

Caracterização mineralógica de um solo do Acre visando à produção de agregados artificiais de Argila Calcinada para uso em pavimentos

Mineralogical characterization of an Acre soil in order to produce calcined clay aggregates for pavements

Victor Hugo Rodrigues Barbosa¹, Maria Esther Soares Marques²,
Antônio Carlos Rodrigues Guimarães²

¹ 7º Batalhão de Engenharia de Construção – Av. Nações Unidas, nº 2100, 7º BEC, CP: 69918-093, Rio Branco, AC, Brasil.

e-mail: victorhrb@gmail.com

² Instituto Militar de Engenharia – Praça Gen. Tibúrcio, nº 80, Urca – CP: 22290270, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

e-mail: guimaraes@ime.eb.br; esther@ime.eb.br

RESUMO

Esse artigo apresenta os resultados experimentais da avaliação das características mineralógicas de um tipo de solo característico do estado do Acre – localmente conhecido como tabatinga – na confecção de agregados artificiais de argila calcinada visando seu emprego em camadas de bases de pavimentos rodoviários. A correta identificação dos argilominerais através da técnica de Difração de Raios X se mostra mais confiável e eficaz quando precedida de tratamentos preliminares da amostra envolvendo sedimentação, retirada de ferro e preparo de lâminas em condições saturadas e aquecidas. Os resultados indicam que o solo apresenta características mineralógicas compatíveis com a produção de agregados calcinados com características físicas e mecânicas adequadas para o uso proposto, além de indicar que os critérios de classificação preliminares envolvendo índices físicos nem sempre são suficientes.

Palavras-chave: argila calcinada, DRX, argilominerais, pavimentação, Acre.

ABSTRACT

This paper presents the experimental results of the evaluation of the mineralogical features of a soil from the Southwest of the Brazilian Amazon used to produce calcined aggregates for road pavements. The identification of clay minerals by X-Ray Diffraction technique is more efficient when preceded by preliminary sample treatments involving sedimentation, iron removal and preparation of microscope slides under glycol-saturated and heated conditions. The results show that the soil presents mineralogical features suitable for the production of calcined aggregates with acceptable mechanical behavior for the proposed use; they also show that the preliminary classification involving physical indexes are not always sufficient to verify the suitability of the soils.

Keywords: calcined clay, X-ray diffraction, clay minerals, paving, Acre.

1. INTRODUÇÃO

Desde o início das obras de implantação de estradas no estado do Acre, o meio técnico ligado à área rodoviária vem enfrentando diversas dificuldades de ordem geotécnica. A generalizada ocorrência de solos de elevada atividade (estrutura 2:1) inadequados para emprego direto em camadas de bases de pavimentos devido aos seus altos valores de plasticidade e expansão [1], aliada à ausência de jazidas de rochas disponíveis para exploração comercial em seu território [2], vêm contribuindo para rodovias com graves problemas estruturais e com elevados custos.

O Acre é o único estado do Brasil que não explora a chamada pedra britada, cuja utilização é recorrente em

bases granulares de pavimentos, seja mediante brita graduada simples (BGS) ou em misturas solo-agregado. A alternativa utilizada é a importação de agregados pétreos de estados vizinhos, gerando elevados custos de transporte e dificultando a viabilização de diversas obras [2]. Como consequência, o Acre é o estado que possui a brita mais cara do Brasil, conforme os índices da Construção Civil - SINAPI [3].

Diante desse cenário geotécnico desfavorável, a produção de agregados alternativos a partir de recursos locais é uma alternativa com grande potencial para a região. Além disso, o aproveitamento de solos de larga ocorrência, não utilizáveis em pavimentos, pode ser útil como matéria-prima para a fabricação de agregados de argila calcinada. Os agregados produzidos, uma vez que atendam aos critérios de ensaios para uso em bases de pavimentos, conforme prescrito na Norma DNER-ES 227/89 [4], podem ser utilizados em substituição à pedra britada, reduzindo o custo da estabilização de solos com distribuição granulométrica deficiente. Tais alternativas tecnológicas já se mostraram tecnicamente adequadas a partir dos trabalhos desenvolvidos em [5], onde foram empregados solos provenientes da indústria cerâmica de tijolos, e também em [6], onde empregou-se um solo de elevada atividade conhecido localmente como tabatinga. Os agregados produzidos em ambos os trabalhos são apresentados na Figura 01.



Figura 1: (a) Agregados calcinados com solos utilizados em cerâmicas do Acre em [5]; (b) Agregados produzidos a partir da tabatinga do Acre em [6].

A denominação tabatinga é associada a alguns solos com características mecânicas peculiares bem conhecidas na prática rodoviária regional do Acre, especialmente ao longo da rodovia BR-364, na porção central do estado. Trata-se de um solo silto-argiloso de origem sedimentar e coloração esbranquiçada, apresentando plasticidade superior a diversos solos argilosos locais e elevada expansão quando em contato com a água.

Não obstante, a sua extensa ocorrência territorial pode ser apontada como um dos fatores responsáveis por diversas falhas estruturais em pavimentos construídos no estado. Suas características físicas, químicas e mineralógicas são negligenciadas para fins geotécnicos, uma vez que as principais pesquisas sobre esse material no estado são voltadas para o setor primário da economia, tais como extrativismo vegetal, agricultura ou pecuária.

No tocante à utilização desse solo na indústria cerâmica acreana, seu uso muitas vezes é preterido por solos menos plásticos ou mediante misturas, tendo como consequência materiais cerâmicos de menor qualidade. Um dos motivos é que o produto final – tijolos em sua grande parte –, possui exigências técnicas diferenciadas e muitas vezes mais brandas do que agregados para uso em pavimentação. Dessa forma, não tendo que atender a características específicas para agregados calcinados, a seleção de solos nessa indústria acaba baseando-se nas características físicas de materiais que garantam o atendimento aos critérios mínimos exigidos e uma maior produtividade.

Apesar da importância de se avaliar as características físicas da matéria-prima mediante ensaios granulométricos, os resultados obtidos não podem, isoladamente, assegurar as características finais de um produto cerâmico. Isso porque as partículas responsáveis pela maior parte dos fenômenos físico-químicos possuem diâmetro inferior a $2\mu\text{m}$ [5]. Dessa forma, à medida que o diâmetro das partículas do solo diminui, o comportamento da massa passa a depender fundamentalmente de sua composição mineralógica e da presença e natureza da água. Ou seja, em solos muito finos como a tabatinga estudada, as forças superficiais decorrentes da estrutura cristalina das partículas predominam sobre as forças gravitacionais.

De acordo com [7], as argilas são constituídas essencialmente por partículas cristalinas extremamente

pequenas de um número restrito de minerais conhecidos como argilominerais. Quimicamente, os argilominerais são compostos por silicatos hidratados de alumínio e ferro com a presença predominante de elementos alcalinos e alcalinos terrosos. Além dos argilominerais, as argilas podem conter ainda outros materiais e minerais, tais como matéria orgânica, sais solúveis, quartzo, pirita, mica, calcita, dolomita e outros minerais residuais, ou ainda minerais não-cristalinos ou amorfos.

Dessa forma, em função da necessidade de correlacionar o desempenho obtido nos agregados aos tipos de argilominerais presentes na matéria-prima, este artigo apresenta os procedimentos e os resultados da caracterização mineralógica de um solo que resultou em agregados calcinados de características técnicas satisfatórias para emprego em camadas de bases de pavimentos [5], constituindo-se a primeira utilização desses procedimentos para essa finalidade.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Caracterização preliminar da matéria-prima

O solo argiloso empregado neste trabalho foi coletado no entorno de Rio Branco, no estado do Acre. O aspecto tátil-visual do material demonstrou alta plasticidade, textura fina e aspecto mosqueado – tonalidades diferentes – com fundo cinza e manchas vermelhas, o que está relacionado à variação do lençol freático e redução de ferro, conforme a Figura 2. Solos com esse aspecto ou similares são identificados regionalmente como tabatinga, cuja escolha para essa investigação se baseou no fato de suas características se assemelharem a grande parte dos solos acreanos.



Figura 2: Local da ocorrência no entorno de Rio Branco e aspecto da matéria-prima (tabatinga) coletada.

A tabatinga não é exatamente uma terminologia que designa uma classe de solo prevista no Sistema brasileiro de classificação de solos (SiBCS), tampouco é objetivo desta pesquisa fazer uma correlação precisa a esse respeito, visto que demandaria uma extensa abordagem específica. Contudo, para fins de classificação preliminar de solos visando ao uso em agregados calcinados, conforme sugerido por [6], é recomendável identificar características comuns entre o solo estudado e uma ou mais classes pedológicas na região de estudo.

Dentre os principais solos do Acre, especialmente na porção central do estado, destacam-se os Vertissolos e os Cambissolos, os quais apresentam algumas características em comum que podem ser relacionadas ao comportamento do solo estudado nesta pesquisa, tais como: elevada atividade com presença de argilominerais expansíveis (estrutura 2:1), solos rasos, imperfeitamente drenados, consistência extremamente dura quando secos e muito plástica e pegajosa quando úmidos, alta capacidade de troca catiônica (CTC) e estrutura em blocos angulares e subangulares resultantes do processo de expansão e contração [1], conforme comparativo da figura 3 entre os prismas pedológicos desses solos e o material utilizado nesta pesquisa.

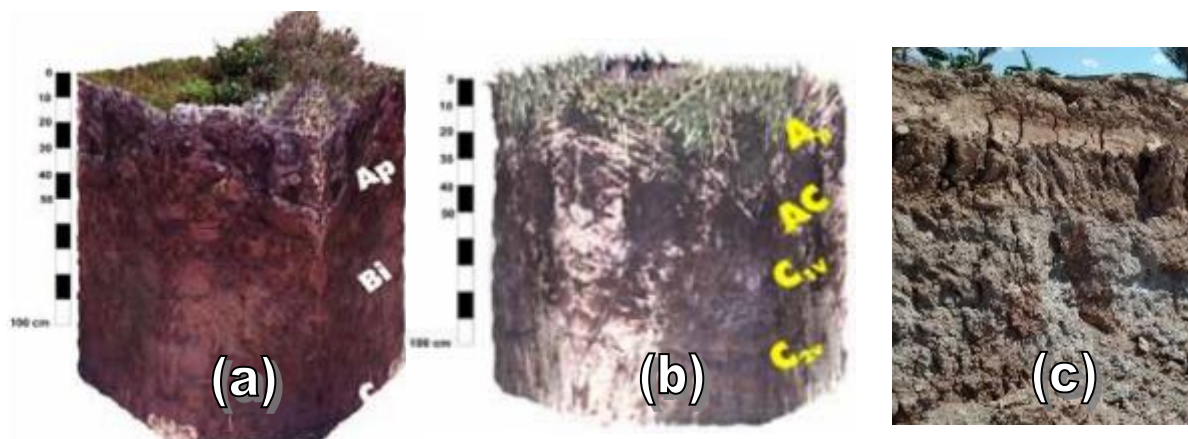


Figura 3: (a) Prisma pedológico do Cambissolos; (b) Prisma pedológico do Vertissolo [1]; (c) Tabatinga coletada.

Como etapa de caracterização preliminar do solo para emprego em agregados calcinados, conforme metodologia desenvolvida no Instituto Militar de Engenharia (IME) disponível em [8], foi realizada no laboratório de solos dessa mesma instituição a caracterização física do solo através dos ensaios de granulometria [9], Limites de Atterberg [10], [11] e Massa específica real dos grãos [12], obtendo-se os resultados apresentados na Tabela 1:

Tabela 1: Características físicas da matéria-prima.

Amostra	Argila (%)	Silte (%)	Areia fina (%)	Areia média (%)	Areia grossa (%)	Limites (%)			G (g/cm ³)
						LL	LP	IP	
Tabatinga	30,6	12,7	56,7	-	-	86	43	43	2,74

Os resultados dos ensaios de caracterização física da matéria-prima indicaram que o solo argiloso deste estudo é altamente plástico e com partículas muito finas passando totalmente na peneira n° 200 (0,075 mm). Isso se traduz em um solo com elevada superfície específica, o que pode também ser observado através do valor do Limite de Liquidez de 86% e Índice de Plasticidade (IP) de 43%.

Para a produção de produtos cerâmicos convencionais, os resultados apresentados pressupõem a confecção de uma massa com boa plasticidade e alta resistência mecânica (antes e após a queima), porém demandando uma grande quantidade de água. Infere-se também que, nessas condições físicas, o alto grau de compactação de uma massa cerâmica produzida com esse material dificulta a eliminação de água durante o processo de secagem, provocando fortes retrações diferenciais e deformações, o que geralmente é solucionado aumentando o processo de secagem ou adicionando materiais não-plásticos (partículas geralmente acima de 60 µm).

Uma importante ferramenta adotada na indústria cerâmica e também indicada na Metodologia de fabricação de agregados calcinados [8] é o Diagrama de Winkler. Trata-se de um diagrama triangular onde cada vértice é representado por diferentes faixas granulométricas, tendo por objetivo identificar o potencial de utilização de um solo para diferentes tipos de produtos cerâmicos. Trabalhos como os de [6] e [8] apontam as faixas A e B como as mais propícias a gerar agregados calcinados de boa qualidade, porém são feitas ressalvas de que essa análise isolada não necessariamente garantirá produtos com boas características técnicas, conforme é demonstrado nesta pesquisa. A Figura 4 apresenta a classificação da tabatinga no citado diagrama.

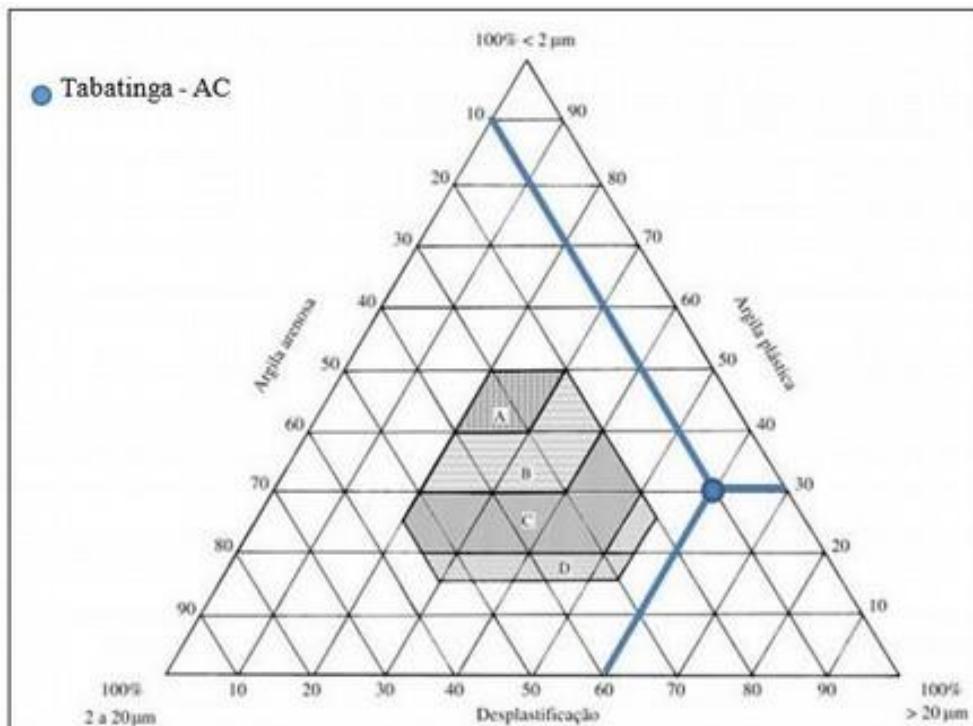


Figura 4: Diagrama de Winkler da matéria-prima.

Observa-se que o solo desta pesquisa não se enquadrou no diagrama nas faixas consideradas ideais para fabricação de agregados de argila calcinada. Porém, tendo em vista privilegiar a investigação de solos que resultam em agregados com boas características técnicas do ponto de vista mecânico, aceitou-se a possibilidade de perdas na produtividade com retração ou secagem, mantendo o solo sem a introdução de outros materiais não plásticos, ou seja, fora das faixas mais recomendadas do Diagrama de Winkler. Nesta etapa do estudo, portanto, torna-se essencial uma maior compreensão das características químicas e mineralógicas do solo visando à fabricação de agregados calcinados.

2.2 Ensaios complementares: MEV e EDS

Objetivando produzir peças de melhor qualidade em menor temperatura, uma das técnicas amplamente utilizadas na indústria cerâmica é a inclusão de solos com a presença materiais fundentes na sua constituição. Os óxidos alcalinos (Na_2O e K_2O) e alcalino-terrosos (CaO e MgO) são os elementos fundentes mais eficientes utilizados, auxiliando a formação da fase líquida durante o processo de queima e permitindo o preenchimento dos poros da massa cerâmica, com conseqüente redução da absorção de água.

Segundo [13], os fundentes estão contidos nas estruturas das argilas ilíticas e esmectíticas presentes ou adsorvidos nos argilominerais, a exemplo dos complexos ferruginosos e sais solúveis, que podem reagir durante a etapa de queima. Os autores destacam que, para produtos da cerâmica vermelha com exigências técnicas mais rigorosas, como telhas e blocos estruturais, são recomendadas preferencialmente argilas mais ilíticas ou estas com a adição de outros fundentes como filitos.

Como etapa da caracterização química da tabatinga, uma amostra foi analisada no Laboratório de Microscopia do Departamento de Ciência dos Materiais do IME/RJ, sendo observada no microscópio eletrônico de varredura (MEV) e, simultaneamente, foi analisada segundo o método da espectrometria de energia dispersiva de raios X (EDS). Os resultados são apresentados na Figura 5 e na Tabela 2.

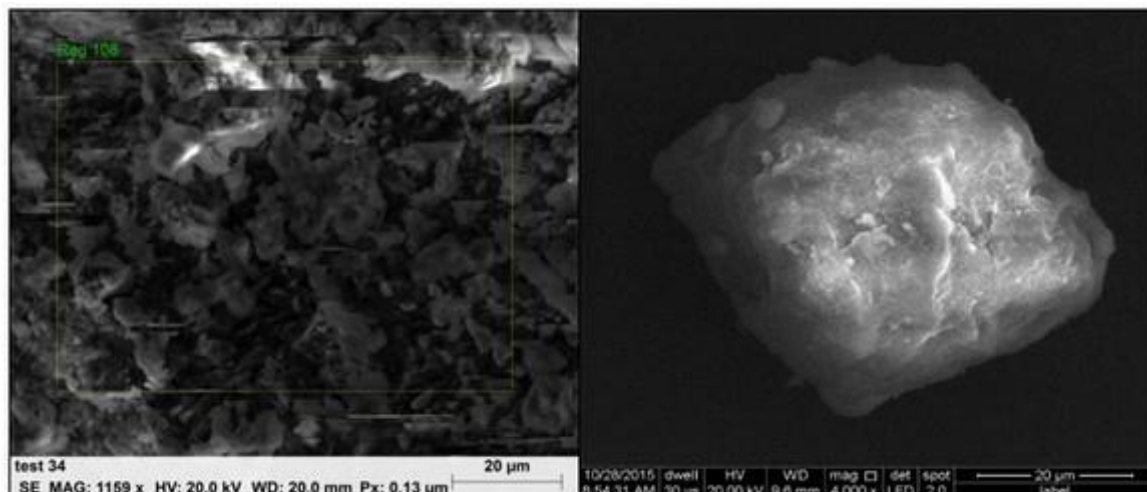


Figura 5: Imagens MEV da matéria-prima ampliada em 1.159 X e 4.000 X.

Tabela 2: Óxidos presentes na amostra (% em peso).

Óxidos presentes	MgO (%)	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	K ₂ O (%)	TiO ₂ (%)	FeO (%)	MO (%)
Amostra Tabatinga	1,05	30,81	55,55	3,58	1,21	6,71	1,09

Conforme observado no MEV (Figura 5), verificou-se que a morfologia da tabatinga apresenta partículas unidas e com grãos levemente arredondados. Nos resultados do ensaio EDS mostrados na Tabela 2, a matéria-prima apresentou elementos fundentes dentro das faixas consideradas favoráveis à produção de agregados calcinados de boas características técnicas [8]. Isso pode ser visto na concentração de elementos como o óxido de potássio (K₂O) e o óxido de magnésio (MgO). Além disso, pôde-se observar a presença de matéria orgânica, o que, segundo [7], pode conferir um caráter plástico muito desejável para produtos cerâmicos.

Os argilominerais possuem grande influência no produto cerâmico, uma vez que, dependendo de suas características e da forma como se combinam no solo, suas partículas absorvem quantidades variáveis de água e íons. Ademais, o tamanho reduzido dos argilominerais, aliado à sua constituição mineralógica, conferem às partículas de argila um comportamento diferenciado em relação às outras frações presentes no solo, como frações silte e areia [13].

No tocante às pesquisas destinadas à obtenção de agregados de argila calcinada tecnicamente adequados, as experiências práticas indicaram que os argilominerais do grupo das ilitas, caulinitas e esmectitas, bem como suas misturas, apresentaram os melhores resultados [8]. Dentre esses argilominerais, os trabalhos de [6], [15] e [16] apontam que a presença da ilita gera uma maior coesão das partículas quando submetidos a processos de sinterização, aumentando a resistência ao mesmo tempo em que reduz a absorção de água.

A identificação dos argilominerais presentes numa amostra de argila pode ser obtida por meio da Difração de Raios X (DRX), a qual é considerada uma das principais ferramentas para a identificação das fases presentes em materiais cristalinos. Nesse sentido, a próxima etapa do estudo busca apresentar um procedimento eficiente para a correta identificação dos argilominerais presentes na matéria-prima empregada nesta pesquisa.

2.3 Análise Mineralógica: Difração de raios X

A análise mineralógica foi realizada no Laboratório de Pedologia e Mineralogia das argilas, pertencente ao Departamento de Geologia da UFRJ. A correta identificação dos argilominerais através do ensaio de DRX foi possível após uma série de etapas segundo o método sugerido por [18], que consistiu basicamente em: obtenção da fração argila por sedimentação, retirada do ferro livre através do CBD e preparação das lâminas orientadas nas condições natural, glicolada e aquecida a 500 °C.

As lâminas foram preparadas pelo método do esfregaço, que consistiu em utilizar uma espátula e esfregar a

amostra em uma lâmina de vidro até ela ficar completamente orientada, evidenciando seus planos basais. A primeira amostra obtida é chamada de lâmina-guia, a qual deve-se secar por 24 horas antes de ser realizado o ensaio.

Como alguns grupos de argilominerais exibem propriedades expansivas, a adição de água ou outros líquidos polares como o glicol e a glicerina causam expansão por sua entrada nos espaços interplanares. Assim, uma das lâminas preparadas foi submetida à solvatação com etilenoglicol (glicolagem).

Outra característica dos argilominerais é o fato de serem hidratados, apresentando hidroxilas (OH) ou mesmo moléculas de água (H₂O) nos espaçamentos interlamelares de sua estrutura. Como o aquecimento a temperaturas elevadas pode eliminar essas moléculas, provocando modificações estruturais passíveis de detecção no difratograma de raios X, seguiu-se então colocando uma das lâminas em um forno mufla e aquecendo-se a amostra a 500 °C durante 2 horas.

Tendo em vista a grande quantidade de ferro encontrada em alguns solos brasileiros, foi realizada a retirada desse elemento das amostras desse estudo, evitando que quaisquer componentes mascarem os resultados da determinação dos argilominerais.

O ensaio de DRX foi aplicado nas lâminas guia, glicolada e aquecida, com e sem a retirada de ferro. O equipamento utilizado foi Bruker-D4 endeavor, nas seguintes condições de operação: radiação Co K α (40 kV/40 mA); ensaio executado em ritmo lento, varrendo-se de 2° até 30° (escala 2 θ) com velocidade de 1° / min. As interpretações qualitativas do espectro foram efetuadas por comparação com padrões contidos no banco de dados do padrão American Society for Testing and Materials (ASTM). O procedimento completo realizado tendo como base o método de [18] é mostrado no fluxograma da Figura 6 e detalhado nas Figuras 7, 8 e 9.

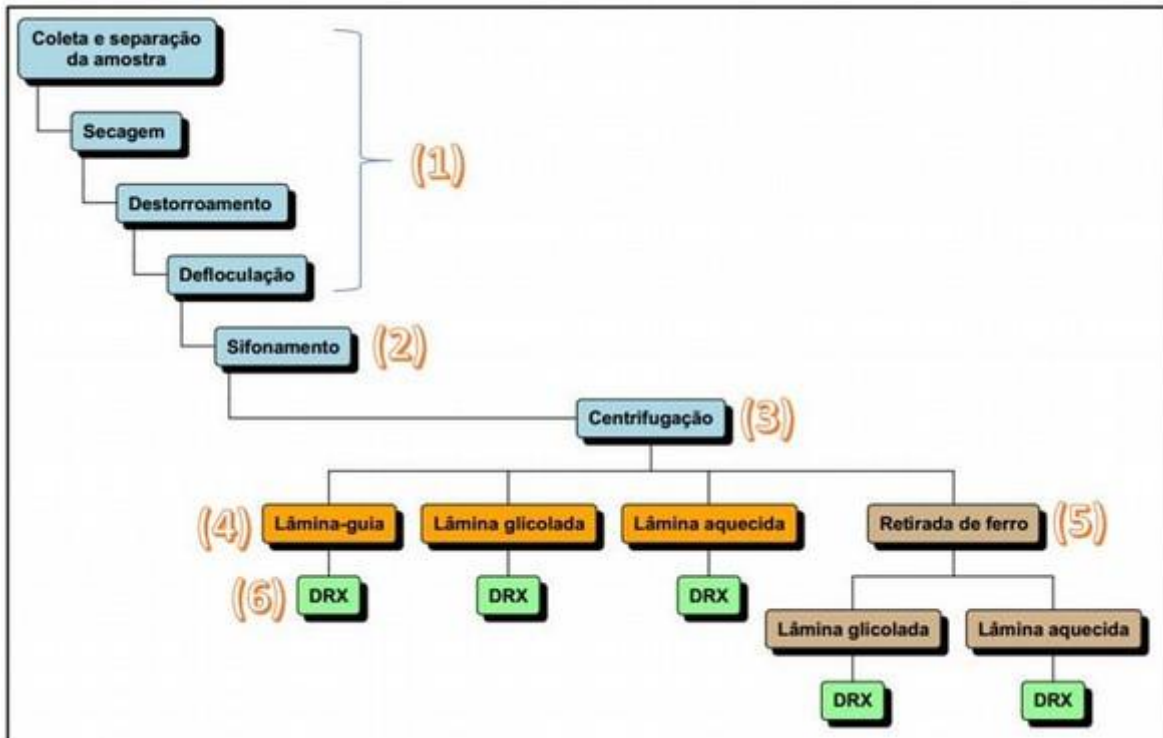


Figura 6: Fluxograma ilustrando toda a etapa de caracterização mineralógica realizada nesta pesquisa.



Figura 7: (1) Etapa de defloculação da amostra com a adição de hidróxido de sódio (NaOH 1M) após secagem e destorroamento; (2) Separação da fração argila por sifonamento com o auxílio de tubo plástico; (3) Argila concentrada após centrifugação a 10.000 rotações / min.

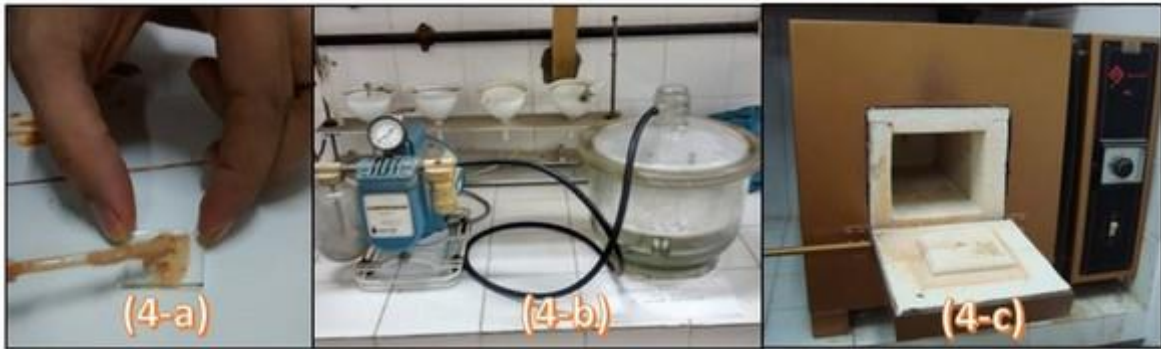


Figura 8: (4-a) Preparo da lâmina-guia pelo método do esfregaço; (4-b) solvatação com etilenoglicol (glicolagem); (4-c) aquecimento no forno mufla.

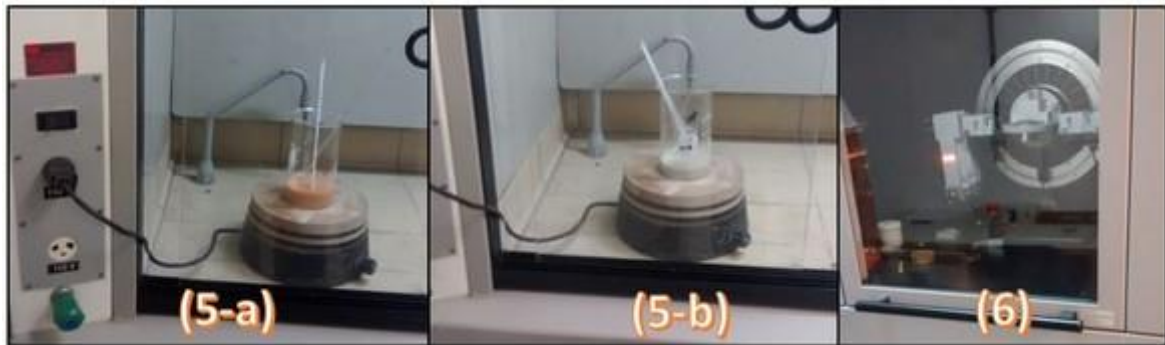


Figura 9: (5-a) Aquecimento da amostra; (5-b) Aspecto translúcido da amostra após retirada do ferro livre pelo CBD; (6) vista do difratômetro em operação durante o ensaio DRX.

3. RESULTADOS

Os resultados obtidos no ensaio DRX são apresentados na Figura 10 e na Tabela 3:

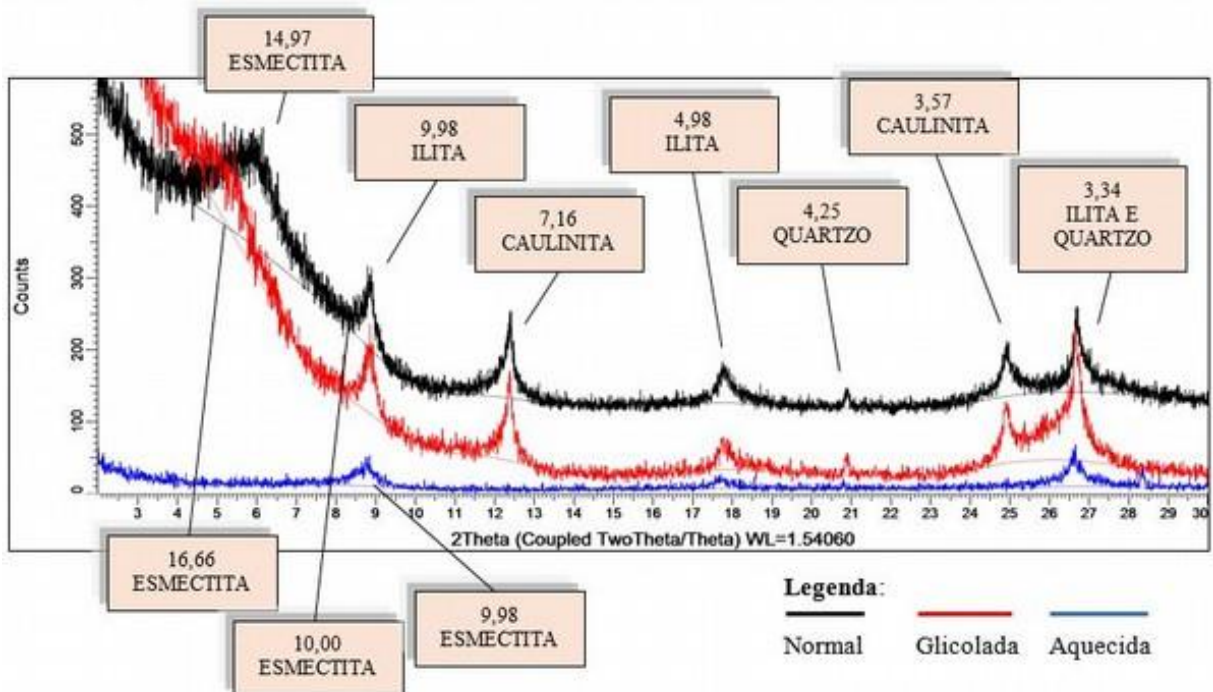


Figura 10: Difratoograma da matéria-prima desta pesquisa.

Tabela 3: Argilominerais com seus respectivos planos basais obtidos nas corridas normal, glicolada e aquecida.

Lâmina	Esmectita (Å)	Ilita (Å)	Caulinita (Å)	Quartzo (Å)
Normal	14,97	9,98	7,16	3,34
	7,00*	4,98		
	4,70	3,34	3,57	4,25
Glicolada	16,66	9,98	7,16	3,34
	8,80*	4,98		
	5,60*	3,34	3,57	4,25
Aquecida	9,98	9,98	-	3,34
	5,00*	4,98		
	3,30*	3,34	-	4,25

* Não se encontram bem definidos ou estão sobrepostos.

4. DISCUSSÃO

No difratograma da figura 10 observam-se picos correspondentes aos argilominerais com distância basal de $d = 14,97 \text{ \AA}$, típicos de argilominerais com estruturas 2:1. Quando glicola-se a amostra, o pico principal vai para $16,66 \text{ \AA}$, indicando a expansão do argilomineral, o que remete a valores e características típicos da esmectita. Outro fator que reforça a presença da esmectita é que, quando este argilomineral é aquecido, a perda de água provoca o desmoronamento das estruturas intercadas, ou seja, colapsam. Neste caso, o difratograma da Fig. 10 demonstra a mudança do pico principal para $9,98 \text{ \AA}$.

A ilita apresenta picos bem definidos a 10 \AA , 5 \AA e $3,3 \text{ \AA}$, não sofrendo nenhuma alteração de posição ou de intensidade quando glicoladas ou aquecidas [7]. Comparando esses dados com os valores observados no difratograma da Fig. 10, constata-se a presença desse argilomineral, uma vez que não há deslocamento dos picos mesmo variando-se o procedimento de obtenção das lâminas.

A caulinita, por sua vez, apresenta picos a 7 \AA e a $3,5 \text{ \AA}$ nas corridas normal e glicolada. Sua presença se confirma na corrida aquecida, pois sua estrutura cristalina não resiste ao aquecimento, de forma que os picos a 7 \AA e $3,5 \text{ \AA}$ desaparecem totalmente, o que condiz com os valores encontrados no difratograma.

Nesta amostra há também a presença de uma pequena quantidade de quartzo ($3,34 \text{ \AA}$ e $4,26 \text{ \AA}$, principal e secundário, respectivamente). No caso do pico a $3,34 \text{ \AA}$ observado, além de ser característico do pico do argilomineral ilita, é também o pico principal do mineral quartzo. Assim, em função do aparecimento do pequeno pico a $4,26 \text{ \AA}$, secundário do quartzo, conclui-se que o mesmo se encontra presente na amostra e o pico a $3,34 \text{ \AA}$ trata-se da contribuição dessas duas espécies.

Tendo em vista a composição mineralógica obtida (esmectita, ilita e caulinita) ter resultado em agregados calcinados que atendem aos critérios mínimos exigidos em norma para uso em bases de pavimentos [4], bem como não terem apresentado qualquer tipo de falha durante sua fase de produção [5], constata-se que a utilização da tabatinga é tecnicamente viável para essa finalidade, mesmo quando se tratar de solos que não possuem distribuição granulométrica adequada para produtos cerâmicos segundo o diagrama de Winkler.

5. CONCLUSÕES

O procedimento utilizado para a identificação dos argilominerais por difração de raios X permitiu identificar de forma eficiente e confiável os argilominerais presentes no solo argiloso estudado. Apesar da granulometria fina do material (100% passando na peneira nº 200 e 30,6% de fração argila) encontrar-se fora das faixas granulométricas consideradas adequadas para produtos cerâmicos segundo o diagrama de Winkler, a composição mineralógica obtida, com a presença de esmectita, ilita e caulinita, compõe um solo que resultou em agregados calcinados com perda de material dentro do admitido para os ensaios de Perda de massa após fervura e Desgaste por abrasão Los Angeles, previstos na Norma DNER-ES 227/89 e que atestam o uso de agregados de argila para bases de pavimentos rodoviários. Como consequência, o aproveitamento dessas argilas de elevada atividade – que são abundantes ao longo do principal segmento rodoviário do estado (BR-364) – pode proporcionar agregados para pavimentação a custos menores que as opções atualmente utiliza-

das. Dessa forma, os procedimentos descritos neste trabalho traduzem-se em uma identificação mais racional de jazidas de solos para emprego na produção de agregados calcinados no estado do Acre, viabilizando diversas obras de infraestrutura rodoviária e possibilitando uma maior inclusão social e econômica da região.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Professora Helena Polivanov, do Departamento de Geologia da UFRJ, que generosamente contribuiu para o desenvolvimento deste trabalho.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] ACRE. Secretaria de Estado de Meio Ambiente. *Livro temático II: Recursos Naturais I - Geologia, Geomorfologia e Solos do Acre*. Programa Estadual de Zoneamento ecológico-econômico do Acre Fase II - Escala 1:250.000. SEMA Acre, Rio Branco, 2010.
- [2] GUIMARÃES, A. C. R., MOTTA, L. M. G., VIEIRA, A. *Contribuição para a aplicação de uma Abordagem Mecânica na Avaliação Estrutural de Pavimentos Asfálticos do Estado do Acre*, In: 13ª REUNIÃO DE PAVIMENTAÇÃO URBANA – 13ª RPU, Maceió/AL – Brasil. 2006.
- [3] CAIXA (Caixa Econômica Federal). SINAPI: *Índices da Construção Civil*. Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/>, acesso em janeiro de 2017.
- [4] DNER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. 1989. DNER-ES 227/89 – Agregados sintéticos graúdos de argila calcinada: emprego em obras rodoviárias. Rio de Janeiro, RJ.
- [5] BARBOSA, V. H. R. *Estudo de solos do Acre para a produção de agregados calcinados e misturas para Bases em Pavimentação*, Dissertação de M.Sc., Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ, 2017.
- [6] NASCIMENTO, R. R. Utilização de agregados de argila calcinada em pavimentação: uma alternativa para o estado do Acre, Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2005.
- [7] SANTOS, P. S. *Tecnologia das argilas – Vol 2. Fundamentos*. São Paulo, Ed. Edgard Blucher, 1975.
- [8] CABRAL, G. L. L. *Metodologia de produção e emprego de agregados de argila calcinada para pavimentação*, Dissertação de M.Sc., Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ, 2005.
- [9] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 1984. *NBR 7181. Solo – Análise granulométrica*.
- [10] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 1984. *NBR 6459. Solo – Determinação do limite de liquidez*.
- [11] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 1984. *NBR 7180. Solo – Determinação do limite de plasticidade*.
- [12] DNER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. 1994. *DNER-ME 093/94. Solos – Determinação da densidade real*. Rio de Janeiro, RJ.
- [13] MOTTA, J. F. M., ZANARDO, A., CABRAL, M. J. “As matérias-primas cerâmicas. Parte I: O perfil das principais indústrias cerâmicas e seus produtos”, *Revista Cerâmica Industrial*, v.6, n.2. Março/Abril de 2001.
- [14] PINTO, C. S. *Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 aulas*. 3ª edição. Oficina de Textos, São Paulo, 2006.
- [15] VIEIRA, A., BATISTA, F. G. S., LOPES, L. A. S. “Produção e caracterização de agregados artificiais de argila calcinada para uso em pavimentação rodoviária”, In: *XVIII ANPET*, Florianópolis – SC, 2004.
- [16] POLIVANOV, H., MOTTA, L. M. G., MODESTO, F. B. F., *et al.*, “Argilas calcinadas para uso em pavimentos rodoviários”, *Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (RBGEA)*, n. 4, 2015.
- [17] GOMES, C. B., FORMOSO, M. L. L., TRESCASES, J. J., *et al.*, *Técnicas analíticas instrumentais aplicadas à Geologia*. Pró-minério. Secretaria de Estado da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia, Ed. Edgard Blücher Ltda. São Paulo, 1984.
- [18] JACKSON, M. L., *Soil Chemical analysis: a advanced course*. Madison, University of Wisconsin, 1975.