150 metros (Figura 4). Os valores de RE são baixos, com média de 22 ohm.m, mínimo de 18 ohm.m e máximo de 26 ohm.m. A resistividade média nessa unidade é de 380 ohm.m, sendo portanto mais baixa do que a absoluta registrada no P4. Esse aumento foi possivelmente causado por um mau contato do eletrodo de superfície, fazendo

com que os valores obtidos não pudessem ser comparados com os dos outros poços. O PE apresenta pouca variação na parte superior dessa unidade, próximo ao contato com a unidade intermediária. Apenas nos poços P4 e P5 há um sutil aumento.

Na unidade intermediária, os valores de RG e RE apresentam variações amplas e repetidas. Os valores de RG máximo, mínimo e médio são de 146, 12 e 50 API nas camadas arenosas, e 190, 32 e 109 nas camadas pelíticas, respectivamente. Os valores de RE máximo, mínimo e médio são de 170, 22 e 93 ohm.m nas camadas arenosas e de 170, 19 e 84 ohm.m nas camadas pelíticas, respectivamente. Novamente, o PE apresenta oscilações sutis dentro dessa unidade, com um pequeno aumento do potencial nas camadas pelíticas mais espessas.







Figura 7. Superfície S1, definida em afloramento da região de Presidente Figueiredo, se caracteriza por contato brusco e ondulado (detalhe A) e *lag* conglomerático (detalhe B) separando as unidades inferior e superior.

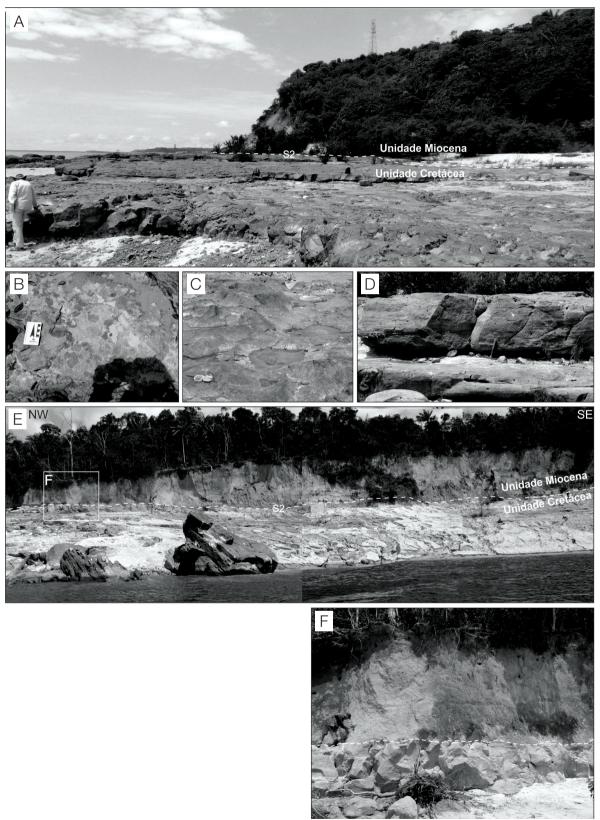


Figura 8. Superfície S2, definida em afloramentos nos barrancos do Rio Negro, caracterizada por contatos bruscos e irregulares (detalhes A, E e F) entre as unidades sedimentares cretácea e miocênica. Os detalhes B, C e D mostram, respectivamente, nível conglomerático, *slickensides* e camada arenítica na unidade cretácea.

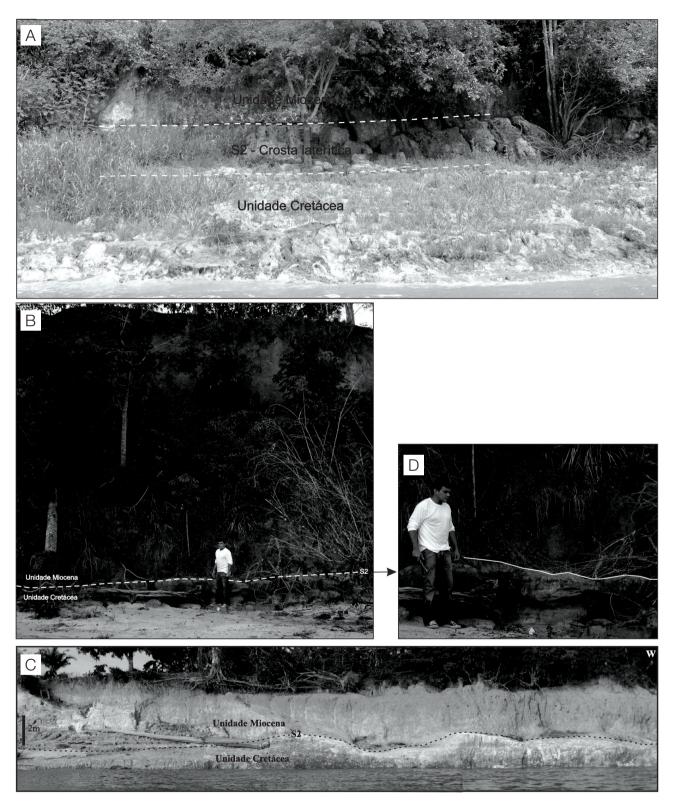


Figura 9. Superfície S2, definida por contatos bruscos e irregulares, por vezes marcados por paleossolos lateríticos, nas barrancas dos rios Amazonas (detalhe A), Negro (detalhe B) e Solimões (detalhe C).

Na unidade superior, os valores de RG máximos, mínimos e médios são de 80, 5 e 35 API, respectivamente, nos arenitos, e máximos, mínimos e médios de 174, 47 e 101 API, respectivamente, nas camadas pelíticas. Há um contraste forte entre a emissão de RG nas camadas de arenitos e pelitos, indicando haver uma quantidade menor de finos nas primeiras, mas o número relativamente pequeno de intercalações de pelitos nessa unidade gera um padrão serrilhado sutil (seguindo a classificação da Figura 2), e o isolamento das camadas pelíticas gera o padrão simétrico (P5 e P9, Figura 5, e P12 e P14, Figura 6). Os valores máximos, mínimos e médios de RE são 184, 22 e 98 ohm.m, respectivamente, nas camadas de arenito, e nas camadas de pelitos são de 175, 18 e 87 ohm.m, respectivamente. O PE não apresenta variações significativas. Em alguns poços, como P6, P7, P8, P9 e P11, há uma diminuição próximo à superficie, mas sem mudança litológica evidente.

DISCUSSÃO

O avanço nos estudos faciológicos e estratigráficos de superfície e subsuperfície na porção central da Bacia Sedimentar do Amazonas nas última décadas tem induzido a discussões sobre as unidades sedimentares que compõem o arcabouço estratigráfico pós-paleozoico da bacia ao longo de sua extensão. Como exemplo, podemos citar a inclusão das formações Solimões e Marajó nas extremidades ocidental e oriental da Bacia do Amazonas por Cunha et al. (2007), já que essas pertencem às bacias do Solimões e Marajó, respectivamente. Nesse contexto, dados litológicos e geofísicos de superfície e subsuperfície das regiões de Manaus, Itacoatiara a Presidente Figueiredo permitiram a definição de três unidades sedimentares distintas, denominadas de inferior, intermediária e superior, limitadas por superfícies de descontinuidades (S1 e S2), que definem o quadro estratigráfico da cobertura sedimentar da Amazônia Central.

As similaridades dos parâmetros diagráficos, principalmente as curvas de RG e RE, entre os poços lateralmente adjacentes possibilitaram estender os dados de correlação das unidades definidas por dezenas de quilômetros e até 300 metros de profundidade. Os dados mostram que as variações dos valores, nas mesmas profundidades em poços contíguos, sugeriram descontinuidade lateral das camadas, indicando lenticularização, interdigitação, gradação lateral ou truncamento por falhas. Na maioria dos poços, as perfilagens de PE não apresentam bom contraste entre as diferentes unidades e não foram utilizadas nas correlações. Com base nas perfilagens geofísicas foi possível definir eletrofácies características para as unidades descritas, as



Figura 10. Paleossolo laterítico recoberto por latossolo amarelo no topo da unidade superior, em Manaus.

Tabela 2. Valores médios, mínimos e máximos de raios gama e resistividade, por unidade e litotipo.

Unidade	Litologia	RG (API)			RE (ohm.m)		
		Méd.	Mín.	Máx.	Méd.	Mín.	Máx.
Superior	Ar	35	5	80	98	22	184
	Ag	101	47	174	87	18	175
Intermediária	Ar	50	12	146	93	22	170
	Ag	109	32	190	84	19	170
Inferior*	Fo	95	5	195	22	18	26

RG: raios gama; API: padrão American Petroleum Industry; RE: resistividade; Ar: arenito; Ag: argilito; Fo: folhelho; *há apenas dois valores de raios gama, e um de resistividade, na unidade inferior.

quais foram comparadas aos padrões de funil, serrilhado, caixote, simétrico e sino da classificação de Calhôa et al. (2011), cuja mudanças marcam as posições das superfícies (S1 e S2) de contato.

A unidade inferior apresenta repetições dos padrões diagráficos das curvas de RG que caracterizam os padrões dos tipos serrilhado (Figura 2C3), que provavelmente são causadas por variações litológicas. Na unidade intermediária, as frequentes intercalações de camadas de arenito e pelitos (argilito e siltito) geram repetições cíclicas de valores das diagrafias de RG e RE, gerando o padrão típico serrilhado (Figura 2C3), e há diminuições graduais de emissão de RG, do topo para a base, que geram o padrão tipo sino (Figura 2C2). Os valores máximo e médio de RE são menores na unidade intermediária, em comparação com a superior, tanto nas camadas de arenitos quanto de pelitos, enquanto os valores mínimos são praticamente iguais. Na unidade superior, o maior distanciamento vertical gerado pela menor frequência de ocorrência de camadas pelíticas gera um padrão do tipo simétrico de RG em pontos isolados (Figura 2C4), enquanto em alguns poços (P2, P5, P9, P11, P12, P13 e P14), apresenta um padrão do tipo caixote (Figura 2C1) nas curvas de RE. No topo da unidade, a redução de RE pode estar relacionada à ocorrência de água subterrânea, que marca o limite superior do Aquífero Alter do Chão.

A conexão lateral das profundidades em que ocorrem mudanças nos padrões diagráficos nos diferentes poços estudados permitem inferir a posição e a morfologia dos contatos entre as unidades. O contato entre as unidades inferior e intermediária é bem marcado por uma diminuição gradual ascendente dos valores de RG e aumento ascendente de RE, gerando um padrão do tipo funil (Figura 2C5). A superfície definida pelas mudanças diagráficas é suavemente ondulada, designada de S1, e se extende por dezenas de quilômetros (Figuras 3 a 5). O contato entre as unidades intermediária e superior é definido pela diminuição ascendente de valores de RG e aumento marcante ascendente de RE, na maioria dos poços, que define padrão tipo funil. Em alguns poços, como P5 (Figura 3) e P9 (Figura 4), o contato entre as unidades intermediária e superior é marcado pela presença de uma lente de argilito, o que gera um pico acentuado de RG, definindo o padrão tipo caixote (Figura 2C1). Essa superficie apresenta uma morfologia suavemente ondulada, sendo designada de S2 (Figuras 3 a 6).

Os dados litológicos e diagráficos das unidades sedimentares inferior, intermediária e superior descritas na Amazônia Central, bem como seus respectivos posicionamentos estratigráficos e superfícies limitantes foram associados a dados litoestratigráficos e geocronológicos disponíveis da Amazônia (Playford e Dino, 2000; Costa, 2002; Soares, 2007; Soares et al., 2010; Dino et al., 2012, entre outros) dando suporte à sua associação, respectivamente, com as formações Nova Olinda/Andirá (Carbonífero/Permiano),

Alter do Chão (Cretáceo) e Novo Remanso (Neógeno) da Bacia do Amazonas.

Dados diagráficos e geológicos de 14 poços (P1 a P14) possibilitaram a definição das superfícies limitantes S1 e S2 entre as unidades inferior-intermediária e intermediária-superior, bem como sua correlação ao longo de toda a extensão da área estudada, caracterizadas como superfícies suavemente onduladas, contínuas por dezenas de quilômetros. Entretanto, os aspectos morfológicos das superfícies foram melhor descritos em afloramentos isolados, destacando principalmente o caráter brusco e erosivo das descontinuidades, por vezes, bem marcadas por lags conglomeráticos e paleossolos lateríticos (Figuras 7 a 9). Os paleossolos são amplamente usados como superfícies de correlação na Amazônia por envolver um tempo de formação relativamente longo e ampla distribuição geográfica (Costa 1991; Horbe et al., 2001; Rossetti et al., 2004). Na Amazônia Oriental, esses paleosolos também têm sido usados como guias estratigráficos do Cenozoico (Kotschoubey e Truckenbrodt, 1981; Costa, 1991; Rossetti, 2001; Rossetti et al., 2004) e fornecem base para o entendimento dos episódios sucessivos de deposição e erosão e sua relação com as mudanças do nível do mar e tectônica. Na Amazônia Central e Ocidental, a caracterização geocronológica e o mapeamento de tais superfícies ainda estão em fase inicial de estudo, sendo definidos principalmente nos limites entre as unidades sedimentares cretácea e neógena dessa região (Abinader et al., 2007; Abinader, 2008; Soares, 2007; Soares et al., 2010; Dino et al., 2012; Gonçalves Jr., 2013; Horbe, 2014), o que dificulta sua correlação com outras áreas e/ou eventos de lateritização da Amazônia. As superfícies S1 e S2 definidas nas seções geológicas correspondem a marcadores estratigráficos regionais importantes na Amazônia Central, pois limitam as unidades de deposição, e seu reconhecimento e posicionamento na seção permite estabelecer correlação litoestratigráfica.

A superfície S1, definida entre as cotas de 150 e 200 m, marca o topo da unidade paleozoica (formações Nova Olinda/ Andirá) e pode ser associada às discordâncias pré-albiana, definida por Costa (2002) e a pré-cretácea de Cunha et al. (2007). Essa superfície marca também o limite inferior do Aquífero Alter do Chão, posicionado a cerca de 200 m de profundidade na região de Manaus por Aguiar et al. (2002). A superfície S2, desenvolvida no topo da Formação Alter do Chão, pode ser associada à superfície SA1 de Horbe et al. (2001) do Paleógeno (Paleoceno) ou pode definir o limite Eoceno-Oligoceno, conforme Costa (1991). Além disso, sua gênese pode também estar associada ao evento laterítico de 28-50 Ma definido por Horbe (2014) para a Amazônia Central. Na região de Manaus, a S2 define o limite estratigráfico entre as zonas aquíferas 1 e 2, descritas no estudo de Souza (2005). A crosta que ocorre no topo da unidade superior, definindo o relevo das regiões de Manaus, Itacoatiara e Presidente Figueiredo (Soares, 2007; Dino et al., 2012), conforme ilustrado na Figura 10, pode ser associada ao evento laterítico de 10 Ma proposto para a Amazônia por Horbe (2014).

CONCLUSÕES

Dados geológicos e diagráficos (RG, RE e PE) das regiões de Manaus, Itacoatiara e Presidente Figueiredo permitiram montar o arcabouço estratigráfico pós-paleozoico dessa porção da Bacia Sedimentar do Amazonas, constituído pelas formações Alter do Chão (Cretáceo) e Novo Remanso (Neógeno), sobrepostas discordantemente ao substrato paleozoico (formações Nova Olinda/Andirá). A denominação litoestratigráfica de cada unidade individualizada na seção foi feita em função do seu posicionamento estratigráfico, incluindo as relações de contato com as superfícies limitantes S1 e S2, e sua associação com dados geocronológicos regionais.

O quadro estratigráfico destaca a continuidade lateral da unidade miocênica, que compõe o relevo da região entre Manaus e Itacoatiara, distantes entre si cerca de 170 km. Essa concepção difere daquela proposta no mapa do Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2008), que não considera haver continuidade lateral dessa unidade, descrevendo-a apenas em trechos isolados da região, intercalada com afloramentos da unidade cretácea. Essa cobertura sedimentar pode ser correlacionada à unidade terciária definida a sudeste e leste de Manaus por Costa (2002) com base em dados sísmicos, bem como aos depósitos pós-cretáceos definidos em afloramentos nos rios Negro, Solimões, Amazonas e Uatumã (Abinader et al., 2007; Abinader, 2008; Soares, 2007; Soares et al., 2010; Dino et al., 2012; Soares et al., 2015). A confirmação palinoestratigráfica dessa unidade em outros pontos da Amazônia Central permitirá sua inserção no quadro estratigráfico geral da bacia, já que está ausente na atual carta estratigráfica proposta por Cunha et al. (2007).

O limite estratigráfico entre as unidades sedimentares cretácea e neógena, definido em todos os poços estudados e visualizado em afloramentos por meio de paleossolos lateríticos ou superfícies de descontinuidades, permitiu a individualização de duas unidades pós-paleozoicas, corroborando o quadro estratigrafico regional proposto em diversos estudos (Costa, 2002; Abinader et al., 2007; Abinader, 2008; Soares, 2007; Soares et al., 2010; Dino et al., 2012). Entretanto, essa individualização não coincide com o quadro pós-paleozoico proposto por Caputo (2011) para essa região que, baseado em dados geológicos, paleontológicos e geofísicos de furos de sondagens da Bacia do Amazonas, defende a ocorrência apenas da unidade miocênica (denominada de Formação Alter do Chão) sobreposta discordantemente ao substrato paleozoico (Formação Nova Olinda) na região do Arco de Purus e adjacências. Nessa região, o autor descarta a ocorrência da unidade cretácea (denominada de Formação Jazida da Fazendinha), que ocorre somente a leste, estendendo-se até o limite oriental da Bacia Sedimentar do Amazonas.

Diante da carência de dados paleontológicos das unidades cretácea e neógena estudadas, este trabalho demonstra que a utilização de dados geológicos e seus respectivos padrões diagráficos de curvas obtidos em furos de sondagens podem ser utilizados como uma ferramenta importante na definição das unidades sedimentares e seus limites estratigráficos, servindo de base para a definição do quadro estratigráficos pós-paleozoico de outros locais da região.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à empresa SP Saneamento e Poços Ltda. pela liberação dos perfis geológicos-geofisicos das regiões de Manaus e Itacoatiara, em particular ao geólogo Ziomar Costa e Silva Júnior pelo apoio no fornecimento de dados e coleta de amostras.

REFERÊNCIAS

Abinader, H. D. (2008). *Depósitos cenozoicos da porção oeste da Bacia do Amazonas*. Dissertação (Mestrado). Manaus: Programa de Pós-graduação em Geociências – UFAM.

Abinader, H. D., Nogueira, A. C. R., Mapes, R. W., Coleman, D. S. (2007). Estratigrafía de depósitos cenozóicos da porção centro-oeste da Bacia do Amazonas. *Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário*, v. 11. Belém: ABEQUA.

Aguiar, C. J. B., Horbe, M. A., Rosa Filho, S. F., Lopes, E. S., Moura, U. F., Andrade, N. M., Diógenes, H. S. (2002). *Carta hidrogeológica da cidade de Manaus*. Relatório Interno. Manaus: CPRM-AM.

Albuquerque O. R. (1922). *Reconhecimento geológico no vale do Amazonas (Campanhas de 1918 e 1919)*. Boletim 3. Rio de Janeiro: Serviço Geológico e Mineralógico/Divisão de Geologia e Mineralogia.

Andrade, L. S. Soares, E. A. A. (2009). Estratigrafia de subsuperfície da sequência sedimentar cretácea e neógena na cidade de Manaus. *XI Simpósio de Geologia da Amazônia*. Manaus: SBG.

Calhôa, A. M. G. A. S., Reis, R. P. B. P., França, A. B. (2011). A utilização de electrofácies na ampliação do conhecimento da estratigrafia do Jurássico Inferior e Médio na Bacia Lusitânia. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, 19(1/2), 101-130.

Cant, D. J. (1992). Subsurface facies analysis. In: R. G. Walker, N. P. James (Eds.), *Facies models: response to sea level change*. St. John's: Geological Association of Canada.

Caputo, M. V. (1984). *Stratigraphy, tectonics, paleoclimatology and paleogeography of northern basins of Brazil*. Tese (Doutorado). Santa Bárbara: Universidade da Califórnia.

Caputo, M. V. (2011). Discussões sobre a Formação Alter do Chão e o Alto de Monte Alegre. In: N. J. Reis, M. A. S. Monteiro (Eds.), *Contribuições à Geologia da Amazônia* (v. 2, 148-176). Manaus: Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo Norte (SBG-NO).

Caputo, M. V., Rodrigues, R., Vasconcelos, D. N. N. (1971). *Litoestratigrafia da Bacia do Amazonas*. Relatório Interno. Belém: Petrobrás, DIREX/RENOR.

Costa, A. R. A. (2002). *Tectônica cenozóica e movimentação* salífera na Bacia do Amazonas e suas relações com a geodinâmica das placas da América do Sul, Caribe, Cocos e Nazca. Dissertação (Mestrado). Belém: Instituto de Geociências – UFPA.

Costa, M. L. (1991). Aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia. *Revista Brasileira de Geociências*, 21(2), 146-160.

Cunha, H. B., Rocha Neto, J. R. (2001). Avaliação físicoquímica e biológica de poços rasos "cacimbas" da região leste da cidade de Manaus. *X Jornada de Iniciação Científica*. Manaus: PIBIC/INPA.

Cunha, P. R. C., Gonzaga, F. G., Coutinho, L. F. C., Feijó, F. J. (1994). Bacia do Amazonas. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, 8(1), 47-55.

Cunha, P. R. C., Melo, J. H. G., Silva, O. B. (2007). Bacia do Amazonas. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, 15(2), 227-251.

Daemon, R. F. (1975). Contribuição à datação da Formação Alter do Chão, Bacia do Amazonas. *Revista Brasileira de Geociências*, 5(2), 58-84.

Dewan, J. T. (1983). Essentials of Modern Open-Hole Log Interpretation. Tulsa: Perm Well Publishing Co.

Dino, R., Silva, O. B., Abrahão, D. (1999). Caracterização palinológica e estratigráfica de estratos cretáceos da Formação Alter do Chão, Bacia do Amazonas. *V Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil*. Serra Negra: SBG.

Dino, R., Silva, O. B, Abrahão, D. (2000). Palynostratigraphic characterization of the Cretaceous strata from the Alter do

Chão Formation, Amazonas Basin. XXX1 International Geological Congress. Rio de Janeiro: SBG.

Dino, R., Soares, E. A. A., Antonioli, L., Riccomini, C., Nogueira, A. C. R. (2012). Palynostratigraphy and sedimentary facies of Middle Miocene fluvial deposits of the Amazonas Basin, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 34, 61-80.

Doveton, J. H. (1986). *Log analysis of subsurface geology: concepts and computer methods*. New York: John Wiley and Sons.

Doveton, J. H. (1994). *Geologic log interpretation: Reading the Rocks from Wireline Logs. Society for sedimentary geology.* SEPM Short Course Notes No. 29. Tulsa: SEPM.

Gonçalves Jr., E. S. (2013). *Terraços fluviais quaternários das regiões de Careiro-da-Várzea, Manaquiri, Careiro-Castanho e Autazes, Amazônia Central*. Tese (Mestrado). Manaus: Departamento de Geociências – UFAM.

Guimarães, J. T. F., Nogueira, A. C. R., Silva Júnior, J. B. C., Soares, J. L., Alves, R., Kern, A. K. (2014). Palynology of the middle miocene-pliocene Novo Remanso Formation, central Amazonia, Brazil. *Ameghiniana*, 52(1), 107-134.

Hoorn, C., Roddaz, M., Dino, R., Soares, S., Uba, C., Ochoa-Lozano, D., Mapes, R. (2010). The Amazonian Craton and its influence on past fluvial systems (Mesozoic-Cenozoic, Amazonia). In: Hoorn, C., Wesselingh, F.P. (Eds.), *Amazonia, Landscape and Species Evolution: a look into the past.* Oxford: Wiley.

Horbe, A. M. C. (2014). Idades paleomagnéticas de crostas lateríticas da Amazônia. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais*, 9(1), 93-104.

Horbe, A. M. C., Nogueira, A. C. R., Horbe M. A., Costa M. L., Suguio, K. (2001). A lateritização na gênese das superficies de aplainamento da região de Presidente Figueiredo-Balbina, nordeste do Amazonas. In: N. J. Reis, M. A. S. Monteiro (Eds.), *Contribuições à Geologia da Amazônia* (v. 2, 148-176). Manaus: Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo Norte (SBG-NO).

International Union of Geological Science (IUGS). International Subcommission on Stratigraphic Classification (ISSC). (1994). *International stratigraphic guide: a guide to stratigraphic classification, terminology, and procedure* (2nd ed.). Colorado: Geological Society of America.

Kotschoubey, B., Truckenbrodt, W. (1981). Evolução poligenética das bauxitas do distrito de Paragominas-Açailândia, Estados do Pará e Maranhão. *Revista Brasileira de Geociências*, 11(3), 193-202.

Lang W. H. (1986). Correlation with multiple logs. *The Log Analyst*, 27(1), 43-52.

Mendes, A. C., Truckenbrod, W., Nogueira, A. C. R. (2012). Análise faciológica da Formação Alter do Chão (Cretáceo, Bacia do Amazonas), próximo à cidade de Óbidos, Pará, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 42(1), 39-57.

Miall, A. D. (1990). *Principles of Sedimentary Basin Analysis*. New York: Springer-Verlag.

Miall, A. D., Tyler, N. (1991). The three-dimensional facies architecture of terrigenous clastic sediments and its implications for hydrocarbon discovery and recovery. Concepts in Sedimentology and Paleontology 3. Tulsa: SEPM.

Nogueira, A. C. R., Vieira, L. C. Suguio, K. (1999). Paleossolos da Formação Alter do Chão, Cretáceo-Terciário da Bacia do Amazonas, regiões de Presidente Figueiredo e Manaus. *V Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil*. Serra Negra: SBG.

Nogueira, A. C. R., Horbe, A. M. C., Paz, J. D. S., Motta, M. B., Rozo, J. M. G. (2006). O Neógeno da Amazônia Ocidental. *IX Simpósio de Geologia da Amazônia*. Belém: SBG.

North American Comission on Stratigraphic Nomenclature (NACSN). (2005). North American Stratigraphic Code. *AAPG Bulletin*, 89(11), 1547-1591.

Phipps, D., Playford, G. (1984). Laboratory techniques for extraction of palynomorphs from sediments. *Papers, Department of Geology University of Queensland*, 11(1), 1-23.

Playford, G., Dino, R. (2000). Palynostratigraphy of upper Palaeozoic strata (Tapajós Group), Amazonas Basin, Brazil: part two. *Palaeontolographica Abteilung* B, 255, 87-145

Rossetti, D. F. (2001). Late Cenozoic sedimentary evolution in northeast Pará, Brazil, within the context of sea level changes. *Journal of South American Earth Sciences*, 14(1), 77-89.

Rossetti, D. F., Neto, R. G. (2006). First evidence of marine influence in the Cretaceous of the Amazonas Basin, Brazil. *Cretaceous Research*, 27(4), 513-528.

Rossetti, D. F., Góes, A. M., Toledo, P. M., Santos Jr., A. E. A., Paz, J. D. S. (2004). Evolução de paisagens no Neógeno da Amazônia: implicações na origem e distribuição da biodiversidade. Belém: IBAMA.

Rossetti, D. F., Toledo, P. M., Goes A. M. (2005). New geological framework for Western Amazonia (Brazil) and

implications for biogeography and evolution. *Quaternary Research*, 63(1), 78-89.

Rozo, J. M. G. (2004). Evolução holocênica do Rio Amazonas entre a ilha do Careiro e a foz do Rio Madeira. Dissertação (Mestrado). Manaus: Departamento de Geociências – UFAM. 93 p.

Rozo, J. M. G., Nogueira, A. C. R., Horbe, A. M. C., Carvalho, A. S. (2005). Depósitos Neógenos da Bacia do Amazonas. In: A. M. C. Horbe, V. S. Souza (Coord.) *Contribuições à Geologia da Amazônia* (v. 4, 201-207). Manaus: SBG.

Serra, O. (1985). *Sedimentary environments from wireline logs*. Houston: Schlumberger.

Serviço Geológico do Brasil (CPRM). (2006). *Geologia e Recursos Minerais do Estado do Amazonas: integração, atualização e difusão de dados da geologia do Brasil*. In: Reis, N. J., Almeida, M. E., Riker, S. L., Ferreira, A. L. (Eds.). Escala de 1:1.000.000. Manaus: Sistema de Informações Geográfica(SIG)/CPRM.

Serviço Geológico do Brasil (CPRM). (2008). *Projeto materiais de construção no domínio Médio Amazonas*. Informe de Recursos Minerais. programa Geologia do Brasil. Série Rochas e Minerais Industriais nº 03. Minerais para a construção civil. Manaus: CPRM.

Silva, F. P., Kiang, C. H, Caetano-Chang, M.R. (2005). Estratigrafia de subsuperficie do Grupo Bauru (K) no estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências*, 35(1), 77-88.

Silva, M. L. (1999). *Hidroquímica elementar e dos isótopos de urânio nos aquíferos de Manaus - AM*. Dissertação (Mestrado). Rio Claro: Instituto de Geociências – USP.

Silva, M. L. (2001). Características das águas subterrâneas numa faixa norte-sul na cidade de Manaus (AM). *Revista Escola de Minas*, 54(2), 115-120.

Silva, M. L., Silva, M. S. R. (2007a). Perfil da qualidade das águas subterrâneas de Manaus. *Holos Environment*, 7(1), 1519-8634.

Silva, M. L., Silva, M. S. (2007b). Hidrogeoquímica das águas subterrâneas da cidade de Iranduba (AM), Brasil. *Revista Caminhos da Geografia*, 8(22), 87-96.

Soares, E. A. A. (2007). *Depósitos pleistocenos da região de confluência dos rios Negro e Solimões, porção oeste da Bacia do Amazonas*. Tese (Doutorado). São Paulo: Instituto de Geociências – USP.

- Soares, E. A. A., Silva C. L., Nogueira, A. C. R., Suguio, K., Barros, D. S., Santos, W. H. D. (2001). Os depósitos quaternários na confluência dos rios Negro e Solimões, município de Iranduba e Manacapuru, Amazonas. *VII Simpósio de Geologia da Amazônia*. Belém: SBG.
- Soares, E. A. A., Truckenbrodt, W., Nogueira, A. C. R. (2005). Fácies litorâneas e subglaciais da Formação Nhamundá (Siluriano Inferior), Região de Presidente Figueiredo, Bacia do Amazonas. *Revista do Museu Paraense Emílio Goeldi*, 1(2), 89-116.
- Soares, E. A. A., Tatumi, S. H., Riccomini, C. (2010). OSL age determinations of Pleistocene fluvial deposits in central Amazonia. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 82(3), 691-699.
- Soares, E. A. A., Dino, R., Soares, D. P., Antonioli, L., Silva, M. A. L. (2015). New sedimentological and palynological data from surface Miocene strata in the central Amazonas Basin area. *Brazilain Journal of Geology*, 45(3), 337-357.
- Souza, L. S. B. (2005). Mapeamento de aquiferos na cidade de Manaus (AM) utilizando perfilagem geofísica de poço e

- sondagem elétrica vertical. Dissertação (Mestrado). Belém: Instituto de Geociências UFPA.
- Souza, L. S. B., Verma, O. P. (2006). Mapeamento de aquíferos na cidade de Manaus/AM (zonas norte e leste) através de perfilagem geofísica de poço e sondagem elétrica vertical. *Revista Brasileira de Geociências*, 19(1), 111-127.
- Souza, V. S., Nogueira, A. C. R. (2009). Seção geológica Manaus-Presidente Fiegueiredo (AM), borda norte da Bacia do Amazonas: um guia para excursão de campo. *Revista Brasileira de Geociências*, 39(1), 16-29.
- Vega, A. M. L. (2006). Reconstituição paleoambiental dos depósitos miocenos da região centro-oriental da Bacia do Solimões. Dissertação (Mestrado). Manaus: Departamento de Geociências UFAM.
- Vega, A. M. L., Nogueira, A. C. R., Mapes, R. W., Coleman, D. (2006). A late-Miocene delta-lacustrine system in the eastern Solimões basin: prelude to the modern Amazon River. *Philadelphia Annual Meeting*. Philadelphia: GSA.