

Caracterização química-mineralógica de argilas dos arranjos produtivos das microrregiões Borborema Potiguar, Seridó e Vale do Açu, Rio Grande do Norte

José Augusto Vieira Costa ^{1*}, Otacílio Oziel de Carvalho ², Jean Carlos Silva Andrade ³, Carlos Alberto Paskocimas ⁴, Elias Nunes Filho ⁵, Edilson Ferneda ^{6,7}

¹ Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional, Brasília, 70790-060, Distrito Federal, Brasil

² Fundação de Apoio à Educação e ao Desenvolvimento Tecnológico do Rio Grande do Norte, Mossoró, 59628-330, Rio Grande do Norte, Brasil

³ Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 69080-900, Amazonas, Brasil

⁴ Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 59078-900, Rio Grande do Norte, Brasil

⁵ Centro de Tecnologia Mineral Prof. José Yvan Pereira Leite, Instituto Federal do Rio Grande do Norte, Currais Novos, 59380-000, Rio Grande do Norte, Brasil

⁶ Programa de Pós-Graduação em Governança, Tecnologia e Inovação, Universidade Católica de Brasília, Taguatinga Sul, 71966-700, Distrito Federal, Brasil

⁷ Instituto Prospectiva, São Paulo, 01243-020, São Paulo, Brasil

*e-mail: jaugusto.vieira90@gmail.com; augusto.costa@mdr.gov.br

Resumo:

Este estudo teve como objetivo caracterizar a composição química e mineralógica das argilas utilizadas nos arranjos produtivos locais das microrregiões Borborema Potiguar, Seridó e Vale do Açu, no Rio Grande do Norte. Foram realizadas coletas de amostras em 14 áreas de extração e pátios de estoque. A análise química (FRX) das argilas mostra relativa variabilidade dos teores de SiO_2 e Fe_2O_3 e menor variação para Al_2O_3 e K_2O . A variação dos teores pode estar relacionada principalmente aos ambientes de extração diferenciados. A análise mineralógica (DRX) das argilas de Tanguará indica que a área fonte é proximal e que deram origem aos depósitos argilosos imaturos, sendo rochas granitoides alcalinas contendo feldspatóides (anortita e sanidina), indício de sedimentação jovem. Os principais constituintes são illita, presente em todas as amostras, e caulinita, presente em 4 amostras analisadas. A rocha-mãe das argilas da região de Açu indica ser rocha metamórfica aluminosa de baixo grau devido à presença de pirofilita e haloisita. Nesse sentido, as argilas das drenagens do sistema Açu tendem a ter maior plasticidade e maleabilidade (flexibilidade) devido à contribuição desse filossilicato argiloso. No setor do Seridó, com extração em açudes, os depósitos contêm anortita e sanidina, enquanto na região do Vale do Açu os depósitos são mais abundantes e mais homogêneos, com presença de pirofilita. As características da composição mineralógicas identificadas nas argilas da bacia do rio Açu (pirofilita, haloisita e illita) com propriedades de elevada plasticidade indicam que se trata das melhores argilas de emprego na indústria cerâmica se comparadas regionalmente com outras amostras analisadas. Entretanto, as argilas de Tanguará, com presença de anortita e sanidina, podem ser misturadas a outras argilas (blend) para auxiliar na baixa do ponto de fusão da mistura devido suas propriedades alcalinas, além de melhorar a durabilidade dos produtos cerâmicos.

Palavras-chave: Cerâmica vermelha; APL base mineral; caracterização química-mineralógica; argilas; Seridó; Vale do Açu.

1. INTRODUÇÃO:

Este trabalho é parte da aplicação do planejamento de longo prazo para o arranjo produtivo local de base mineral (APL Mineral), no sentido de apresentar aos beneficiários as vantagens de utilização do método e da técnica pelo processo prospectivo. O procedimento inclui: a) utilizar o método prospectivo em oficinas temáticas para a construção de cenários futuros; b) fornecer suporte nas discussões sobre geologia, mineração, geomorfologia e questões ambientais; c) auxiliar na elaboração de mapas temáticos georreferenciados e colaborar na criação de textos técnicos e ao final publicação de um e-books com os resultados do projeto.

A indústria de cerâmica vermelha no Brasil caracteriza-se como um segmento econômico expressivo e de grande pulverização territorial. Raramente depara-se com um município ou uma região que não tenha uma cerâmica ou um núcleo de pequenas olarias. O fator geológico (existência de jazidas), a proximidade de mercados, base infraestrutural privilegiada e cultura empresarial têm conduzido à polarização do setor cerâmico em territórios específicos, levando à constituição de aglomerados produtivos. Em determinadas regiões essas aglomerações de empresas constituem os arranjos produtivos locais (APLs) de base mineral [1]. Bons exemplos dessa organização são os APL de Base Mineral de Santa Gertrudes, SP; Morro da Fumaça, SC; Norte Goiano, GO; microrregiões do Seridó/Açu, RN; dentre outros.

A dispersão da indústria do setor cerâmico no Brasil, aliada à tendência de sua concentração em arranjos produtivos locais, conduzem ao desenvolvimento socioeconômico regional, a exemplo da região Nordeste, propiciando a geração de emprego e renda às populações residentes.

O perfil industrial da cerâmica vermelha [2] descreve que o estado do Rio Grande do Norte é um dos maiores produtores de cerâmica vermelha do Nordeste, distribuído por 39 municípios e constituído por centenas de empresas. Uma particularidade é que compreende o maior produtor de telhas por extrusão do Brasil.

A setorização no estado do Rio Grande do Norte, principalmente concentrada nas proximidades de Natal, região do Seridó e vale do rio Açu tem implicação baseada em fatores como a demanda pelo mercado consumidor nordestino, bem caracterizada por construções em produtos cerâmicos (telhas, tijolos, lajota, outros artefatos) mesmo em casas simples, bem como pela disponibilidade de matérias-primas distribuídas ao longo das mesorregiões do estado.

A argila, matéria-prima para a produção dos produtos cerâmicos, é extraída de depósitos sedimentares recentes distribuídos na várzea dos grandes rios e em expressivos açudes da região [3]. Apropriadamente, em função de períodos de elevada precipitação pluviométrica, as argilas são estocadas em pilhas de estoque adjacentes às áreas de extração.

Deste modo, o principal objetivo desta investigação foi contribuir no conhecimento da distribuição espacial e identificação dos possíveis argilominerais das matérias-primas presentes nesses ambientes por meio da caracterização química-mineralógica dos argilominerais utilizando técnicas laboratoriais disponíveis nas instituições do próprio estado do Rio Grande do Norte. O trabalho se destaca por ter tido uma integração e parceria entre instituições e pessoas incluindo institutos e universidades federais e os autores, respectivamente.

2. MATERIAIS E MÉTODOS:

2.1. Trabalhos de campo:

Inicialmente, foram pesquisados livros e artigos sobre matérias-primas e produtos cerâmicos em APL, incluindo periódicos, monografias, guias técnicos, apresentações em eventos e projetos relacionados ao tema. Nesse contexto, o projeto EELA no Brasil [4] descreve que o Rio Grande do Norte é um dos estados com maior produção no segmento de cerâmica vermelha do Nordeste e ainda o maior produtor de telhas do país, e que naquele período contava com 186 empresas em atividade com uma produção de 111.000 milheiros/mês, sendo 54% de telhas, 42% de blocos de vedação e 4% de outros produtos.

O estado apresenta diversas regiões produtoras do setor cerâmico, sendo elas: Bacia do Seridó, Baixo Assu, Bacia de Trairi-Jacu, Bacia do Potengi, Chapada do Apodi e Zona Centro e Serrana. A Bacia do

Seridó tem as maiores concentrações de empresas nos municípios de Parelhas e Carnaúba de Dantas, apresenta uma produção de cerca de 63.000 milheiros/mês e produção específica de 640 milheiros/empresa/mês com predominância de telhas coloniais. Na região do Baixo Assu destaca-se a produção de blocos de vedação e de telhas com produção total de aproximadamente 24.000 milheiros/mês e produção específica de 730 milheiros/empresa.mês, principalmente nas cidades de Itajá e Assu. O mapa com os arranjos produtivos cerâmicos em seus respectivos municípios é apresentado na Fig.1.

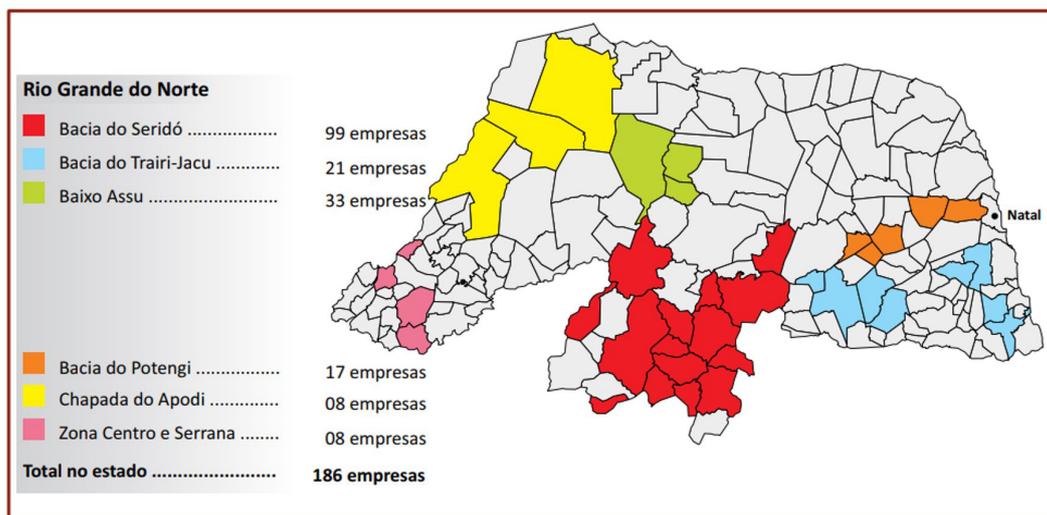


Figura 1. Principais regiões produtoras de arranjos produtivos de cerâmica vermelha no Rio Grande do Norte [4]

Continuando o estudo, foram realizadas visitas técnicas às indústrias cerâmicas no intuito de esclarecimentos das atividades realizadas pelos ceramistas em relação à cadeia produtiva da indústria com anotações e registros fotográficos do processo, principalmente no sentido de identificar as dificuldades na aquisição de argilominerais matéria-prima da produção, bem como as questões ambientais inerentes ao processo e sua respectiva fiscalização pelos órgãos competentes.

Anterior à pesquisa de campo propriamente dita foram plotadas as poligonais das áreas a serem visitadas no software Sigmine ofertado pela Agência nacional de Mineração/ANM com o intuito de se localizar em campo e coletar amostras na certeza de que se estava na correta localização geográfica utilizando um equipamento portátil de boa qualidade de georreferenciamento (Garmin Montana 680), o qual vem com o aplicativo BaseCamp e permite registro fotográfico tendo uma câmera embutida. Após os trabalhos de campo, os dados coletados foram processados no software QGIS, possibilitando a elaboração dos mapas finais. A Fig.2 e a Fig.3 ilustram exemplos desses procedimentos.

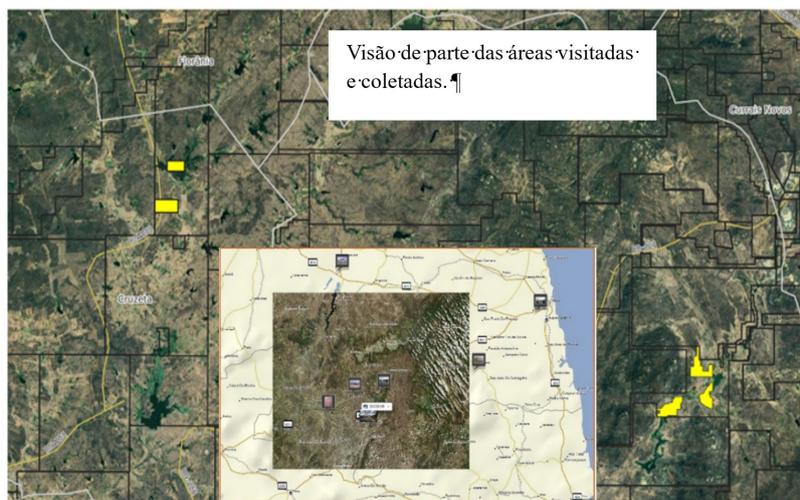


Figura 2. Parte da área coletada mostrando as poligonais visitadas das regiões de Seridó (SE) e Açu (NW); internamente, mapa índice automatizado pelo Basecamp

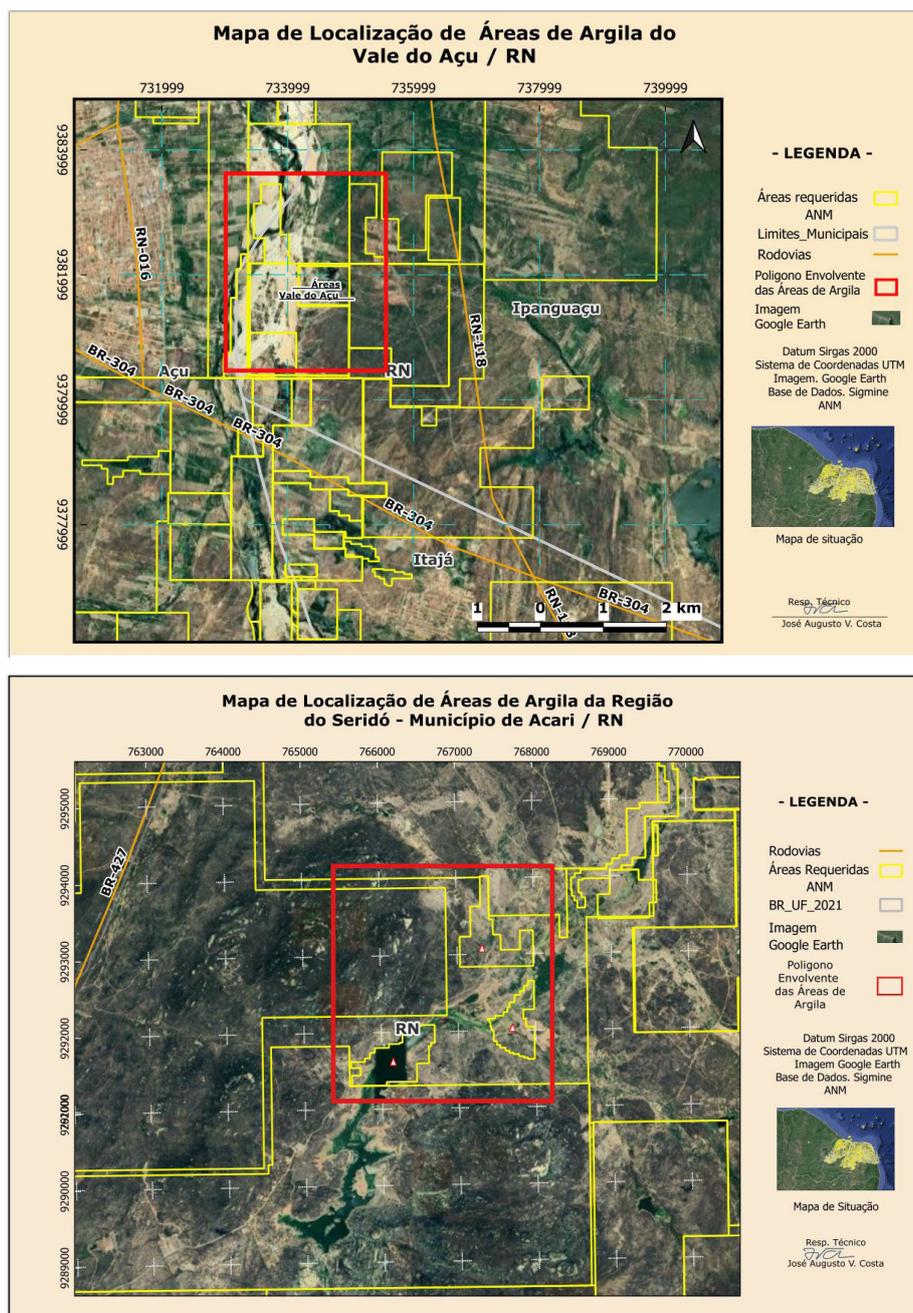


Figura 3. Exemplo de mapas finais de situação das áreas visitadas; em vermelho: polígono envolvente áreas de extração de argila

As visitas e coletas compreenderam 14 áreas distribuídas, a saber: açude Trairi e açude da Guarita, município de Tangará (Mesorregião Agreste Potiguar, Microrregião Borborema Potiguar). Açude Gargalheiras (mun. de Acari), rio Seridó, em Jardim do Seridó. Leito seco do açude Itans, em Caicó. Açude Cruzeta, açude Cauaçu, no município de Cruzeta. Coleta na cerâmica Semar no pátio de estoque (local da jazida indisponível na margem do rio Açu, no município de Assu). MB Empreendimentos (margem da rodovia BR 304, domínios de Itajá). Jazida em pequeno lago às margens do rio Açu. Cerâmica Itajá no pátio de estoque (local da jazida indisponível) que se situa às margens do rio Açu no município de Itajá.

Um dos objetivos do trabalho seria descrever a estruturação dos perfis de extração e coletar amostras em canaletas e sua correlação geológica-geomorfológica com as áreas de extração. Entretanto, a descrição das ocorrências dos perfis de argilominerais foi prejudicada por condições climáticas, com locais de extração de argila inundados, exceto por duas localidades com perfis homogêneos e mesmo assim parcialmente inundados. A Fig.4 mostra exemplos de algumas áreas visitadas e coletadas.

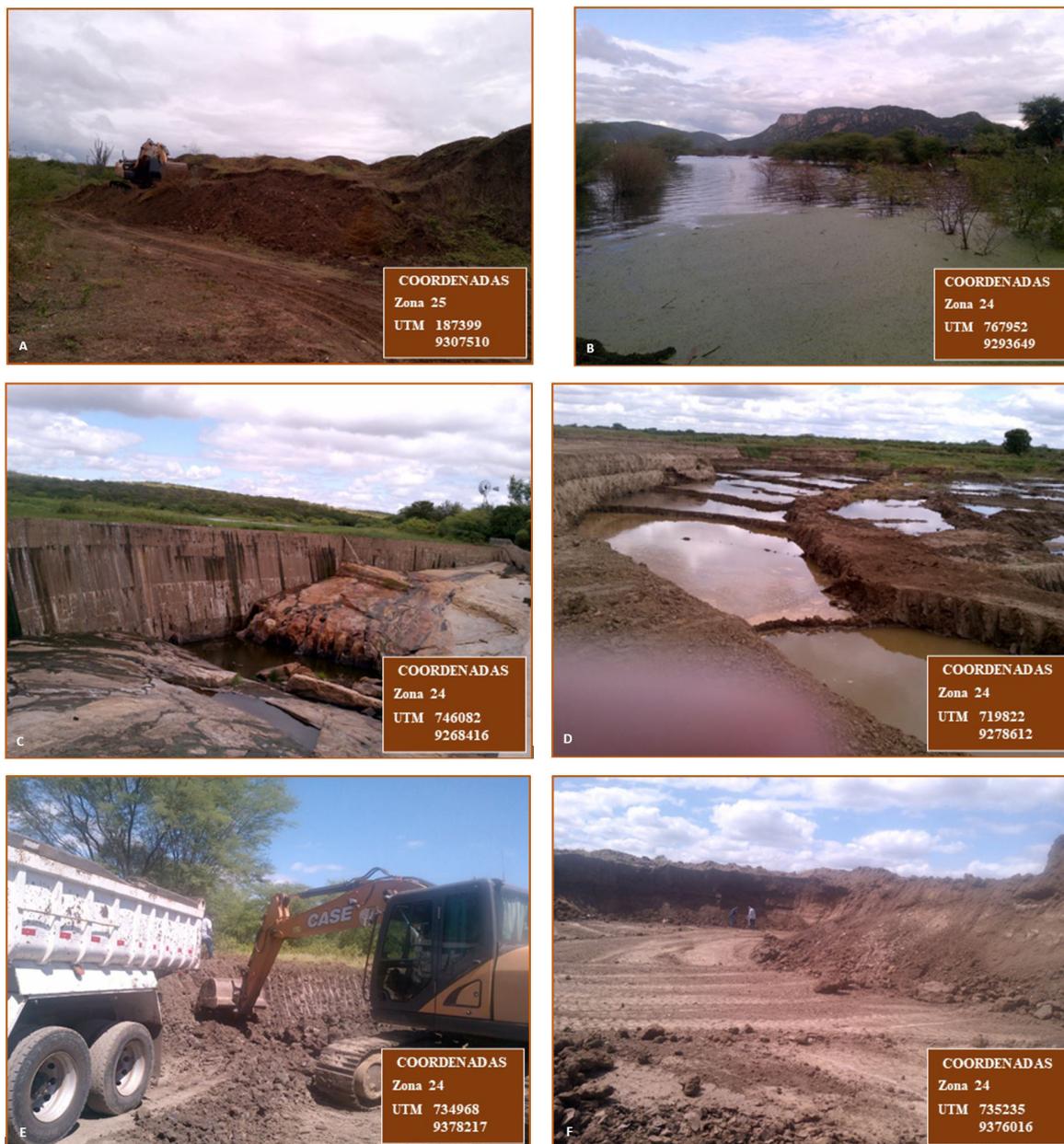


Figura 4. Exemplo da localização das áreas georreferenciadas e coletadas; em geral pilhas de estoque adjacentes às áreas de extração e pontualmente em pátios de estoques dos ceramistas: (a) adjacências do açude Trairi, Tangará; (b) área de extração afogada no açude Gargalheiras em Acari; (c) açude no rio Seridó, Jardim do Seridó; (d) frente de extração parcialmente inundada, leito seco no açude Itans, Caicó; (e) frente de extração da MB Empreendimentos às margens da BR 304, Itajá; (f) pátio com pilha de estoque da Cerâmica Vargas

2.2. Caracterização química:

2.2.1. Espectroscopia de fluorescência de raios X (FRX):

As amostras coletadas em campo objetivando as futuras análises pelos métodos e técnicas de FRX e DRX previamente foram encaminhadas ao Laboratório de Processamento Mineral e Resíduos do IFRN, campus IFRN, para desagregação, secagem, homogeneização, pesagem e encaminhamentos.

No laboratório de FRX, inicialmente, a amostra passou por processo de identificação, pesagem para controle de massa, pulverização, homogeneização e quarteamento.

As análises foram executadas no Laboratório de Análises Mineraias do Centro de Tecnologia Mineral do IFRN (LABAM CTM IFRN), utilizando um espectrômetro de bancada de energia dispersiva (EDS) Thermo Fisher Scientific ARL QUANT'X, utilizando o método à vácuo, sem ar.

2.3. Caracterização mineralógica:

2.3.1. Difração de raios X (DRX):

Fragmentos secos de amostras de argila foram cominuídos em almofariz de alumina na granulometria abaixo de 200 # (abertura de peneira 0,075 mm). O material pulverulento obtido foi colocado em um porta amostras metálico circular de 3 cm de diâmetro com uma cavidade e profundidade de 0,2 cm. Cada amostra foi compactada, por meio de um vidro retangular (2 cm × 5 cm) formando uma superfície totalmente uniforme, onde foi levemente comprimida para que as partículas não se soltassem durante a análise.

As análises de difratometria de raios X (DRX), empregada para identificar as fases cristalinas e mineralógicas das amostras de argila, foram realizadas no Laboratório de Caracterização de Materiais da UFRN. As medidas foram realizadas em um difratômetro Shimadzu XRD7000, radiação $\text{Cu}_{K\alpha}$ ($\lambda=1,5406 \text{ \AA}$), com 40 kV, com corrente de filamento em 30 mA, 2θ de 5 a 80° , varredura com passo angular de $0,02^\circ$ e tempo de contagem por passo de $1^\circ/\text{min}$.

A análise das fases mineralógicas dos difratogramas foi assistida por computador com o auxílio dos softwares X'pert HighScore Plus da Malvern Panalytical, com o auxílio das cartas padrões do ICSD (Inorganic Crystal Structure Database), que compreende um banco de dados mantido atualmente pela FIZ Karlsruhe (<https://icsd.products.fiz-karlsruhe.de/en/about/about-icsd>), a qual disponibiliza dados de estruturas cristalinas de compostos inorgânicos contendo uma lista de informações sobre minerais, metais, elementos puros e compostos intermetálicos. Para a geração dos gráficos aplicou-se o software OriginPro (<https://www.originlab.com/>).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO:

3.1. Caracterização química:

3.1.1. Fluorescência de raios X:

Os resultados da análise química para a concentração percentual dos óxidos e dos principais elementos químicos das argilas das regiões investigadas por municípios, totalizando 14 amostras analisadas, estão mostrados na Tab.1.

Tabela 1. Análise química (% em massa dos óxidos principais, FRX) a partir de pilhas de estoques da matéria-prima argila nos municípios visitados

Amostra	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	K_2O	TiO_2	SO_3	MnO	Cl*	ZrO_2	BaO	Co_3O_4
1. Tangará	43,9	22,4	24,2	1,9	3,4	2,5	0,4	0,3	0,5	-	-	-
2. Tangará	46,9	22,5	21,2	3,3	3,5	1,7	-	0,3	-	-	-	-
3. Tangará	48,0	20,5	19,4	4,2	3,9	1,6	0,9	0,3	0,4	-	-	-
4. Acari	49,4	23,3	15,5	3,1	5,3	2,4	-	0,3	-	0,3	-	-
5. Acari	47,8	24,1	16,8	2,6	5,4	2,1	-	0,3	-	-	-	-
6. Acari	41,4	23,8	23,9	1,3	5,6	2,0	0,5	0,4	0,6	-	-	-
7. Jd. Seridó	44,1	27,5	16,6	3,6	4,7	2,1	-	0,3	-	-	-	-
8. Caicó	56,4	21,5	11,4	3,8	3,8	1,9	-	0,2	0,3	-	-	-
9. Cruzeta	50,4	22,8	16,7	3,4	3,8	1,7	-	0,2	0,3	-	0,3	-
10. Cruzeta	50,9	21,4	16,8	4,0	3,8	1,9	-	0,2	-	-	0,3	-
11. Assu	52,3	21,4	15,4	2,7	5,1	1,9	-	0,2	0,3	-	0,3	-
12. Assu	55,4	20,8	11,7	3,5	5,2	1,6	-	0,2	0,7	0,2	0,4	0,2
13. Itajá	48,7	23,3	18,9	1,8	4,6	1,7	-	0,2	-	-	0,2	-
14. Itajá	51,3	22,3	16,9	2,3	4,5	1,6	-	0,2	-	-	0,2	-

As análises químicas por fluorescência de raios X apresentaram as principais porcentagens de SiO_2 variando de 41,4 (Caicó) a 51,4% (Acari); Al_2O_3 entre 20,5 (Tanguará) e 27,5 (Jardim do Seridó); Fe_2O_3 variando de 11,7 (Açu) a 24,2 (Tanguará); e K_2O entre 3,4 (Tanguará) e 5,6 (Acari).

Os valores obtidos para essa matéria-prima argilosa indicam uma boa correlação dos depósitos com relativa variabilidade dos teores de SiO_2 e Fe_2O_3 . E menor variação para Al_2O_3 e K_2O . Essa variação dos teores deve estar relacionada principalmente ao ambiente de extração diferenciado como extensas drenagens, com uma envelhecida planície de inundação e açudes recentes.

Os teores de Al_2O_3 e K_2O sugerem bem essa abordagem, enquanto em Acari e Jardim do Seridó a área de lavra encontra-se próxima de elevações de rochas cristalinas adjacentes aos açudes, e assim os teores são respectivamente maiores. Enquanto para as amostras coletadas nas áreas de planície de inundação esses teores tendem a ser menores. De qualquer forma, não ocorre variação significativa regional nos teores dessas argilas como matéria-prima para confecção de produtos cerâmicos.

3.2. Caracterização mineralógica:

3.2.1. Difração de raios X:

A caracterização mineralógica da matéria-prima argila da região centro-sul e noroeste do estado do Rio Grande do Norte compreendeu 14 análises de pilhas de estoque adjacentes às áreas de extração e revelou uma consistência do tipo do argilomineral utilizado na produção da indústria cerâmica. A Fig.5 mostra os resultados dessa análise cristalográfica por meio dos picos de intensidade e revela a mineralogia das argilas.

Os resultados analíticos considerando os minerais detectados nas argilas de Tanguará (anortita e sanidina) indicam que a área fonte é proximal e que deram origem aos depósitos argilosos imaturos sendo rochas granitoides alcalinas contendo feldspatóides (andesitos alcalinos?), indicativos de sedimentação jovem.

O principal constituinte argilomineral regionalmente é a illita, presente em todas as amostras analisadas que imprime tons marrom-amarelados a essas argilas. Exibe picos bem definidos nos gráficos obtidos a exemplo das amostras de Tanguará, Jardim do Seridó, Cruzeta e Açu. A caulinita quando presente tende a inibir os valores da illita, mas está presente com alta significância em 4 amostras analisadas.

A rocha-mãe das argilas da região de Açu indica serem rochas metamórficas aluminosas de baixo grau indicada pela presença de pirofilita e haloisita. Nesse sentido, as argilas das drenagens do sistema Açu tendem a ter maior plasticidade e maleabilidade (flexibilidade) devido à contribuição desse filossilicato argiloso. Tal característica de alta plasticidade também é corroborada pela presença de haloisita nas argilas da região do Açu em relação às outras argilas regionalmente analisadas.

4. DISCUSSÃO:

A caracterização química e mineralógica das argilas dos arranjos produtivos locais das microrregiões Borborema Potiguar, Seridó e Vale do Açu no estado do Rio Grande do Norte revelou uma composição pouca variada, com uma tendência de diferenciação em função da rocha fonte e da proximidade das elevações intemperadas que deram origem aos argilominerais associados aos remanescentes mineralógicos da rocha-mãe.

Os depósitos analisados são perfis imaturos (no sentido da evolução de intemperismo), situados na região semiárida do nordeste brasileiro, não permitindo a separação de horizontes lateríticos bem definidos (ferruginoso-argiloso). Nesse sentido, há um elevado grau de mistura de minerais argilosos como produto de intemperismo e minerais remanescentes das rochas pré-existentes.

No setor Seridó caracterizado por extração em açudes, os resultados analíticos considerando a mineralogia identificada indicam características remanescentes de área fonte proximal representada por granitoides alcalinos contendo feldspatóides que deram origem aos depósitos argilosos imaturos, indicados pela presença de minerais como sanidina e anortita em ambiente de sedimentação jovem.

Enquanto na extensa planície de inundação da região do Vale do Açu, os perfis são um pouco mais maduros (evoluídos), mais abundantes e um tanto mais homogêneos, salvo pela diferenciação da rocha fonte ter um componente claramente metamórfico de baixo grau indicado pela presença do argilomineral pirofilita.

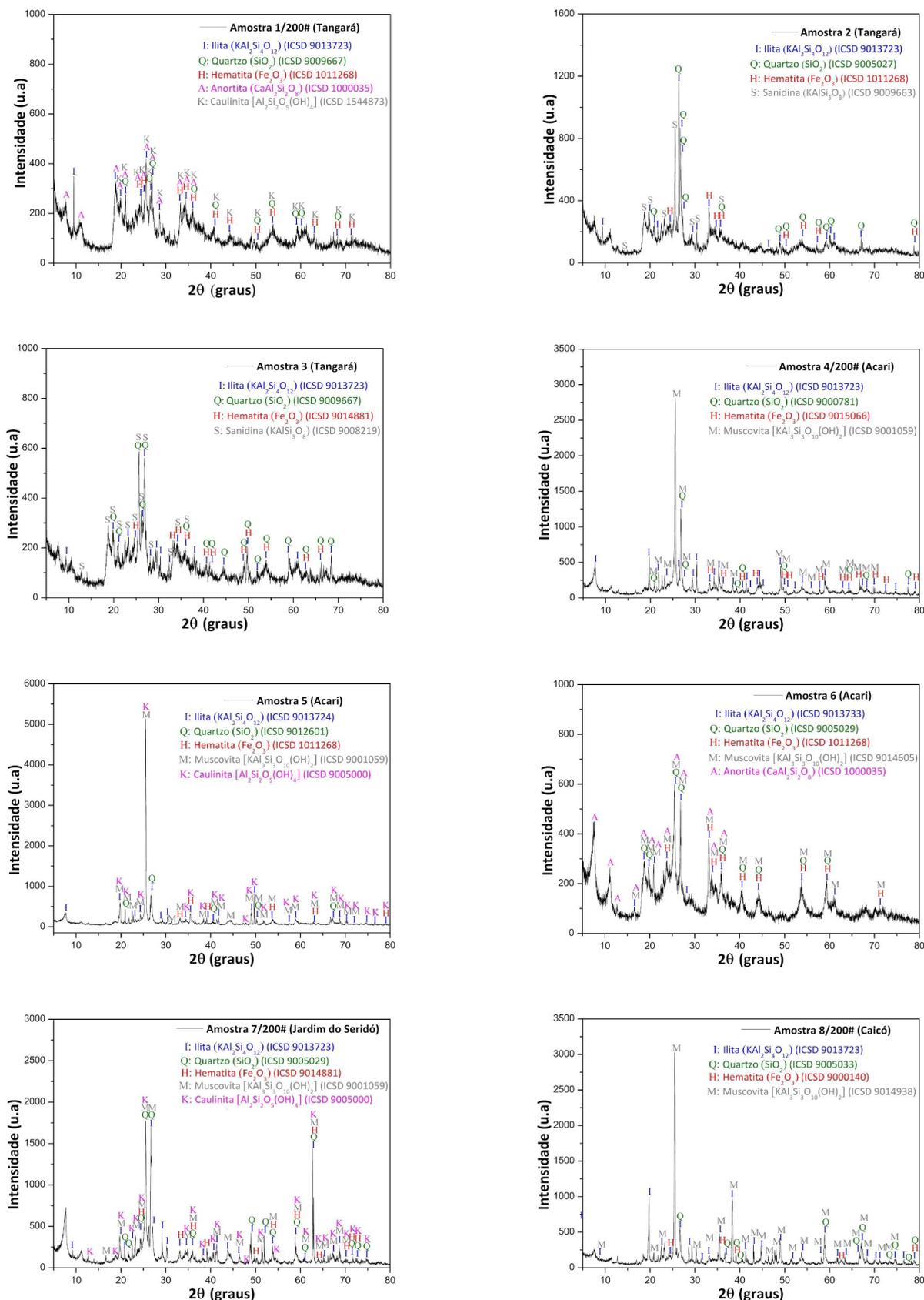
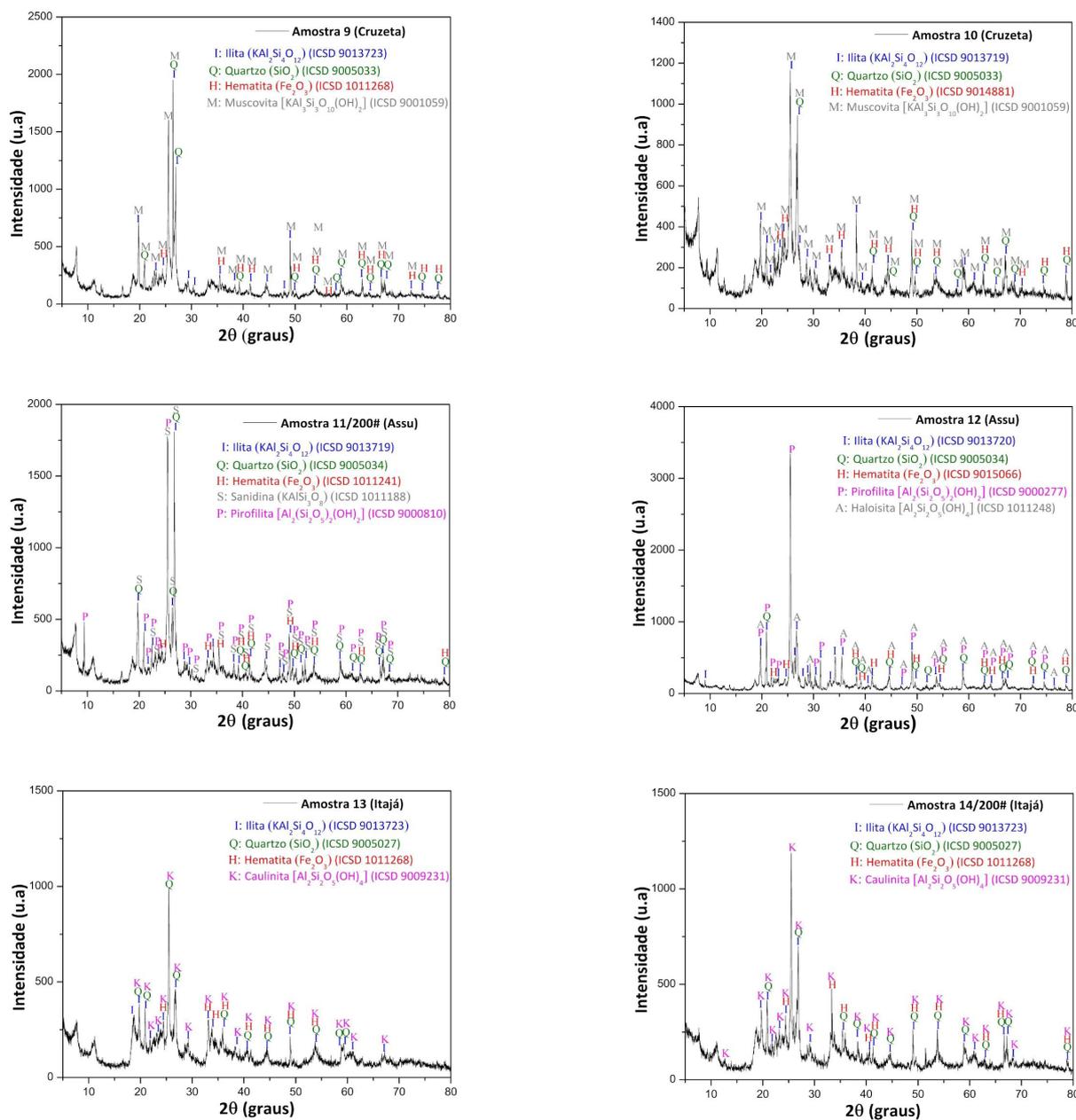


Figura 5. Caracterização mineralógica da matéria prima-argila obtida pelo método de DRX utilizados para a produção da indústria cerâmica dos arranjos produtivos das microrregiões Borborema Potiguar, Seridó e Vale do Açú, RN

Figura 5. Continuação...



O principal constituinte argilomineral regionalmente é a ilita, presente em todas as amostras analisadas, que imprime tons marrom-amarelados a essas argilas. Exibe picos bem definidos nos gráficos obtidos a exemplo das amostras de Tanguará, Jardim do Seridó, Cruzeta e Açú. A caulinita, quando presente, tende a inibir a ilita, mas está presente com alta significância em 4 amostras analisadas.

5. CONCLUSÃO:

As características da composição mineralógica identificada nas argilas da bacia do rio Açú, correspondendo à pirofilita, haloisita e ilita, com propriedades de elevada plasticidade e maleabilidade (flexibilidade), indicam que se trata das melhores argilas de emprego na indústria cerâmica se comparadas regionalmente com outras amostras analisadas. A rocha fonte tem papel primordial, sendo interpretada como rocha aluminossilicática de baixo grau metamórfico.

Entretanto, a composição mineralógica das argilas de Tanguará, contendo feldspato alcalino (anortita) e feldspatóide potássico (sanidina), por suas propriedades de fusão sugere que essas argilas podem ser misturadas (blend) a outras argilas regionais para auxiliar na redução do ponto de fusão da mistura, além de melhorar a durabilidade dos produtos cerâmicos.

A pesquisa identificou que para a região não existem estudos específicos de classificação química-mineralógica, qualificação e quantificação dos depósitos no contexto geológico, investigando a geometria dos depósitos (espessura, profundidade e extensão), além da composição mineralógica e química dos depósitos que podem conduzir à inovação na geração de novos produtos cerâmicos.

AGRADECIMENTOS:

Este trabalho foi financiado em atendimento ao edital CNPq/CT Mineral 28/2022 PD&I, Gestão e Extensão Tecnológica, Infraestrutura Laboratorial, Capacitação e Formação de RH para Mineração e Transformação Mineral em Micro, Pequena e Média Escala. Processo: 409253/2022-7.

Agradecemos também à equipe do Laboratório de Processamento Mineral e Resíduos (IFRN/Natal Central) coordenado pelo Prof. Dr. Marcondes Mendes de Souza, pela secagem e preparação das amostras a serem encaminhadas aos laboratórios analíticos.

REFERÊNCIAS:

- [1] Cabral Jr M, Tanno L C, Sintoni A, Motta J F M, Coelho J M, 2012. A indústria de cerâmica vermelha e o suprimento mineral no Brasil: desafios para o aprimoramento da competitividade. *Cerâmica Industrial* 17 (1) 36-42.
- [2] Carvalho O O, Santana P A V, Oliveira M C, Fonseca K E D, 2001. Perfil industrial da cerâmica vermelha no Rio Grande do Norte. Senai/Funcern.
- [3] Mello I S, Motta J F M, Bezerra M S, Nesi J R, Loreti Jr R, 2011. Atlas de matérias-primas minerais cerâmicas do nordeste brasileiro. SBG-CPRM.
- [4] Henrique Jr.M F, Rodrigues J A, 2017. Projeto ELLA: cerâmica vermelha no Brasil. Rio de Janeiro: INT/MCTI.