



**Brazilian Geographical Journal:  
Geosciences and Humanities research  
medium**



**ARTICLES/ARTIGOS/ARTÍCULOS/ARTICLES**

**Depósitos argilosos Cenozóicos do estado do Amazonas:  
utilização como agregados de argilas calcinadas para  
pavimentações na região Amazônica**

**Dra. Roseane Ribeiro Sarges**

Pesquisadora, Grupo GSED, Instituto de Geociências. Universidade Federal do Pará

**E-mail:** roseanesarges@hotmail.com

**Dr. Afonso César Rodrigues Nogueira**

Prof. Grupo GSED, Instituto de Geociências. Universidade Federal do Pará

**E-mail:** anogueira@ufpa.br

**Dra. Consuelo Alves Frota**

Profa. Faculdade de Tecnologia. Universidade Federal do Amazonas

**Email:** cafrota@ufam.edu.br

**Mestrando Cleudinei Lopes da Silva**

Faculdade de Tecnologia, Universidade Federal do Amazonas

**Email:** cleudineilopes@gmail.com

**RESUMO**

**ARTICLE HISTORY**

**Received: 07 Octubre 2010  
Accepted: 16 Octubre 2010**

**PALAVRAS CHAVE:**

Argila calcinada  
Depósitos argilosos  
Cenozóico  
Amazônia

A busca por alternativas que venham substituir rochas duras por matérias-primas, para uso em pavimentação, é uma necessidade para a grande maioria dos municípios do estado do Amazonas, porquanto esta região está assentada em quase toda a sua totalidade sobre rochas sedimentares da Bacia do Amazonas. Uma alternativa viável é a utilização de argilas calcinadas para a obtenção de agregados sintéticos de argila calcinada. Com uma abordagem pioneira na região, investigamos os depósitos sedimentares aflorantes na região entre as cidades de Coari e Manaus, e identificamos os argilominerais presentes, no intuito de definir quais os depósitos sedimentares com potencial para exploração. O estudo envolveu atividades de campo, com levantamentos estratigráficos e faciológicos dos depósitos

sedimentares, e coleta de amostras, que foram analisadas por meio de Difração de raio-X, visando a caracterização composicional dos argilominerais e análises químicas, para identificação dos elementos constituintes das rochas e sedimentos. A partir das análises faciológicas e estratigráficas foi possível definir três unidades estratigráficas distintas: Formação Solimões (Mioceno Superior), Formação Içá (Pleistoceno) e Depósitos Fluviais possivelmente quaternários. A Formação Solimões é caracterizada por argilitos de coloração cinza e raras intercalações de arenitos finos, com caulinita (argilomineral predominante), illita, montmorillonita, clinocloro, sepiolita, clorita-vermiculita e interestratificado illita-smectita, e composicionalmente rica em  $\text{Si}_2\text{O}_2$  (59.7%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (26.1%),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (2.7%),  $\text{K}_2\text{O}$  (1.8%). A Formação Içá é constituída essencialmente por arenitos, com presença de illita e caulinita, e constituída principalmente por  $\text{Si}_2\text{O}_2$  (69.1%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (18.9%),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (2.7%),  $\text{K}_2\text{O}$  (2.0%). Os Depósitos Quaternários são representados principalmente por areias finas e médias e argilas de ambiente fluvial, contendo caulinita e illita, cuja composição química destes sedimentos, em valores percentuais médios, tem predominância de  $\text{Si}_2\text{O}_2$  (60.4%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (23.8%),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (5.2%),  $\text{K}_2\text{O}$  (2.2%).

---

**KEY WORDS:**

Calcinated clay  
Argillaceous deposits  
Cenozoic  
Amazon.

**ABSTRACT** - CENOZOIC ARGILLACEOUS DEPOSITS FROM AMAZONAS STATE: APPLICATION AS CALCINATED CLAY AGGREGATES FOR PAVEMENT USE IN THE AMAZON REGION. Alternatives to replace hard rock by raw materials in pavement mixtures are needed in the great majority of the municipal districts of Amazonas State because this region is settled almost exclusively on sedimentary rocks of the Amazonas Basin. A viable option is calcinated clays and claystones use to obtain Synthetic Calcinated Clay Aggregates (SCCA). Using a novel approach in this region, the sedimentary deposits in the area between the towns of Coari and Manaus were characterized and the clay minerals present identified, in order to determine which are the sedimentary deposits with potential for extraction. This study involves field research with stratigraphical and sedimentary descriptions of outcrops of deposits. Samples were analyzed using X-ray diffraction, to characterize the mineralogical composition, and chemical analyses were carried out to identify the elemental composition of sediments and stones. From the stratigraphical and faciological analyses, it was possible to define three stratigraphic units: the Solimões Formation (Upper Miocene), the Içá Formation (Pleistocene) and Fluvial Deposits (possibly Quaternary). The Solimões Formation is characterized by gray claystones, siltstones and rare fine sandstone intercalations, with kaolinite (predominant mineral), illite, montmorillonite, clinoclore, sepiolite, chlorite-vermiculite and interstratified illite-smectite, rich in  $\text{Si}_2\text{O}_2$  (59.7%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (26.1%),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (2.7%),  $\text{K}_2\text{O}$  (1.8%).

The Içá Formation is composed essentially by sandstones, with clay minerals illite and kaolinite present, and contains mainly  $\text{Si}_2\text{O}_2$  (69.1%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (18.9%),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (2.7%),  $\text{K}_2\text{O}$  (2.0%). The Quaternary Deposits are represented mainly by fine and medium sands and clays from fluvial environments, composed by kaolinite and illite, whose chemical composition is  $\text{Si}_2\text{O}_2$  (60.4%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (23.8%),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (5.2%) and  $\text{K}_2\text{O}$  (2.2%).

---

## 1. Introdução

No Brasil, o termo “agregados para a construção civil” é empregado para identificar a matéria-prima mineral bruta ou beneficiada com emprego imediato na indústria da construção civil, que consistem basicamente em areias (grossa e fina), cascalhos e a rochas britadas (VALVERDE, 2001). Para misturas asfálticas, a indústria usa predominantemente rochas duras ou cristalinas de origem ígnea ou metamórfica, que possuem boa resistência à ação de forças mecânicas. No estado do Amazonas, as matérias-prima para a brita ocorrem longe dos grandes centros populacionais, distando mais de 200 km ao norte de Manaus e em torno de mais de 300 km do pólo petrolífero de Coari, o que torna dispendioso sua exploração para a pavimentação (Fig. 1). Além disso, o arcabouço rochoso do estado é formado principalmente pelas chamadas rochas moles ou sedimentares das bacias do Solimões e Amazonas, de idades paleozóicas e cenozóicas, que em geral não se prestam para aquele uso (Fig. 1). As propriedades de resistência desses materiais são modificadas devido ao intenso intemperismo físico-químico da região amazônica que desagregam ainda mais estas rochas, propiciando o desenvolvimento de espessos solos, recobertos por densa cobertura vegetal da floresta, contribuindo ainda mais para a escassez de material pétreo. Muitas vezes, o seixo rolado é uma alternativa comumente empregada como agregado graúdo na pavimentação, especialmente para a composição de misturas asfálticas do tipo concreto betuminoso usinado a quente. O seixo é um agregado de forma esférica e textura superficial lisa, provoca redução no atrito entre suas partículas e, por conseguinte, diminui a resistência ao cisalhamento da mistura (FROTA *et al.*, 2007). Porém a exploração do seixo é um procedimento que causa grande impacto ambiental aos ecossistemas fluviais,

uma vez que é obtido por dragagem do leito de rios. Adicionalmente, os seixos são componentes relativamente escassos no segmento médio do sistema fluvial Solimões-Amazonas onde predominam sedimentos finos.

O grande desafio é a busca de matérias ou tecnologias que possam tornar viáveis a construção de estradas pavimentadas, importantes para o desenvolvimento e auto-sustentação de qualquer região. Considerando a maior disponibilidade de rochas sedimentares e sedimentos arenosos e principalmente a abundância de depósitos argilosos no estado do Amazonas, admite-se que uma alternativa de material pétreo suplementar para a pavimentação seja a utilização de argilas calcinadas como agregados (ASACs). A utilização destas argilas ativadas termicamente como agregados para argamassas e concretos tem recebido considerável atenção nos últimos anos devido aos benefícios técnicos, econômicos e ambientais que esses materiais podem promover (VIEIRA, 2000; NASCIMENTO, 2005; FROTA *et al.*, 2006; FROTA *et al.*, 2007; SANTOS *et al.*, 2007). A necessidade de se identificar depósitos argilosos, adequados para confecção de ASACs, próximos dos pólos de desenvolvimento com escassez de material pétreo apropriado para a pavimentação, motiva a realização dessa pesquisa.

A área-piloto selecionada para este estudo localiza-se entre a Província Petrolífera do Urucu, na cidade de Coari até ao sul de Manaus, incluindo a porção leste do Rio Solimões e sua confluência com o Rio Negro (Fig. 2). A área abrange a zona do Arco de Purus, limite entre as bacias sedimentares do Solimões e Amazonas. A análise estratigráfica dos depósitos sedimentares aflorantes, de idade cenozóica, permitiu a individualização dos principais depósitos argilosos, cuja análise química, mineralógica e física permitiu avaliar a potencialidade do seu uso como ASACs na construção de pavimentos nesta parte da Amazônia.

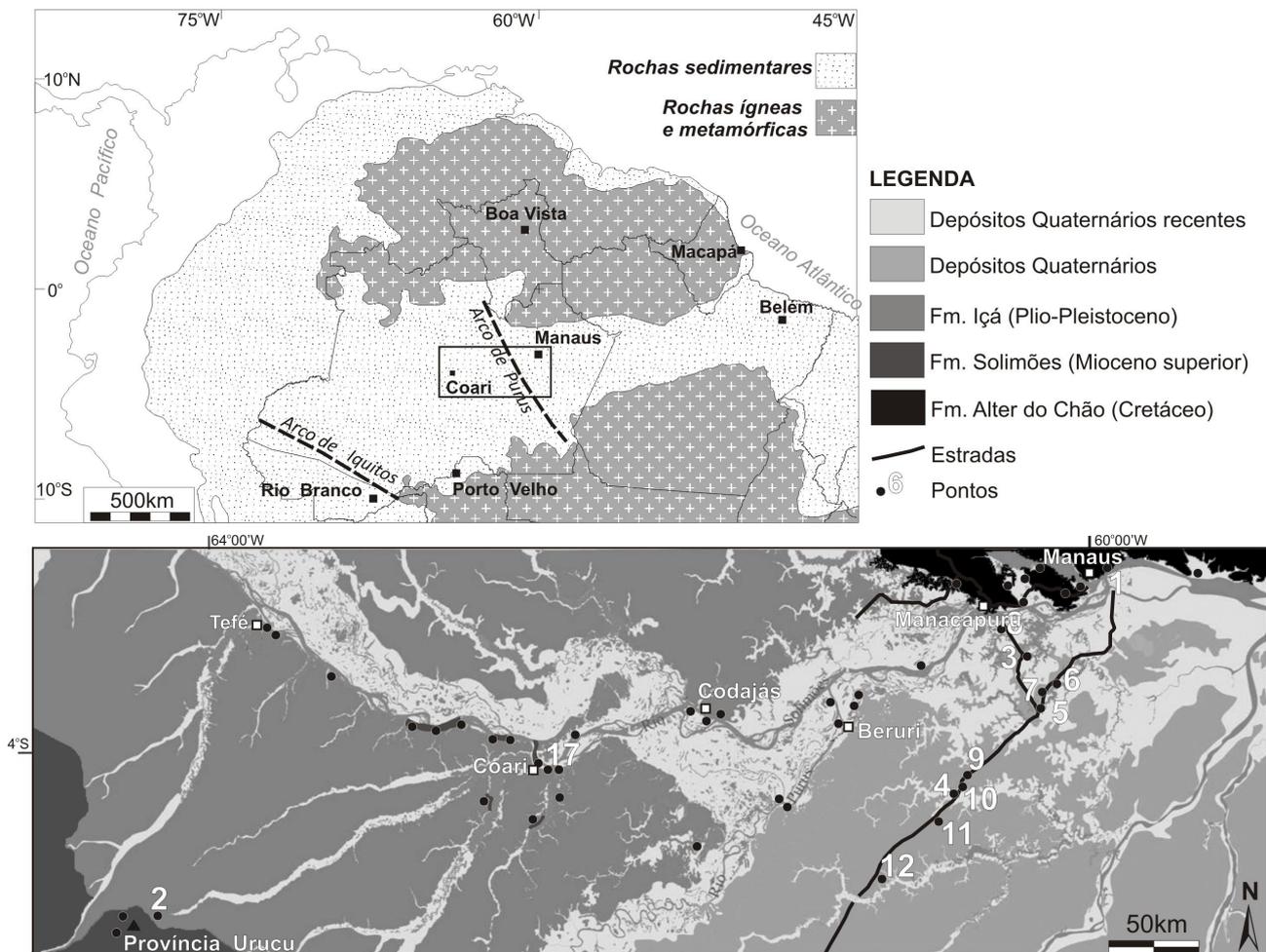


Figura 1. Localização da área de estudo, com representação da distribuição das rochas sedimentares e cristalinas na Amazônia (adaptado de SANTOS et al, 2006) e mapa geológico estado do Amazonas, com destaque para a área de estudo na região de Coari, Amazonas (adaptado de NOGUEIRA et al, 2006).

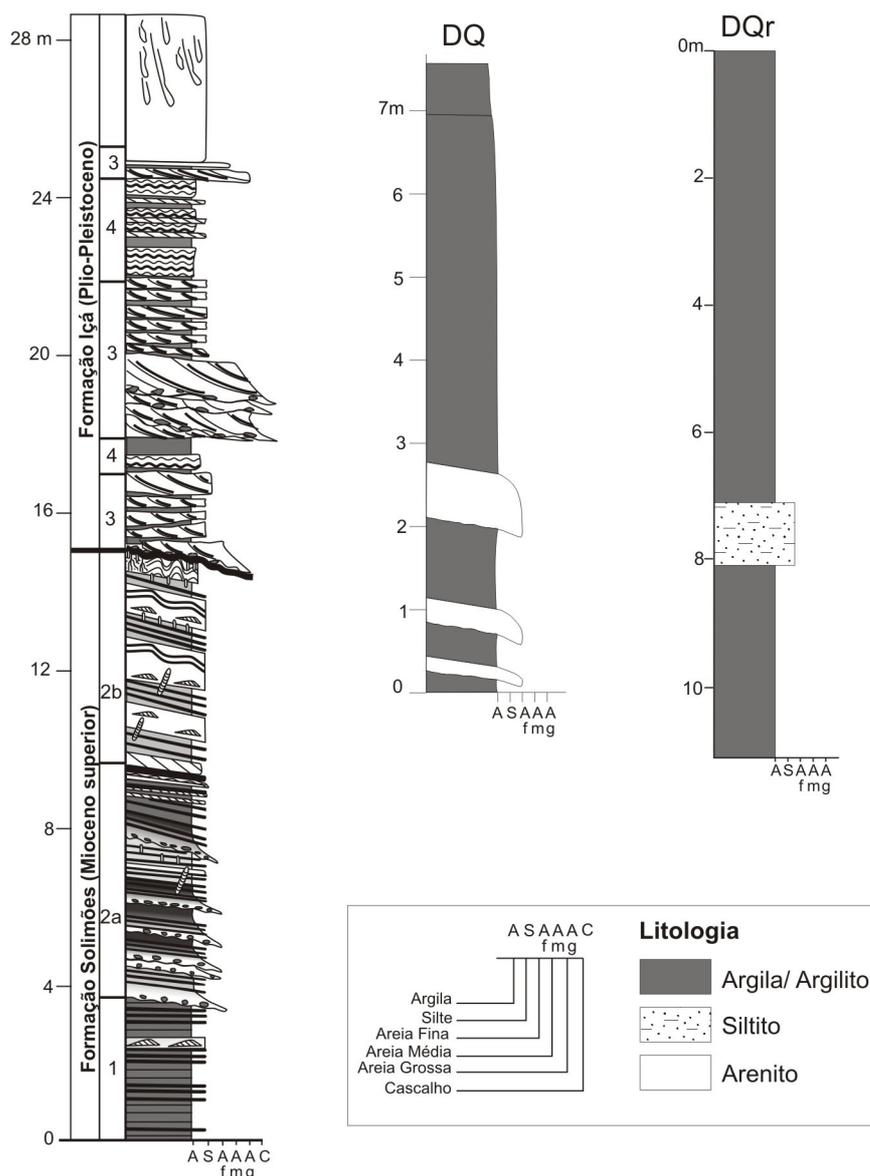


Figura 2. Perfis estratigráficos dos depósitos de argila. As formações Solimões e Içá, sobreposta em discordância erosiva, apresentam maior variação de níveis arenosos que a unidades Depósitos Quaternários (DQ) e Depósitos Quaternários recentes (DQr), condição que reflete a diversidade de fácies nas unidades litoestratigráficas mais antigas da área.

## 2. Materiais e Métodos

O levantamento geológico foi realizado em exposições de depósitos sedimentares da região, dentre os quais foram selecionados 30 afloramentos, a partir das análises faciológicas e estratigráficas, para caracterização dos principais sítios sedimentares argilosos da região. Amostras sistemáticas de argilitos e argilas foram coletadas para realização de análises química, mineralógica e física, para definição dos depósitos argilosos com potencial

para produção de agregados de argila. A confirmação desta condição foi investigada por meio de fluorescência de raio-X, com identificação dos óxidos maiores ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ ), utilizando Fusão com Tetraborato de Lítio com replicata, e análises mineralógicas, utilizando microscopia eletrônica de varredura e difração de raio-X (normal, glicolada e aquecida), onde foram definidos quais os depósitos argilosos que continham os argilominerais (como illita e esmectita) com potencial para produção de ASACs.

Neste trabalho, os ASACs foram elaborados de forma artesanal, com homogeneização da argila em estado natural, peneiramento das amostras em peneiras com abertura da malha em fios de nylon pré-definida para corte da argila conforme dimensão desejada para os agregados, secagem dos agregados ao ar livre e a finalização do processo consiste na calcinação em forno com temperatura aproximada de  $900^\circ\text{C}$ .

Análises físicas foram realizadas no Laboratório de Mecânica dos Solos da UFAM/Grupo de Geotecnia, com a finalidade de confirmar o potencial de uso dos sedimentos argilosos na produção de ASACs. As argilas foram estabilizadas para melhorar suas propriedades geotécnicas, de modo a enquadrá-las nas especificações para utilização em asfaltos, por meio de ensaios de compactação por processo estático, mini-CBR, perda de massa por imersão em água, desagregação do solo em água e medida de sucção pela técnica do papel filtro. Nas amostras em estado natural, onde foram identificadas as características granulométricas (conforme ABNT – NBR 7181), os limites de liquidez (segundo ABNT – NBR 6459) e os limites de plasticidade (ABNT – NBR 7180). Em amostras calcinadas, foram realizados ensaios de seleção expedita pelo processo de fervura (DNER – ME 223/1994), de perda de massa após fervura (DNER – ME 225/1994) e de desgaste por abrasão Los Angeles (DNER – ME 222/1994). Estes procedimentos informaram as condições específicas de cada tipo de sedimento e rocha argilosa, bem como revelaram sua potencialidade para produção de agregado.

### 3. Depósitos argilosos

Argilas cobrem uma extensa área na calha do sistema fluvial Solimões-Amazonas. A abundância de argilas nas bacias sedimentares da Amazônia pode ser, em grande parte, produto da alteração intempérica de unidades sedimentares antigas, formados pela alternância de períodos com clima quente e úmido desde o Paleógeno. A principal consequência destas condições foi geração de grande quantidade de material friável, onde os argilominerais são os principais constituintes. A maior parte deste material intemperizado é removida e carregada para calha dos rios, sendo transportada por suspensão até se depositar nas planícies de inundação e lagos. Este processo tem se repetido ao longo de milhões de anos e esta história está registrada nos terraços fluviais daquele sistema. Na área de estudo, as melhores exposições de argilas e argilitos ocorrem nas margens dos principais rios, distribuídos nas formações Solimões e Içá e nos depósitos quaternários que constituem a maioria dos terraços dos grandes rios (Fig. 2).

A Formação Solimões corresponde a uma sucessão de pelitos cor cinza claro e cinza esverdeada, maciços e laminados, com linhetos intercalados em camadas de 2 a 10 m de espessura, e arenitos finos a grossos, sub-angulares a sub-arredondados (CAPUTO *et al.*, 1971; CAPUTO, 1984; EIRAS *et al.*, 1994). Vega *et al.*, (2006) caracterizaram um sistema deposicional deltaico lacustre com sistema alimentador fluvial meandrante com migração para leste, que não ultrapassava o Arco de Purus (MAPES *et al.*, 2006). Fácies argilosas da formação Solimões são encontradas nos depósitos de: 1) prodelta lacustre, com maior espessura na região leste mais próxima do Arco de Purus, sendo constituída por fácies de argilitos cinza com raras camadas arenosas; 2) planície deltaica, composta arenitos finos e argilitos com estratificação inclinada heterolítica de médio-porte, com abundante material vegetal; e 3) canal fluvial meandrante, constituídos de arenitos e argilitos, com estratificação inclinada heterolítica de grande-porte.

A Formação Içá sobrepõe discordantemente a Formação Solimões (MAIA *et al.*, 1977), exhibe espessura de até 15 m e consiste em siltitos, arenitos finos a médio e conglomerados intraformacionais (seixos de pelitos), brancos a rosados e raros argilitos cinza com restos de vegetais. Exhibe estratificação cruzada acanalada, estratificação inclinada heterolítica, estratificação plano-

paralela relacionadas a depósitos fluviais meandrantos. A idade pliocena (~5-1,7 Ma) é inferida para a parte inferior da Formação Içá, desprovida de material propício para a datação, enquanto a parte superior da Formação Içá é pleistocena (~1,8 Ma) devido à ocorrência da Zona *Alnipollenites verus* (*sensu* MULLER *et al.*, 1987) (SILVEIRA; NOGUEIRA, 2005). Na região de Coari, as fácies argilosas no topo dos afloramentos foram intensamente ferruginizadas. Os eventos dos últimos 70.000 anos AP ou Pleistoceno superior estão registrados em terraços dos rios Negro e Solimões, depositados sobre as unidades siliciclásticas miocenas e cretáceas. Os terraços estão relacionados à instalação de sistemas meandrantos secundários com desenvolvimento de planície aluvial, como áreas alagadas e restritas, e lagos onde predominou a sedimentação por suspensão formando espessos depósitos argilosos, geralmente com laminação plana. Na região de Iranduba e Manacapuru, as unidades pleistocenas, datados por termoluminescência, ocorrem em três níveis de terraços fluviais, em 64.000-58.000 anos AP, 58.000-30.000 anos AP e 30.000-6.000 anos AP (Soares, 2007). De certa forma, estas idades podem ser grosseiramente extrapoladas para os terraços quaternários da área estudada. O padrão fluvial dos rios Negro e Solimões mudaram nos últimos 6.000 anos AP. Enquanto o rio Negro sempre apresentou estilo retilíneo e com planície restrita, os terraços do rio Solimões exibem morfologia de barras de acreção com estratificação heterolítica inclinada, marcada pela alternância de areia e argila em camadas com inclinação de baixo ângulo (até 10°). Material orgânico (troncos, folhas e galhos) ocorre em níveis centimétricos ou disseminados nas camadas arenosas. A predominância da estratificação inclinada heterolítica é indicativa de padrão meandrante que predominou entre 66.000 e 6.000 anos AP. A partir de 6.000 anos AP ocorreu o desenvolvimento do atual estilo anastomosado- *anabanching* do sistema Solimões-Amazonas (ROZO *et al.*, 2005; SOARES, 2007). Areias inconsolidadas formam dunas ou coalescem como barras observadas principalmente durante as águas baixas.

### 3.1. Análise dos argilominerais

Os argilominerais que ocorrem nos depósitos argilosos cenozóicos foram inicialmente caracterizados em termos de sua composição mineralógica, por

difração de raios-X e microscopia de varredura eletrônica, e da composição química, a partir de fluorescência de raio-X (Fig. 3). Os argilominerais ocorrem como placas hexagonais, acordeões e fibras. A presença de quartzo também é observada como componente comum nos depósitos argilosos, e subordinadamente ocorre óxido de ferro (goethita).

A Formação Solimões é composicionalmente rica em  $\text{SiO}_2$  (59.7%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (26.1%),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (2.7%) e  $\text{K}_2\text{O}$  (1.8%) (Fig. 3); a caulinita é o argilomineral predominante, mas constatou-se ocorrência significativa de illita e, subordinadamente, montmorillonita, clinocloro, sepiolita, clorita-vermiculita e interstratificado illita-esmectita (Fig. 4). Os argilominerais da Formação Içá são representados por illita e caulinita, predominando como elementos maiores os seguintes compostos:  $\text{SiO}_2$  (69.1%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (18.9%),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (2.7%) e  $\text{K}_2\text{O}$  (2.0%) (Fig. 3). A caulinita e illita (Fig. 4) e os óxidos  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , e  $\text{K}_2\text{O}$  (Fig. 3) são dominantes nos depósitos quaternários.

De um modo geral, os argilominerais têm origem principalmente detríticas, originados como matriz, mas também ocorrem argilominerais de origem autigênica, seja pela transformação de minerais menos estáveis (feldspatos e argila detrítica da matriz) precipitados em espaços porosos ou oriunda de processos intempéricos que atuam intensamente sobre a Amazônia.

A avaliação geral dos resultados apresentados é que todas as composições são típicas de depósitos argilosos caulínicos. Em termos de um potencial para produção de agregados, consideram-se os depósitos argilosos da região apropriados para a confecção de ASACs por conterem argilominerais que favorecem o processo de calcinação e possuem composição química dos elementos que constituem os depósitos argilosos com valores inseridos nos parâmetros atuais adotados na confecção destes agregados.

UNIDADES	AMOSTRA	COMPOSIÇÃO QUÍMICA (%)								
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MgO	P.F.
Depósitos Quaternários Recentes	A-1	24,10	0,22	4,20	59,10	0,83	1,90	0,98	0,99	9,46
		<i>25,30</i>	<i>0,30</i>	<i>4,40</i>	<i>62,90</i>	<i>0,53</i>	<i>2,00</i>	<i>1,00</i>	<i>0,98</i>	<i>2,04</i>
Depósitos Quaternários Antigos	A-3	25,00	0,04	5,10	57,80	0,15	2,20	0,97	0,65	8,69
		<i>24,90</i>	<i>1,20</i>	<i>6,40</i>	<i>61,70</i>	<i>0,13</i>	<i>2,20</i>	<i>0,98</i>	<i>0,62</i>	<i>1,95</i>
	A-4	17,70	0,01	4,80	68,00	0,17	2,10	1,00	0,42	5,67
		<i>18,20</i>	<i>0,17</i>	<i>6,40</i>	<i>69,6</i>	<i>0,26</i>	<i>2,00</i>	<i>1,00</i>	<i>0,44</i>	<i>1,19</i>
	A-5	19,20	0,02	3,40	67,20	0,15	1,80	1,40	0,29	6,29
	A-6	23,80	< 0.01	8,60	54,90	0,22	2,70	1,10	0,56	8,12
	A-7	29,70	0,02	7,70	48,70	0,11	2,70	1,20	0,50	9,56
	A-8	27,90	0,01	3,50	56,10	0,10	0,83	2,40	0,25	10,16
	A-9	28,00	0,01	7,30	51,20	0,18	2,60	1,10	0,51	9,17
	A-10	22,80	< 0.01	5,10	60,80	0,20	2,50	1,20	0,53	7,41
	A-11	31,70	0,01	4,80	47,40	0,33	3,00	2,30	0,45	9,81
	A-12	22,30	0,01	4,10	63,20	0,13	2,10	1,20	0,39	7,04
Fm. Içá	A-2	18,90	0,01	2,70	69,10	0,15	2,00	1,20	0,42	6,06
		<i>16,30</i>	<i>0,27</i>	<i>2,60</i>	<i>76,90</i>	<i>&lt; 0.1</i>	<i>1,70</i>	<i>0,89</i>	<i>0,44</i>	<i>0,7</i>
Fm. Solimões	A-17	26,10	0,16	2,70	59,70	0,17	1,80	1,20	0,60	8,81
Valores recomendáveis para ASACs (DNER 1981)		15,00 a 20,00	1,00 a 5,00	5,00 a 10,00	50,00 a 65,00	1,00 a 5,00	-	-	-	-

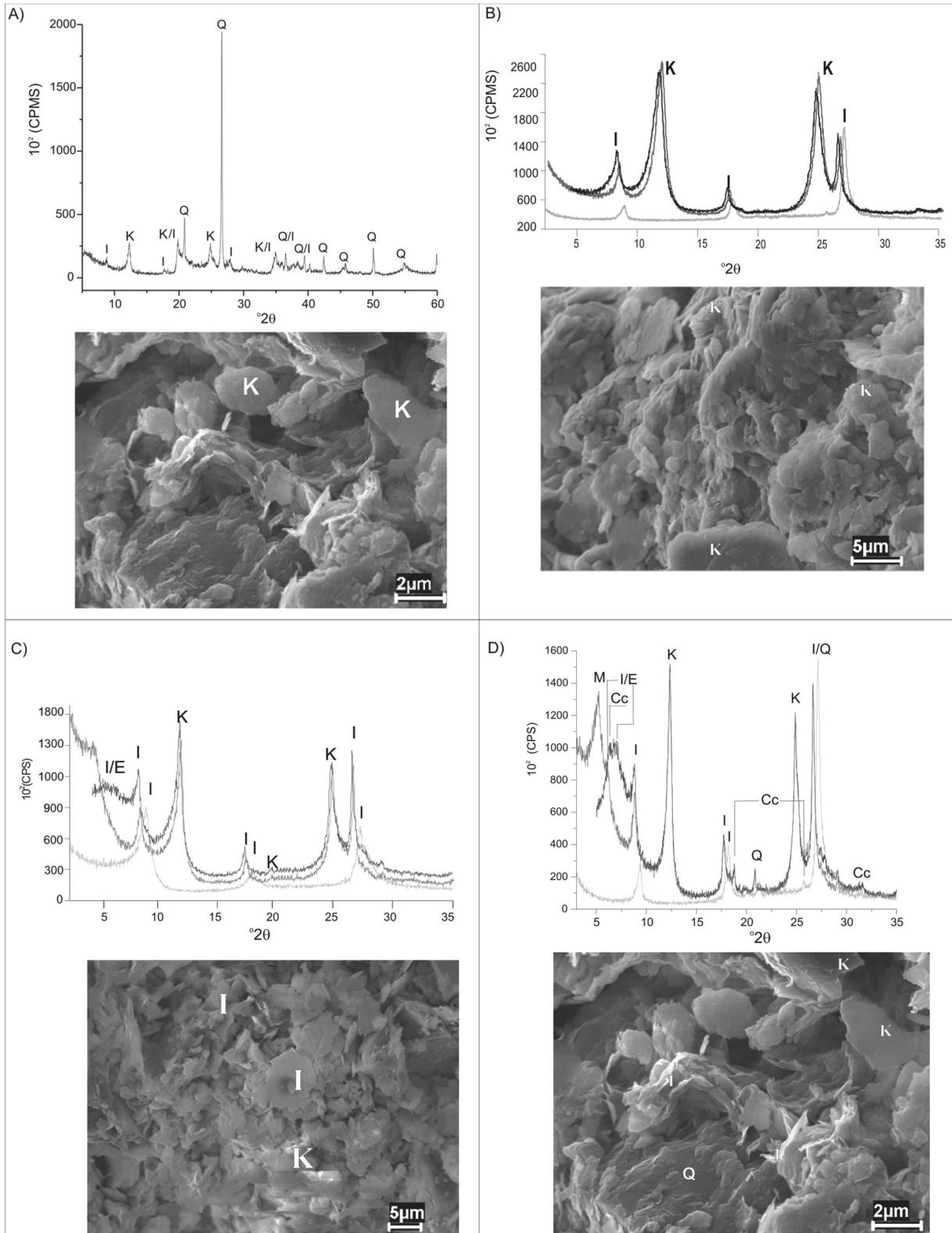
Fig. 3. Composição química percentual dos argilitos e argilas que constituem os sítios de argilosos da região de Coari e adjacências (os valores da calcinação estão destacados em itálico).

#### 4. Ensaios tecnológicos dos depósitos argilosos

##### 4.1. Calcinação

A comparação entre as análises químicas de amostras de argilas em estado natural e após a calcinação (Fig. 3) mostra que a variação do percentual de óxidos presentes na composição de tais amostras foi mínima, o que leva a uma dedução de que, para a temperatura utilizada na queima das referidas amostras, não há alteração em suas composições químicas.

Quatro amostras representativas de diferentes unidades sedimentares (A-1, A-2, A-3 e A-4) foram calcinadas e submetidas às análises químicas (Fig. 3), além de também serem avaliadas quanto à sua composição mineralógica por difração de raios-X. Constatou-se que, para a temperatura em que as mesmas foram calcinadas (aproximadamente 900°C), não ocorreu modificação na composição mineralógicas das amostras; os argilominerais predominantes continuaram sendo os mesmos quando das amostras em estado natural, ou seja, caulinita e illita (Fig. 4).



**Fig. 4.** Principais argilominerais dos sítios argilosos. A) Depósitos quaternários recentes (amostra A-1). B) Depósitos quaternários (amostra A-9). C) Formação Içá (Amostra A-2). D) Formação Solimões (amostra A-17). Q = quartzo, K = caulinita, I = illita, E = esmectita, M = montmorillonita, Cc = clinoclora.

#### 4.2. Propriedades físicas dos compostos

Pesquisas realizadas por Nunes (2006) e Frota *et al.*, (2007) já mostravam bons resultados na confecção de misturas asfálticas com ASACs produzidas com as argilas de depósitos cenozóicos da região, constatando que estas misturas apresentaram um menor potencial de deformações permanentes que as tradicionais misturas com seixo utilizadas na construção dos pavimentos da região. Embora os intervalos de óxidos das argilas calcinadas (Fig. 3) sejam maiores que os limites recomendados pelo DNER (1981), os agregados de argila produzidos apresentaram índices físicos em intervalos especificados como excelentes para ASACs. As amostras de sedimentos analisadas são constituídas essencialmente por argilas, com menores valores em torno de 39% e com maiores teores concentrados nos depósitos quaternários (até 73,31%), siltes (entre 22% a 46,22%) e poucas concentrações de areias finas (2% a 15%) e raras areias médias (teor máximo de 2%). As frações finas das amostras apresentam valores superiores 92% (Tab. 4 Fig. 3), estando bem acima do limite mínimo recomendado para a confecção de ASACs (85%). Na seleção expedita pelo processo de fervura, que avalia possíveis alterações de volume nos ASACs (visual) e de consistência (táctil), todas as amostras ensaiadas não apresentaram alteração em suas características. Os índices de plasticidade apresentaram valores entre 24% e 48%, valores acima da recomendação de >20%. No ensaio de perda de massa após fervura, que verifica alterações na massa do agregado sintético de argila calcinada, apresentaram valores entre 0,01% a 0,14%, bem inferiores ao valor máximo permitido de <10%. O desgaste dos ASACs, medidos pelo teste de abrasão Los Angeles, cujo valor recomendado é de <45%, apresentaram valores entre 24 e 44%. Assim, as análises físicas tanto em amostras em estado natural quanto em amostras calcinadas apresentaram excelentes intervalos de valores em relação aos especificados para o uso como ASACs.

### 5. Conclusões

Foi possível diferenciar nos sítios de argila: os depósitos, os argilominerais característicos de cada unidade estratigráfica estudada e a média de espessura destas exposições. Na Formação Solimões, as sucessões argilosas situam-se na

base desta unidade, possuem espessuras de até 5m geralmente intercaladas arenitos. Os argilominerais presentes são a caulinita e illita e, subordinadamente, montmorillonita, clinocloro, sepiolita, clorita-vermiculita e interestratificado illita-esmectita.

Na Formação Içá, os sítios de argilas correspondem ao topo intemperizado desta unidade, e possui espessura entre 2 a 4m. Os argilominerais presentes são caulinita e illita, com subordinada esmectita.

As unidades quaternárias possuem extensa distribuição espacial na área, com depósitos argilosos compreendendo camadas argilosas com geometrias diferenciadas (delgadas, lenticulares ou sub-horizontais), o que implica em sucessões com espessuras que variam desde 2m até 8m, por vezes intercaladas com camadas sílticas e arenosas. Os argilominerais predominantes são caulinita e illita.

A avaliação das características físicas das amostras confirmou que os sedimentos argilosos dos depósitos quaternários e das formações cenozóicas Içá e Solimões apresentam excelente potencial de calcinação, com composições granulométricas, as alterações de volume e consistência adequadas aos parâmetros empregados na produção de ASACs. Adicionalmente, os estudos realizados por Frota *et al.*, (2007) mostram que as características físico-mecânico dos ASACs produzidos com sedimentos argilosos destes depósitos cenozóicos apresentam o comportamento tensão em função da deformação, a resistência à compressão e a resistência à tração destes agregados bastante satisfatório, confirmando que os agregados produzidos a partir dos sedimentos argilosos dos depósitos cenozóicos das bacias do Amazonas e do Solimões podem substituir satisfatoriamente (total ou parcialmente) materiais pétreos atualmente em uso na pavimentação da região amazônica.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem ao CNPq, Finep e ao Projeto Cooperativo PC-02/ Rede de Asfalto Norte-Nordeste, pelo suporte financeiro que permitiu o desenvolvimento desta pesquisa, e a UFAM, pelo apoio logístico e de infraestrutura.

## Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 7181. *Solo* - Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 6459. *Solo* - Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 7180, *Solo* - Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1988.

CAPUTO, M. V.; RODRIGUES, R.; VASCONCELOS, D. N. N. *Litoestratigrafia da bacia do rio Amazonas*. Rio de Janeiro: 641-A. PETROBRAS-RENOR, 1971. 71p. Relatório Técnico Interno.

CAPUTO, M. V. *Stratigraphy, tectonics, paleoclimatology and paleogeography of northern basins of Brazil*. 1984. 583 p. Thesis (PhD Geociences) – University of California, Santa Barbara. 1984.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGENS. DNER – ME 223/1994. *Argilas para a fabricação de agregados sintéticos de argila calcinada* - Seleção expedida pelo Processo de Fervura. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGENS. DNER – ME 225/1994, *Agregado sintético de argila calcinada* - Determinação da Perda de Massa após Fervura. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGENS. DNER – ME 222/1994, *Agregado sintético fabricado com argila* - Desgaste por Abrasão. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGENS. *Pesquisa de viabilidade de implantação da fábrica de Argila Expandida na Região Amazônica*. Divisão de Pesquisas. Rio de Janeiro, 1981.

EIRAS, J. F.; BECKER, C. R.; SOUZA, E. M.; GONZAGA, F. G.; SILVA, J. G. F.; DANIEL, L. M. F.; MATSUDA, N. S.; FEIJÓ, F. J. Bacia do Solimões. In: FEIJÓ, F.J. (Ed.). *Estratigrafia das Bacias Sedimentares do Brasil. Boletim de Geociências Petrobrás*, v. 8, n. 1, p.17-45, 1994.

FROTA, C. A.; SILVA, C. L.; NUNES, F. R. G. Análise do Comportamento Mecânico de Misturas Asfálticas Confeccionadas com Agregados Sintéticos de Argila Calcinada. In: JORNADAS LUSO-BRASILEIRAS DE PAVIMENTOS: POLÍTICAS E TECNOLOGIAS, 5., 2006, Recife. [Anais eletrônicos...] São Paulo: Editora, 2006. 1 CD-ROM.

\_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_; MELO, D. M.; SANTOS, M. G. R. Desempenho mecânico de misturas asfálticas confeccionadas com agregados sintéticos de argila calcinada. *Cerâmica*, São Paulo, v. 3, p. 255-262, Set. 2007.

MAIA, R. G.; GODOY, H. K.; IAMAGUTTI, H. S.; MOURA, P. A.; COSTA, F. S. F.; HOLANDA, M. A.; COSTA, J. A. *Projeto Carvão no Alto Solimões*. Manaus: Amazonas, 1977, 137 p. Relatório Final.

MAPES, R. W.; NOGUEIRA, A. C. R.; COLEMAN, D. S.; VEGA, A. M. L. Evidence for a continent scale drainage inversion in the Amazon Basin since the Late Cretaceous. In: GSA, Philadelphia Annual Meeting, 1., 2006, Philadelphia. *Trabalhos técnicos...* Disponível em <[http://gsa.confex.com/gsa/2006AM/finalprogram/abstract\\_113025.htm](http://gsa.confex.com/gsa/2006AM/finalprogram/abstract_113025.htm)>. Acesso em: 15 out. 2006.

MULLER, J.; GIACOMO, E.; VAN ERVE, A. W. A palynological zonation for the Cretaceous, Tertiary and Quaternary of Northern South America. *American Association of Stratigraphic Palynologists*, Contribution series, Washington, v. 19, p. 7-76, Oct. 1987.

NASCIMENTO, R. R. *Utilização de Agregados de Argila Calcinada em Pavimentação; Uma Alternativa para o Estado do Acre*. 2005. 171 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

NOGUEIRA, A. C. R.; HORBE, A. M. C.; PAZ, J. D. S.; MOTTA, M. B.; ROZO, J. M. G. O Neógeno da Amazônia Ocidental. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 9., 2006, Manaus, [Anais eletrônicos...] Manaus: Amazonas, 2006. 1 CD-ROM.

NUNES, F. R. G. *Caracterização mecânica de misturas asfálticas confeccionadas com agregados sintéticos de argila calcinada quanto a deformação permanente*. 2006. 203 p. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

ROZO, J. M. G.; NOGUEIRA, A. C. R.; HORBE, A. M. C.; CARVALHO, A. S. Depósitos Neógenos da Bacia do Amazonas. In: REIS, J.; MONTEIRO, M. A. S. (Coord.). *Contribuições à geologia da Amazônia*. v. 4, p. 116-123. 2005.

SANTOS, J. O. S.; HARTMANN, L. A.; FARIA, M. S. G.; RIKER, S. R.; SOUZA, M. M.; ALMEIDA, M. E.; MCNAUGHTON, N. J. A compartimentação do Cráton Amazonas em províncias: avanços ocorridos no período 2000-2006. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 9., 2006, Manaus, [Anais eletrônicos...]. Manaus: Manaus Editora, 2006. 1 CD-ROM.

SANTOS, R. A.; VIEIRA, A.; OLIVEIRA, J. R. M. S.; CARNEIRO, L. A. V. Produção de agregado artificial de argila calcinada para emprego em pista experimental no estado do Rio de Janeiro. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO/ ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA, 38. 12., 2007, Manaus, [Anais eletrônicos...] Manaus: Manaus Editora, 2007. 1 CD-ROM.

SILVEIRA, R. R.; NOGUEIRA, A. C. R. Cronoestratigrafia e paleoambiente dos depósitos do Mioceno Superior da Bacia do Solimões, Centro-oeste da Amazônia. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DO PIATAM, 1., 2005, Manaus. *Boletim de Resumos...*, Manaus: Editora, 2005. p. 98.

SOARES, E. A. A. Depósitos pleistocenos da região de confluência dos rios Negro e Solimões, Amazonas. 2007. 205 p. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

VALVERDE, F. M. Agregados para construção civil. Balanço Mineral Brasileiro. Rio de Janeiro: DNPM. 2001. Disponível em: <[http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriadocumento/balancomineral\\_2001/agregados.pdf](http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriadocumento/balancomineral_2001/agregados.pdf)>. Acesso em: 21 jan. 2010

VEGA, A. M. L.; NOGUEIRA, A. C. R.; PAZ, J. D. S. O Sistema Fluvial Meandrante Neomioceno da Bacia do Solimões, Região de Coari-Tefé, Amazonas. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 9., 2006, Manaus, [Anais eletrônicos...] Manaus: Manaus Editora, 2006, CD-ROM.

VIEIRA, A. Agregados de argila calcinada: uma alternativa para a pavimentação rodoviária na região amazônica. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 32., 2000, Brasília. [Anais eletrônicos...] Brasília: Manaus Editora, 2000. 1 CD-ROM.