

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Campus de Rio Claro

**ESTUDO DE FORMULAÇÃO DE MASSAS ATRAVÉS DO
CONTROLE DA MISTURA: ARGILAS ALUVIONARES DO
PÓLO CERÂMICO DE RUSSAS-CEARÁ**

Raimundo Humberto Cavalcante Lima

Orientadora: Profa. Dra. Maria Margarita Torres Moreno

Tese de Doutorado elaborada
junto ao Programa de Pós-
Graduação em Geologia Regional
para obtenção do título de Doutor
em Geologia Regional.

Rio Claro (SP)
2009

620.112 Lima, Raimundo Humberto Cavalcante

L732e Estudo de formulação de massas através do controle da
mistura : argilas aluvionares do pólo cerâmico de Russas -
Ceará / Raimundo Humberto Cavalcante Lima. - Rio Claro :
[s.n.], 2009

117 f. : il., figs., gráfs., tabs., fots., mapas

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista,
Instituto de Geociências e Ciências Exatas de Rio Claro
Orientador: Maria Margarita Torres Moreno

1. Ciência dos materiais. 2. Cerâmica. 3. Experimentos de
mistura. 4. Componentes binários. 4. Cerâmica vermelha. 5.
APL. I Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP
Campus de Rio Claro/SP

COMISSÃO EXAMINADORA

Profa. Dra. Maria Margarita Torres Moreno – IGCE/UNESP Rio Claro (SP)

Profa. Dra. Tamar M. Bortolozzo Galembeck– IGCE/UNESP Rio Claro (SP)

Prof. Dr. Antenor Zanardo– IGCE/UNESP Rio Claro (SP)

Prof. Dr.. José Francisco Marciano Motta-IPT São Paulo (SP)

Profa. Dra. Shirley Cosin- EP/USP/São Paulo (SP)

Rio Claro, 11 de Setembro de 2009

Conceito Final: APROVADO

Dedicatória

*Aos meus pais e irmãos e em
especial à Vilma Araújo e Gustavo Lima.*

AGRADECIMENTOS

A realização desta tese só pôde ser concretizada, graças à instituições e pessoas que lhe deram forma e suporte, razão pela qual não poderíamos deixar de lhes expressar os nossos agradecimentos e a nossa gratidão, por terem contribuído de forma eficiente para a sua concretização:

À Deus acima de tudo;

Ao Programa de Pós-graduação em Geologia Regional, na pessoa do coordenador Prof. Dr. Norberto Morales e ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas- IGCE, na pessoa do seu Diretor Prof. Dr. Antonio Carlos Simões Pião, por terem disponibilizado toda a infraestrutura da UNESP, campus Rio Claro, necessárias para a realização da pesquisa.

Agradecimentos especiais à Profª. Dra. Maria Margarita Torres Moreno pela valiosa orientação no caminho percorrido, constante incentivo e paciência em todos os momentos solicitados;

Ao Prof. Dr. Celso de Sousa Figueiredo Gomes, investigador do Centro de Investigação de Minerais Industriais e Argila (MIA) da Universidade de Aveiro (Portugal), pela disponibilidade e privilégio de sua orientação durante o estágio de doutorado sanduíche desenvolvido na UA;

Somos muito gratos, ainda, ao corpo docente, técnico e administrativo dos departamentos de Petrologia e Metalogenia (DPM) e Geologia Aplicada (DGA) pela atenção ao longo da pesquisa, em especial, Vladimir Júnior, técnico responsável pelo laboratório de Geoquímica, Alan, técnico responsável pelo laboratório de Geotecnia e Leandro Marques, técnico responsável pelo laboratório de Cerâmica;

Somos gratos, ainda, à secretária da Pós-Geociências, Rosângela e as da Seção de Pós-Graduação IGCE: Eliana, Sandra e Mariá, pela atenção e presteza nos esclarecimentos solicitados.

Estendemos nossos agradecimentos às empresas visitadas que cederam suas matérias-primas tão necessária ao desenvolvimento da pesquisa;

Os nossos agradecimentos são extensivos, também, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Cnpq) pela concessão da bolsa de estudo do doutorado durante todo o período da pesquisa e, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela bolsa de estudo no âmbito do Programa de Doutorado no País em Estágio no Exterior – PDEE (Processo BEX 1775/07-3);

Ao Instituto Centro de Educação Tecnológica do estado do Ceará (CENTEC) pelo afastamento concedido durante este período;

Finalmente, agradecemos aos colegas e companheiros da Pós, alguns bem conhecidos e outros nem tanto, pela amizade sempre demonstrada e as “bagunças” realizadas;

E a nossa eterna gratidão às famílias *Cavalcante Lima* e *Araújo*.

RESUMO

O pólo cerâmico de Russas está localizado no estado do Ceará e representa uma das bases da economia do município, voltada para produção de telhas e tijolos estruturais. A maioria dos ceramistas do Pólo faz uso de métodos empíricos para formulação de massa cerâmica, tendo como consequência uma desuniformização dos produtos acabados. O objetivo desta pesquisa foi identificar um parâmetro de controle funcional, a ser usado na preparação de misturas, para obtenção de uma massa homogênea e consequentemente uma melhor uniformização das peças fabricadas. O método aplicado baseia-se nos valores de: absorção de água dos componentes individuais e pré-determinados para as misturas além da temperatura de queima. A preparação das massas foi realizada com componentes plásticos (granulometria fina) e não-plásticos (partículas mais grossas) utilizados em quatro cerâmicas, determinando absorção de água em corpos-de-prova prensados com 8% de umidade e densidade de prensagem de 2.0 g.cm^{-3} . A partir desses valores foram calculadas as proporções dos componentes, visando absorção d'água de 14%. Os resultados determinaram a distribuição granulométrica padrão adequada para uso como parâmetro de controle na preparação da mistura do material plástico e não plástico e permitiram obter, através de um método gráfico complementado por um algoritmo de otimização, a proporção necessária para adquirir uma massa cerâmica homogênea nas condições em que as amostras foram processadas.

Palavras-chave: formulação de massa, cerâmica estrutural, técnica de mistura, argila aluvionar, componentes binários.

ABSTRACT

The Ceramic center of Russas has been located in Ceará State and represents one of the county economy base, aimed to produce structural bricks and roofing tiles. Most of the Pole potters make use of empirical methods for the formulation of ceramic body resulting in disuniform finished products. The objective of this research was to identify a functional control parameter, to be used in the preparation of mixtures, to obtain a homogeneous mass and therefore a better uniformity of the manufactured pieces. The method applied is based on the water values absorption of the individual components, pre-determined values for the water values absorption from the mixture and burning temperature. The preparation of the mass had been made with plastic components (thin granularity) and non-plastics (thicker particles) used in four ceramics, determining water values absorption in sample bodies pressed with 8% moisture and density of pressing of 2.0 g.cm^{-3} . From these values the water components proportions were calculated to water absorption of 14%. The results determined the granulometric distribution pattern suitable for using as a parameter control in the preparation of the plastic and non-plastic material mixture and they allowed to get, through a graphical method supplemented by an algorithm of optimization, the proportion required to obtain a homogeneous ceramic body, under conditions where the samples had been processed.

Key words: mass formulation, structural ceramics, mixing technique, alluvial clay, binary components.

SUMÁRIO

	Página
1-INTRODUÇÃO E OBJETIVOS.....	15
1.1-Introdução	15
1.2-objetivo	16
2.CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO	18
2.1. Localização da área	18
2.2. Aspectos sócioeconômicos.....	20
2.3. Aspectos fisiográficos	21
3.ENQUADRAMENTO TEMÁTICO.....	25
3.1. Sistema organizacional do pólo cerâmico.....	25
3.1.1. Arranjo Produtivo Local (APL) cerâmico em Russas	27
3.1.2.Caracterização tecnológica de amostras utilizadas em cerâmicas estruturais por alguns municípios do Pólo.	30
3.2. Sistema produtivo cerâmico.....	31
3.2.1. Matéria-Prima.....	32
3.2.2. Extração da matéria-prima	33
3.2.3 Preparação da Massa	34
3.2.4. Conformação	36
3.2.5. Secagem	36
3.2.6. Queima	37
4.CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL E LOCAL	39
4.1. Trabalhos anteriores	39
4.2. Descrição da geologia regional.....	41
4.3. Descrição da geologia local	43
4.4. Descrição dos depósitos aluviais	45
5. MATERIAIS E MÉTODOS DE TRABALHO	51
5.1. Levantamento bibliográfico	51
5.2. Seleção e descrição dos materiais utilizados na pesquisa	51
5.3. Caracterização física, química, mineralógica e tecnológica.....	54
5.3.1. Análises físicas: granulometria e plasticidade	54
5.3.2. Análises mineralógicas:difratometria de raios X e microscopia....	55
5.3.3. Análises químicas: fluorescência de raios X e carbono orgânico.	57

5.3.4. Ensaio tecnológico cerâmico	58
5.4. Experimentos de misturas.....	59
5.4.1. Estudo das misturas através do método gráfico.....	59
5.4.2. Estudo do método do algoritmo para obtenção das proporções dos componentes das misturas	60
6.RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	62
6.1. Resultados da amostragem preliminar	62
6.2. Caracterização de argilas do pólo.....	68
6.2.1. Seleção e descrição dos materiais representativos do pólo.....	68
6.2.2. Análises físicas: granulometria e plasticidade	72
6.2.3. Análises mineralógicas: difração de raios X e microscopia ótica	75
6.2.4. Análises químicas: espectrometria de raios X e carbono orgânico.....	79
6.2.5 Ensaio tecnológico cerâmico	81
6.3. Experimentos de misturas.....	90
6.3.1. Estudo das misturas através do método gráfico.....	90
6.3.2. Estudo do método do algoritmo para obtenção das proporções dos componentes das misturas	97
6.4. Proposta de um plano de preparação e controle de massa cerâmica para o pólo de Russas.....	103
7.CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	106
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	108

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.....	19
Figura 2. Imagem mostrando a espacialização de parte do pólo cerâmico de Russas. A numeração indica as cerâmicas instaladas num raio de 10km da cidade.	22
Figura 3. Mapa Hipsométrico da bacia Hidrográfica do rio Jaguaribe..	24
Figura 4. Localização dos APL de cerâmica vermelha no Brasil com destaque para localização do APL de Russas no baixo Jaguaribe, estado do Ceará.	29
Figura 5: Principais fases operacionais do processo produtivo na indústria cerâmica de Russas.	31
Figura 6. Instalação típica de uma cerâmica no pólo de Russas.	32
Figura 7. (A) área de exploração da matéria-prima; (B) etapa de sazonalidade do material; (C) Fase de preparação e homogeneização da massa e (D) Falta de redução da partícula de calcário provocando defeito na telha.	35
Figura 8. (A) Processo de corte na dimensão final do produto; (B) etapa de carimbo da peça; (C) secagem das peças ao ar livre e (D) queima dos produtos no forno. Observar a lenha estocada no alto do forno.....	38
Figura 9. Divisão tectônica da Província Borborema em domínios estruturais e faixas supracrustais poli e monocíclicas, segundo Jardim de Sá (1994), com localização da Folha Jaguaribe SE.	41
Figura 10. Mapa geológico simplificado da bacia do baixo/médio rio Jaguaribe, Fonte: CPRM (1986).	44
Figura 11. Esboço de um perfil transversal ao vale do rio Jaguaribe.	46
Figura 12. Foto ilustrando o acamamento horizontalizado que forma o depósito aluvial do rio Jaguaribe..	47
Figura 13. Sondagens geológicas esquemáticas correlacionando as unidades litológicas do depósito aluvionar do rio Jaguaribe.	48
Figura 14. Triângulo utilizado na classificação textural das sondagens com base no Survey Staff do Departamento de Agricultura Americana	50
Figura 15. Fluxograma dos métodos utilizados no desenvolvimentos do trabalho....	53
Figura 16. Determinação das áreas das reflexões utilizado nos cálculos da análise semiquantitativa através do Método do Poder Refletor.	56
Figura 17. Exemplo de uma curva de queima onde os corpos-de-prova foram queimados num intervalo de aproximadamente 10 horas com taxa de aquecimento de 10°C/min. e resfriamento por convecção natural.....	58

Figura 18: Esboço do perfil amostrado típico de uma jazida do pólo cerâmico de Russas relacionando a profundidade de amostragem, classe textural, plasticidade e teor de carbono.	63
Figura 19. Relação entre a granulometria, plasticidade e teor de carbono.	64
Figura 20. Distribuição granulométrica das partículas que passaram na peneira ABNT# 230.....	64
Figura 21. Difrátogramas de raios X em perfil das amostras (total): Smr1; Smr4; Smr7 e Smr9, posicionados em ordem de profundidade no perfil. DRX com radiação $\text{CoK}\alpha$ e velocidade $3^\circ(2\theta)/\text{min}$	67
Figura 22. Difrátograma da fração fina da amostra SMR9 na forma natural, tratada com etileno glicol e queimada a 500°C	68
Figura 23. Mapa de localização dos pontos com amostras coletadas.	69
Figura 24. Perfil topográfico mostrando a localização dos barreiros plásticos e não plásticos em função da sua posição no vale fluvial do rio Jaguaribe.	70
Figura 25. Detalhes dos estratos argilosos nos barreiros amostrados.....	71
Figura 26. Histograma resultante da análise granulométrica relacionada à distribuição do tamanho do grão em areia, silte e argila para as amostras plásticas.....	73
Figura 27. Histograma resultante da análise granulométrica relacionada a distribuição do tamanho do grão em areia, silte e argila para as amostras não plásticas.	73
Figura 28. curvas granulométricas das argilas estudadas. Destacados em círculos os agrupamentos identificados.....	74
Figura 29. Difrátogramas das amostras naturais (fração argila $<2\mu$).	76
Figura 30. Difrátogramas das amostras totais.....	77
Figura 31. Fotomicrografia dos minerais identificados caracterizando a diversidade morfo-dimensional dos grãos presentes no depósito aluvionar.....	78
Figura 32. Visualização dos corpos-de-prova prensados secos e queimados	81
Figura 33. Retração linear para as amostras nas diversas temperaturas de queima.....	83
Figura 34. Foto dos corpos-de-prova plásticos e não plásticos evidenciando a retração maior entre as peças queimada à temperatura acima de 1000°C	84
Figura 35. Valores de absorção de água nas diversas temperaturas de queima.	85
Figura 36. Corpos-de-prova queimados à temperatura de 925°C mostrando diferente densificação entre as amostras plásticas e não plásticas.	85
Figura 37. Valores de tensão ruptura à flexão nas temperaturas de queima.	86
Figura 38. Curvas de gresificação mostrando o processo de sinterização dos corpos-de-prova.	87

Figura 39. Comparação dos valores de AA entre corpos-de-prova conformados por prensagem e telhas extrudadas coletadas nas empresas.	89
Figura 40. Modelo gráfico e curvas granulométricas estabelecidos para amostra EZ93	
Figura 41. Modelo gráfico e curvas granulométricas estabelecidos para amostra CT93	
Figura 42. Modelo gráfico e curvas granulométricas estabelecidos para amostra IG93	
Figura 43. Modelo gráfico e curvas granulométricas estabelecidos para amostra CD93	
Figura 44. Gráfico AA x proporção, estabelecido para a amostra CT nas temperaturas de queima de 900°C, 925°C e 950°C.	94
Figura 45. Diagrama das curvas de distribuição granulométrica das misturas experimentais e dos valores teóricos correspondente a AA de 14%.	95
Figura 46. Curva de referência determinada pela média entre as curvas granulométricas das amostras CT, EZ e IG.	96
Figura 47. Curvas granulométricas dos componentes individuais e curvas requerida é obtida determinada pelo algoritmo para IG e EZ.	99
Figura 48. Curvas granulométricas dos componentes individuais, e curvas requerida e obtida. da amostra CT.	100
Figura 49. Curvas granulométricas da amostra CD e respectivas curvas requerida e obtida pelo algoritmo.	100
Figura 50. Gráfico correlacionando os dados experimentais de AA com a proporção plástica e a determinação do ponto médio para a curva requerida de AA=14%. . .	102
Figura 51. Faixa granulométrica formada pelo conjunto das curvas IG, CT e EZ ..	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização tecnológica de amostras. MR: Módulo de Ruptura (Kgf/cm ²); RQ: Retração de Queima (%), AA: Absorção de Água (%).	30
Tabela 2. Análise Granulométrica de amostras coletadas em alguns municípios do Pólo, realizado pelo NUTEC de 1997 a 2000.	31
Tabela 3. Composição granulométrica, classificação textural, plasticidade e profundidade média de uma sondagem a trado realizada na área de estudo.	49
Tabela 4. Denominações de referência das amostras coletadas.	52
Tabela 5. Critério de definição do caráter argiloso da matéria-prima de acordo com o índice de plasticidade.	55
Tabela 6. Poderes refletivos usadas na semi-quantificação de difratogramas (amostra total e fração argila). Fonte: COROADO (2000).	57
Tabela 7. Análises químicas por FRX de algumas amostras estudadas. P.F: perda ao fogo.	66
Tabela 8. Relação entre os óxidos das amostras.	66
Tabela 9. Valores percentuais dos tamanhos das partículas em areia, silte e argila.	72
Tabela 10. Resultados do ensaio de plasticidade.	75
Tabela 11. Resultados composicionais da análise semi-quantitativa das amostras CD e CT plástica (p) e não plástica (np).	76
Tabela 12. Teores químicos dos elementos maiores na forma de óxidos encontrados nas amostras CD(np e P) e CT (np e p).	80
Tabela 13. Teor de carbono orgânico (C.O) nas amostras	81
Tabela 14. Valores das variáveis físicas analisadas nos corpos-de-prova nas diversas temperaturas de queima e quando secos.	82
Tabela 15. Comparação dos valores de AA e TRF em corpos de prova queimados na temperatura de 925°C conforme a norma NBR 15.310 (ABNT, 2005).	89
Tabela 16. Proporções das misturas com respectivos valores de AA (teórica e experimental) e desvio padrão utilizados para construção dos gráficos.	90
Tabela 17. Valores das proporções, experimental e teórica, para AA requerida de 14%.	92
Tabela 18. Índices de AA nas proporções estabelecidas para a amostra CT nas temperaturas de 900°C, 925°C e 950°C.	94
Tabela 19. Proporção das partículas relacionada a curva padrão obtida	96

Tabela 20. Planilha para obtenção da proporção e reprodução da curva granulométrica ótima para mistura dos componentes individuais da amostra IG.98

Tabela 21. Planilha para obtenção da proporção e reprodução da curva granulométrica ótima para mistura dos componentes individuais da amostra EZ98

Tabela 22. Planilha para obtenção da proporção e reprodução da curva granulométrica ótima para mistura dos componentes individuais da amostra CT99

Tabela 23. Proporção dos componentes gerada pelo algoritmo e valores de absorção de água determinadas experimentalmente para as amostras IG, EZ e CT.101

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

1.1. Introdução

A cerâmica estrutural constitui-se em um ramo industrial tradicional no estado do Ceará. A produção cerâmica, na sua grande maioria, é realizada por grupos de micro, pequenos e médios empresários e tem grande importância socioeconômica num estado com grande êxodo rural, devido, principalmente, à carência de empregos, sendo que esta atividade, utilizando mão-de-obra local, gera emprego e renda para o município na qual se localiza.

A indústria extrativista no pólo cerâmico de Russas, no estado do Ceará é considerada incipiente dado seu potencial, apesar da abundância dos bens minerais, principalmente argila. Sendo a matéria-prima explorada aleatoriamente, sem um planejamento de lavra, gera desperdícios dos recursos naturais, perdas no sistema produtivo e incertezas, quanto ao sucesso da indústria cerâmica regional

Pesquisas geológicas dos depósitos argilosos tem sido realizadas na região, mas poucos estudos são direcionados à quantificação e qualificação das argilas utilizadas pelo Pólo. Esse desconhecimento acarreta uma série de problemas quanto ao aproveitamento eficiente dessas matérias-primas, à garantia de produtos de qualidade e entraves no desenvolvimento de novos produtos, sofrendo constantes ameaças de competitividade externa, além dos aspectos ambientais.

O trabalho quase artesanal é frequentemente familiar e a tendência de produção de material rústico não impediu que algumas empresas instaladas no Pólo buscassem alternativas de otimização dos processos produtivos através da implantação de programas de controle de qualidade e de equipamentos modernos. Apesar desses constantes avanços tecnológicos percebe-se altos índices de perdas no processo produtivo e um grande número de peças fora da normatização. A grande variação dimensional dos produtos, relacionados à falta de padronização, dificulta o controle da produção devido à descontinuidade na linha de fabricação das peças e gera grande insatisfação dos consumidores.

Estas dificuldades estão relacionadas, principalmente, à falta de capacitação profissional, ausência de planejamento e controle da produção que poderiam ser

solucionados se todos os envolvidos na cadeia produtiva trabalhassem em conjunto e em prol de objetivos comuns.

A criação, a partir de 2004, da Rede APL (Arranjo Produtivo Local) de Cerâmica Vermelha de Russas, vem gerando a organização do setor, mesmo que ainda pequena, e fortalecendo, ainda mais, a busca de melhorias e desentrelaçamentos de problemas de gestão tecnológica e empresarial.

O APL deve estabelecer como prioridade as atividades de mineração, incentivando a regularização mineral x ambiental, extração de argila em conjunto e assessoria técnica coletiva.

A importância dos componentes históricos, econômicos, sociais e políticos do setor cerâmico na economia e no desenvolvimento da região, é fruto das transformações que se tem vivenciado nos últimos anos, reflexo de uma mudança em curso do querer “mudar” o quadro e tornar viável um segmento industrial desta envergadura justificando o desenvolvimento deste trabalho.

Neste contexto, a pesquisa tem como foco estudar a utilização de um controle na preparação de misturas de argilas aluvionares do pólo de Russas, contribuindo assim, na busca de melhorias nesta etapa da produção, geralmente não contemplada nos programas brasileiros de qualidade, e que, se não bem executada, pode ser responsável pelo difícil controle de uniformidade dos produtos acabados.

1.2. Objetivos

Partindo da premissa de que o conhecimento das matérias-primas é necessário para melhorar a qualidade dos produtos cerâmicos propõe-se verificar a possibilidade de implementar mecanismos de controle de qualidade e de uso da matéria-prima do pólo cerâmico de Russas situado no estado do Ceará.

Os objetivos específicos são:

Caracterizar química, mineralógica e fisicamente as amostras de matéria-prima coletadas em oito diferentes minas de argila utilizadas no pólo cerâmico por quatro empresas;

Estudar o comportamento cerâmico desses materiais em diferentes temperaturas de queima, a fim de entender os mecanismos de sinterização;

Otimizar as proporções de argila “gorda” e “magra”, utilizadas na preparação da massa, aplicando técnicas de experimentos de misturas;

Avaliar a propriedade de absorção de água dos corpos-de-prova moldados a partir das formulações desenvolvidas;

Estimar uma composição e respectiva distribuição granulométrica adequada à obtenção de uma massa cerâmica homogênea.

2. CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO

2.1. Localização da área

O pólo cerâmico de Russas, área de estudo, está localizado na porção leste do estado do Ceará (Figura 1), e inserido na sub-bacia hidrográfica do rio Jaguaribe. Compreende parte da região geográfica do baixo curso do rio no município de Russas. Perfaz, aproximadamente, uma superfície de 100 km², limitando-se com os municípios de Quixeré, Limoeiro do Norte, Morada Nova, Palhano, Jaguaruana e Beberibe.

Em 2007, a cidade de Russas, município com maior concentração de cerâmicas, contava com 63.975 habitantes, 234 indústrias de transformação e 4.435 pessoas ocupadas (IBGE, 2007), contemplando produtos de minerais metálicos, metalurgia, madeira, papel e papelão, vestuário, calçados, tecidos, artefatos de couro e produtos alimentares.

O acesso rodoviário principal à área de estudo é realizado por meio da BR 116, que partindo de Fortaleza, capital do estado, em direção sudeste, num total de 180 km, chega-se à sede do município. Outra opção é partir de Mossoró, no vizinho estado do Rio Grande do Norte, pela CE-036 (estrada do Melão) até a cidade de Russas, perfazendo cerca de 150 km (limite norte da área de pesquisa). Para se chegar ao limite sul, segue na BR 116 até o km 178, com entrada na CE-021 e após 10 km, chega-se ao distrito de Flores, principal produtor cerâmico do município.

As diversas indústrias estão interligadas por estradas carroçáveis, transitáveis durante a maior parte do ano, mas intransitável durante o período de chuvas, provocando uma paralização na exploração da matéria-prima, secagem das peças cruas e na comercialização dos produtos.

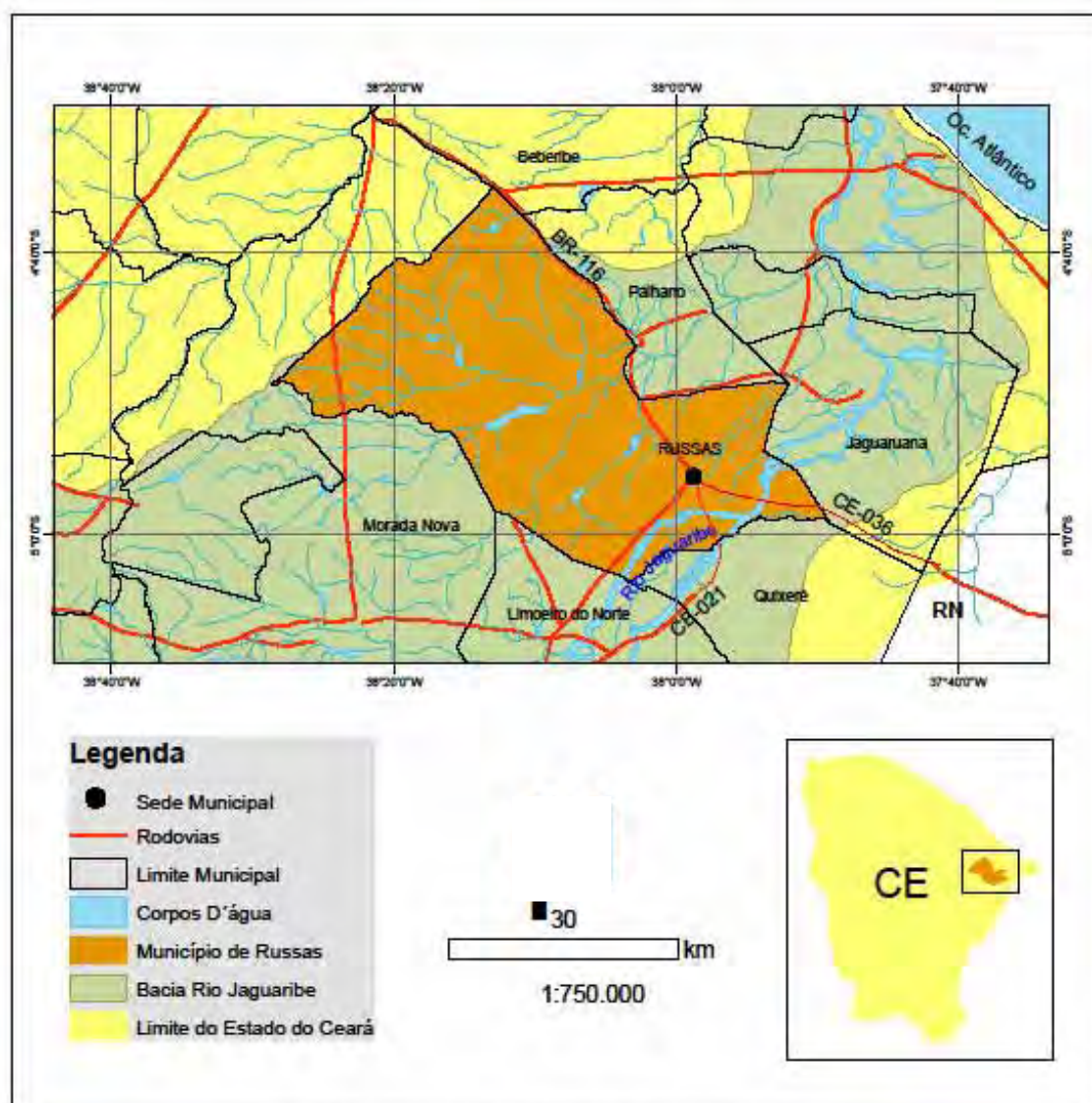


Figura 1. Mapa de Localização da área de estudo.

2.2. Aspectos socioeconômicos

A principal atividade econômica da região é a agricultura, ora com hortifruticultura irrigada para atender mercado externo, ora com culturas de subsistência de feijão, milho, mandioca, monocultura de algodão, banana, cana-de-açúcar e castanha de caju. Na pecuária extensiva destaca-se a criação de bovinos, ovinos, caprinos, suínos e aves.

O extrativismo vegetal se sobressai com extração de madeiras diversas para lenha, construção de cercas e fabricação de carvão vegetal, além do desenvolvimento de atividades envolvendo emprego de materiais obtidos da carnaúba e oiticica.

A mineração se destaca como uma importante atividade comercial por meio da extração de argila para fabricação de produtos cerâmicos como telhas e tijolos, além de dispor de pequenas reservas de calcário utilizado na fabricação de cal e áreas favoráveis à extração de rochas ornamentais.

A indústria cerâmica é uma atividade relevante para o desenvolvimento socioeconômico, pois é a principal fonte geradora de renda para a grande maioria da população rural de baixo nível escolar, além de constituir uma importante fonte de receita tributária municipal.

O município de Russas apresenta o maior número de cerâmicas do Estado, e detém 78% da produção de telhas, cujo nível de utilização da capacidade instalada das organizações do setor é, em média, 60%. Do produto interno bruto do município que girava em torno de R\$ 300 milhões em 2007, 20% se referia ao valor adicionado pela indústria e teve representado aproximadamente 0,6% do PIB cearense. Além dos empregos industriais, a população economicamente ativa depende de empregos gerados no setor de serviços, na prefeitura e, em sua grande maioria, na agricultura.

A existência de um grande número de empresas produtoras, neste município, permite caracterizá-lo como um potencial arranjo produtivo local (APL) de cerâmica vermelha. Parte do APL pode ser visualizado na figura 2 que mostra a espacialização de cerca de 50 indústrias instaladas no Pólo e sua posição geográfica em relação à cidade de Russas e ao rio Jaguaribe (BRASIL, 2008).

Em Russas há uma uniformidade no tamanho das empresas de cerâmica vermelha. Em uma amostragem simples de 50 empresas, observa-se que 42 (84%) (faixa de 20 a 99 empregados) caracterizam-se como pequenas empresas e 08 microempresas (16%). Ressalte-se que nessas 50 unidades pesquisadas, 49 tinham até 40 empregados e 1 unidade empregava 60 pessoas. Expandindo esses números para o universo de 88 empresas, aproximadamente o número de empresas existentes no município que atuam no setor, 14 são microempresas e 74 são pequenas empresas (BRASIL, 2008).

2.3 Aspectos fisiográficos

De acordo com Gatto et al. (1999), a bacia hidrográfica do rio Jaguaribe (Figura 3), está situada em sua quase totalidade dentro dos limites do estado do Ceará, com pequena parcela estendendo-se ao sul para o estado de Pernambuco. Ocupa cerca de 50% da área total do estado, com uma área total da bacia de aproximadamente 75.669 Km², tendo uma extensão com cerca de 610 Km, desde as nascentes, à sudoeste, até o litoral, à nordeste. Ocupa cerca de 51,9% da área total do estado, balizando-se entre as coordenadas de 4º30' e 7º45' de latitude sul e 37º 30' e 41º00 de longitude oeste.

As cabeceiras de suas sub-bacias servem de limite entre o estado do Ceará e os estados do Piauí, Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. Sua foz limita as cidades de Fortim e Aracati, e estando Russas a uma distância de 50 Km à montante deste ponto.

A distribuição climática indica quatro tipos diferentes: úmido, sub-úmido a semi-árido e semi-árido a árido, sendo que 60% da bacia é abrangida pelo clima semi-árido. O clima semi-árido apresenta uma pluviosidade média anual de 700 mm a 800 mm, e temperatura média anual entre 26°C e 27°C, com oito a nove meses de déficit.

O período crítico e com maior deficiência hídrica ocorre entre os meses de julho a novembro, com pequenas variações, para uma área onde as pluviosidades máximas e mínimas anuais estão entre 1.270 mm e 470 mm.

As formas de relevo mais comuns na área são dissecados com diversos níveis de aprofundamento, predominando aqueles com topos convexizados e aguçados e com encostas retilíneas a convexas, além de cristas de grandes dimensões,

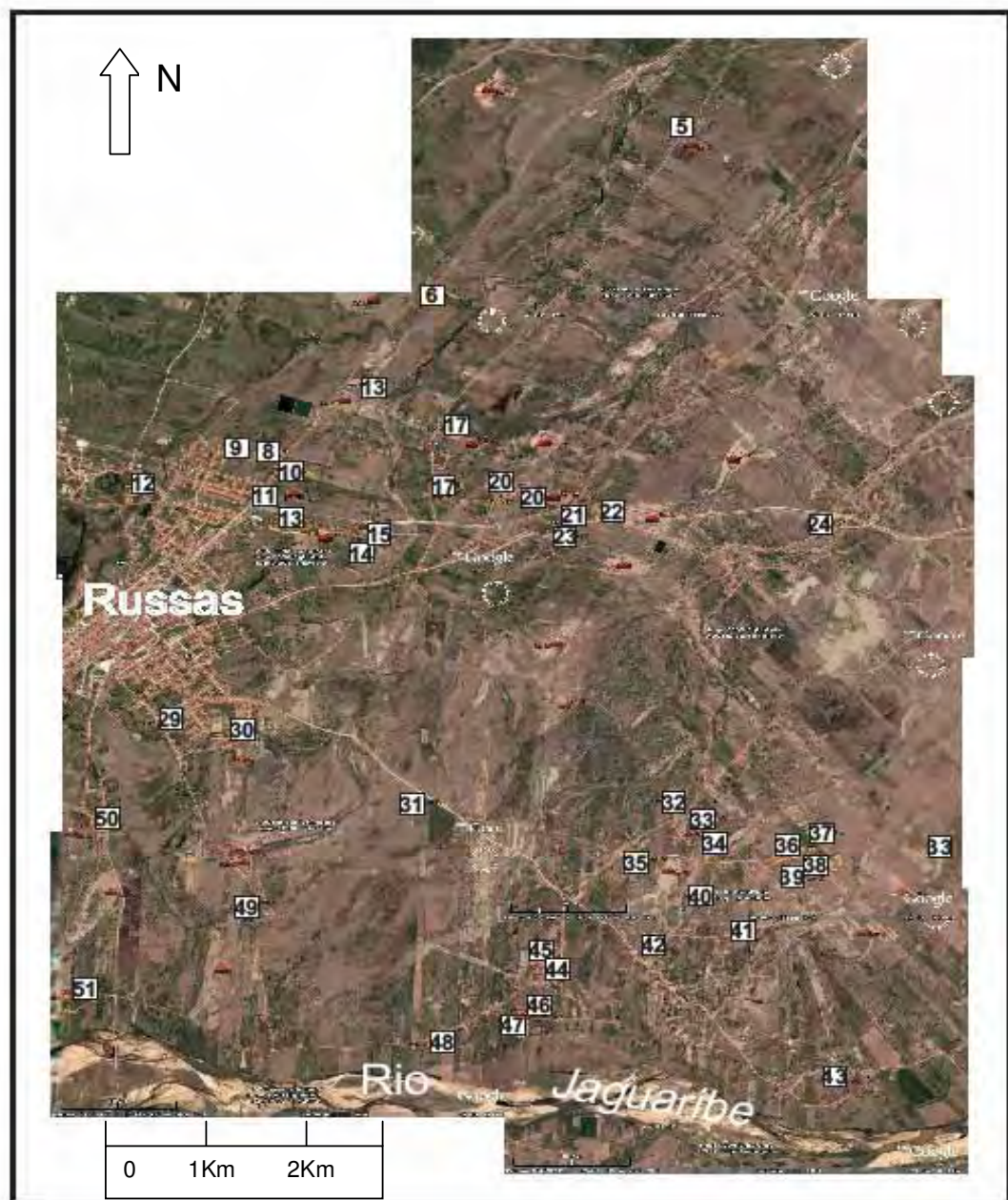


Figura 2. Imagem mostrando a espacialização de parte do pólo cerâmico de Russas. A numeração indica as cerâmicas instaladas num raio de 10 km da cidade em relação ao rio Jaguaribe.

que normalmente balizam os dissecados. Áreas planas ocorrem em toda a bacia, porém isoladas entre si, como a Planície do Jaguaribe, os Tabuleiros do Baixo Jaguaribe, os Tabuleiros Costeiros e a Chapada do Apodi.

Os solos são geralmente pouco profundos, pedregosos, com fertilidade média a alta. As principais ocorrências são de Podzólicos Vermelho-Amarelo eutróficos, Solos Litólicos eutróficos, Planossolos Solódicos e Bruno Não Cálcicos (Gatto et al. 2000).

A bacia do rio Jaguaribe possui baixa perspectiva em reserva de águas subterrâneas, pois a quase totalidade de sua área situa-se em rochas cristalinas de baixo potencial hídrico. A exceção são os aquíferos da Chapada do Araripe, Apodi e Aluviões.

A rede de drenagem possui um nítido controle estrutural, com cursos retilinizados, mudanças de cursos marcantes, devido à influência de fraturamentos e falhamentos.

Dada a extensão da Bacia se percebe variáveis litológicas, morfológicas, vegetacionais e pedológicas ao longo desta.

A configuração da bacia apresenta irregularidade na forma, com aproximadamente 80 km de largura no baixo curso diminuindo para 40 km nas proximidades da foz (SOUZA, OLIVEIRA E GRANGEIRO, 2002). Esta largura é distinta em tamanho quando se mede o depósito aluvial. No alto curso a faixa aluvial é inexistente e, no baixo Jaguaribe encontra-se até 10 km de largura nas proximidades de Limoeiro do Norte e Russas.

Os principais afluentes da margem esquerda do rio Jaguaribe são: Palhano, Quixeré, Banabuiú e Quixeramobim; os da margem direita, típicos tributários de pequena e média extensão: os riachos Tapuiu, do Recreio, Figueiredo e Salgados como os mais importantes. Estes afluentes contribuem sobremaneira na deposição dos sedimentos para a formação da planície fluvial, e consequentemente na formação das argilas de utilização cerâmica.

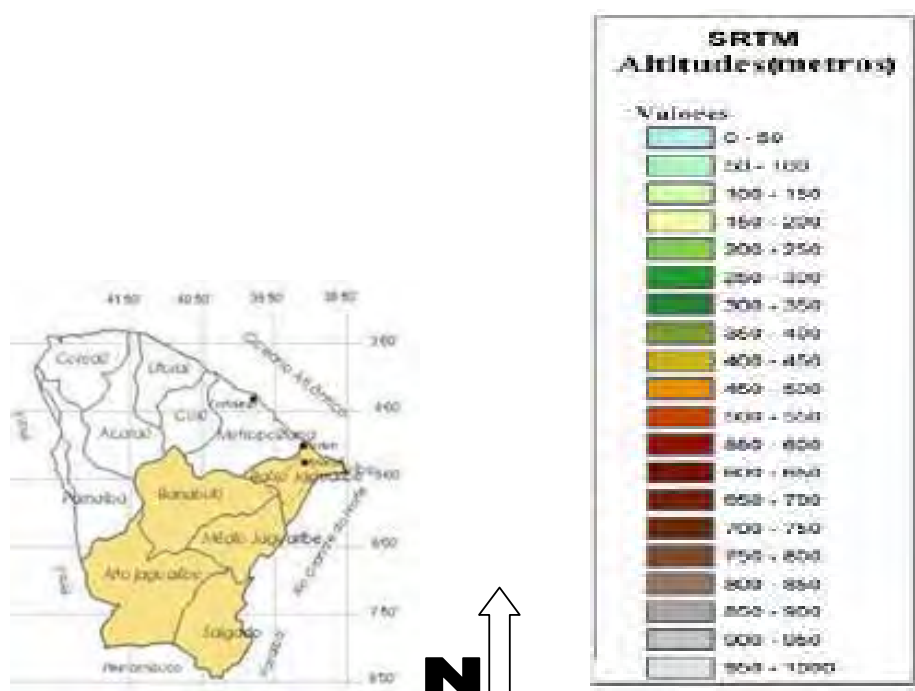
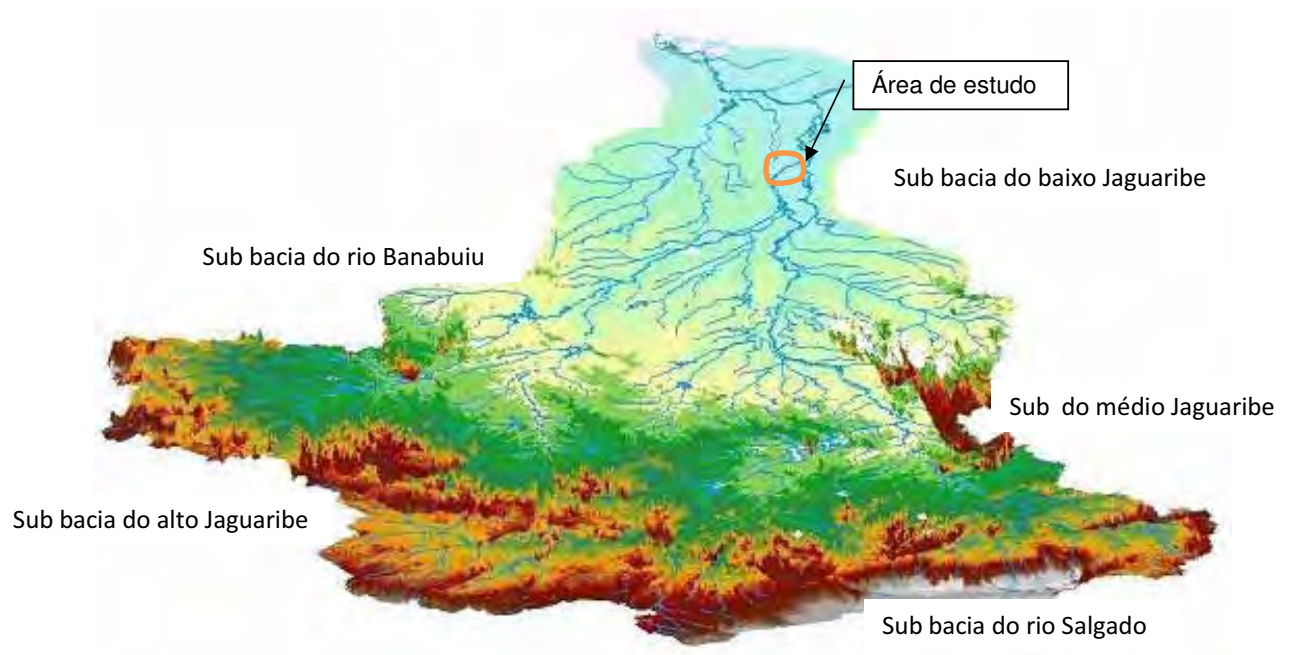


Figura 3. Mapa Hipsométrico da bacia hidrográfica do rio Jaguaribe. Fonte: Maia (2005).

3. ENQUADRAMENTO TEMÁTICO

3.1. Sistema organizacional do pólo cerâmico

O desenvolvimento industrial do setor cerâmico brasileiro deu-se a partir do começo do século XX, acompanhando as transformações socioeconômicas vivenciadas pelo país, com a intensificação do crescimento urbano e o início do processo de industrialização. A demanda crescente de habitações e obras de infraestrutura mudou o padrão construtivo do período colonial, forçando a substituição da madeira por tijolos e telhas nas edificações, tanto por razões sanitárias como pela própria escassez dessa matéria-prima (CABRAL JR. et al., 2006).

A indústria cerâmica brasileira, no ano de 2002, teve participação de 1% do PIB nacional, sendo que 40% desta participação era representada pelo setor de cerâmica vermelha estrutural, (GESICKI, BOGGIANI, SALVETI, 2002), estes valores deverão ser maiores se levado em conta as empresas informais. Observa-se, ainda hoje, que a indústria de cerâmica vermelha possui uma produção que não se diferencia muito nas diversas áreas produtoras brasileiras. Isto pode ser percebido nos diagnósticos industriais setoriais publicados em trabalhos nos eventos brasileiros de cerâmica descritos resumidamente a seguir:

“A realidade da maioria das indústrias do setor cerâmico do estado do Piauí está relacionada com um baixo nível tecnológico, acarretando em perda significativa de produção e qualidade; mão-de-obra não qualificada e com baixo nível de escolaridade; degradação do meio ambiente causada pelo alto consumo de energia vegetal, lavra de jazidas de várzea e descarte de resíduos industriais; esgotamento de áreas para exploração legalizadas e falta de planejamento sustentável a longo prazo.” (SOARES, NASCIMENTO, 2007).

“A produção cerâmica em Socorro, estado de São Paulo, advém de cerca de 70 microempresas – olarias com conformação manual das peças e pequenas cerâmicas com equipamentos rudimentares de conformação, especializadas na produção de tijolos maciços comuns. De maneira geral, as atividades carecem de aporte técnico em todas as etapas de produção, como a falta de conhecimento dos depósitos, ausência de planejamento, de técnicas e de preparação da matéria prima e deficiência de equipamentos e de tecnologia em todas as etapas do processamento cerâmico.” (CABRAL JR. et al., 2006).

“A produção da indústria de cerâmica vermelha sul-matogrossense encontra-se restrita, ainda, à fabricação de produtos estruturais (tijolos e telhas), porém é insuficiente para suprir seu mercado interno e tem dificuldade em concorrer em qualidade e preço com os produtos provenientes de fora do estado. Esta situação decorre da ausência de modernização das indústrias e de investimentos em tecnologia, o que dificulta a introdução de produtos e processos produtivos competitivos.” (GESICKI, BOGGIANI, SALVETI, 2002).

“Um levantamento sócioeconômico patrimonial em olarias nos municípios de Iranduba e Manacapuru – Amazonas mostrou uma perda de produtos queimados entre 3% e 5% da produção, dentro da média nacional, levando a um desperdício de material cerâmico de 9600 t/ano.” (SEYE et al., 2003)

“Um panorama sócioeconômico das indústrias de cerâmica vermelha da região central do Rio Grande do Sul mostra que a grande maioria das indústrias são de pequeno porte, com estrutura familiar, pequeno volume de produção, equipamentos obsoletos e mão de obra pouco qualificada, operando com baixo conhecimento técnico, precários controles do processo produtivo e tecnológico dos produtos” (SOARES, TOMAZETTI, TAVARES, PINHEIRO, 2004).

Nota-se que se trata de uma atividade de longo tempo, disseminada em todo o país e com uma estrutura empresarial diversificada, muitas vezes do tipo artesanal de pequeno e médio porte, e deficiências de mecanização e gestão, mas que devido ao apelo econômico e ambiental, têm sido implementado esforços, principalmente, pelo setor empresarial, no sentido de aprimorar suas empresas tecnologicamente e ampliar sua competitividade no mercado interno e exteno.

Os parâmetros socioeconômicos que envolvem a atividade cerâmica brasileira, pelos níveis de produção já alcançados a credenciam como estratégica para um desenvolvimento regional, nos estados onde haja uma estrutura organizacional já consolidada ou em fase de organização. Aliada a esta organização, a demanda crescente do consumo dos produtos de cerâmica vermelha, a vasta disponibilidade de materiais de qualidade e as facilidades de extração, justificam investimentos para estabelecer nestas regiões, os chamados “pólos cerâmicos”.

Estes pólos regionais de base mineral estão proporcionando um reconhecimento da relevância de empresas de pequeno porte, principalmente por sua capacidade de gerar empregos e mobilizar o desenvolvimento regional, contribuindo para melhorar a distribuição de renda e compensar desequilíbrios

sociais. Também, eleva-se sua capacidade de gerar e incorporar inovações, atuar nas áreas de tecnologias de ponta, assim como superar os desafios de adequação da produção à legislação ambiental, reduzindo os custos econômicos e ambientais.

Esta tendência nacional, de repensar a contribuição que as micro e pequenas empresas podem dar ao desenvolvimento econômico, social e regional do país, aponta para implementação de novas políticas, formas e instrumentos de promoção destas empresas.

Em algumas regiões, como no baixo Jaguaribe, já se detecta mudanças estruturais significativas por meio do associativismo dos parceiros, com a implementação de cadeias produtivas de grande relevância.

3.1.1. Arranjo Produtivo Local (APL) cerâmico em Russas

A indústria cerâmica cearense, apesar de um grande período de estagnação, encontra-se em expansão, mas atua, ainda, de forma rudimentar, sem utilizar os métodos corretos para o efetivo crescimento do setor.

No Ceará, o setor de cerâmica estrutural ou de construção possui um total de 494 empresas presentes em 113 municípios, gerando quase 8 mil empregos diretos e 30 mil indiretos. Segundo o presidente do Sindicato das Indústrias Cerâmicas do Estado do Ceará (Sindcerâmica-Ceará), desse total de indústrias, 48,9% são constituídas de microempresas e 49,3% de pequenas. Os dados têm base na pesquisa realizada no ano de 2002 pelo Instituto Euvaldo Lodi do Ceará (IEL/CE), em parceria com o Serviço Brasileiro de Apoio às Micros e Pequenas Empresas (Sebrae/CE) e o Sindcerâmica-Ceará (SINDCERÂMICA, 2002)

No período da pesquisa, das 494 empresas instaladas no Estado, 324 estavam ativas e 170 não estavam operando. A produção mensal das indústrias totalizava 110.118,8 milhões peças/mês, sendo telhas, o produto mais fabricado, somando 51.546,9 milhões pelas/mês. Os municípios que registravam a maior concentração de fábricas do setor eram Russas (86 empresas); Caucaia (17); Limoeiro do Norte (12) e Aquiraz e Crato com dez cada, sendo somente caucaia e Aquiraz situadas próximas à capital do estado, Fortaleza.

Esta concentração de empresas na região de Russas, que compreende os municípios de Limoeiro do Norte, Jaguaruana, Alto Santo, Quixeré, Aracati e Russas, possibilitou a implantação de um APL, que segundo Albali e Brito (2003) são aglomerações territoriais de agentes econômicos, políticos e sociais, com foco em um conjunto específico de atividades econômicas e que apresentam vínculos e interdependência. Geralmente, envolvem a participação e a interação de empresas e suas variadas formas de representação e associação, possibilitando inovações de produtos, processos e formatos organizacionais, gerando maior competitividade empresarial e capacitação social.

O APL cerâmico teve início de suas atividades econômicas por volta de 2004, por iniciativa de alguns empresários ceramistas e instituições de apoio. O principal fator para a concentração de indústrias de cerâmica nessa região se dá devido à abundância da matéria-prima que é a argila de várzea. O setor de construção civil é o principal receptor dos produtos comercializados. As indústrias foram agrupando-se levando em consideração a posição geográfica, infraestrutura já implantada para escoamento da produção e geologia das matérias-primas empregadas, além do baixo custo de investimento, inicialmente, necessário.

O município de Russas lidera a fabricação de telhas sendo sua produção de 37 milhões de peças/mês (telhas e blocos), o que representa 34% do que é produzido no Estado. A capacidade instalada está entre 40% a 60% e os principais clientes são o próprio Estado (55% das vendas), Bahia, Pernambuco, Sergipe, Pará, Piauí e Maranhão. No total são gerados, aproximadamente, 2.200 empregos diretos com a atividade no município (FIEC, 2008).

A cerâmica vermelha está estampada na arquitetura da cidade de Russas, principalmente nas fachadas dos prédios e das casas, mas também, nas paisagens, urbana e rural, através de inúmeras chaminés espalhadas no município.

O pólo cerâmico de Russas (Figura 4) tem idade estimada em 30 anos, desde a chegada da extrusora (equipamento de conformação das peças) e sua posterior produção artesanal na região, que os produtores iniciaram a atividade e puderam construir diversas olarias a custos baixos e produtos em quantidade competitiva no mercado. Esse grande número de empresas produtoras no município permitiu caracterizá-lo como potencial arranjo produtivo.

A importância desse arranjo se dá, de maneira especial, pela vocação natural da região e pelos números que representa. São aproximadamente cinco mil

empregos, entre diretos e indiretos, na cadeia produtiva, incorporando essencialmente as fábricas, fornecedores de matérias-primas e transportadores.

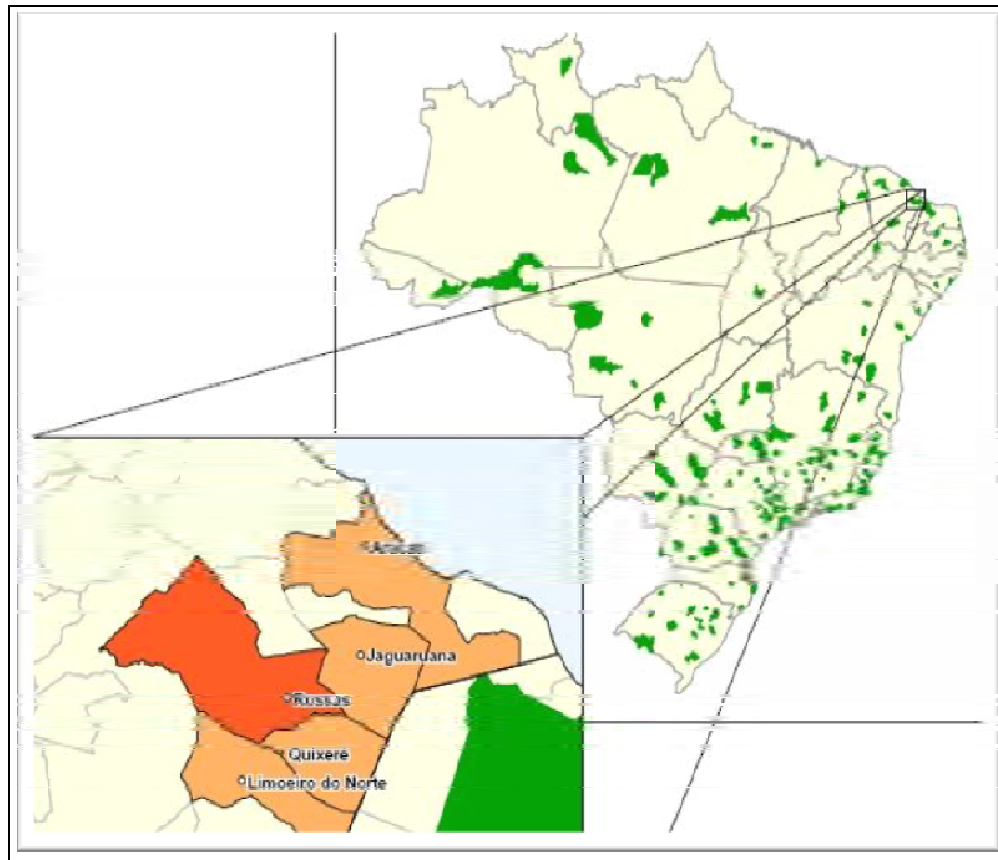


Figura 4. Localização dos APL's de cerâmica vermelha no Brasil com destaque para localização do APL de Russas no baixo Jaguaribe, estado do Ceará. Fonte: Cabral Jr. et al., (2005).

Na análise dos processos produtivos (MEDEIROS, PARAHYBA, 2003), constata-se uma perda de 30% da matéria-prima na extrusão e de 20% do produto fabricado, bem como a falta de padronização no tamanho e formato das peças produzidas, o que resulta em produtos de baixa competitividade no mercado. Soma-se ainda as perdas de 5 a 10% resultantes do transporte indevido do produto ao centro consumidor.

Além da indústria cerâmica ser responsável pela produção, é também pela lavra da matéria-prima. Por atuar num setor que requer conhecimentos específicos e não dominados, as indústrias não possuem planejamento adequado de exploração das minas, acarretando significativos danos ambientais e falta de controle das

características físicas e geológicas dos materiais extraídos e das misturas necessárias à fabricação.

Entre as dificuldades apontadas pelos empresários do setor para a condução dos negócios, estão a carga tributária elevada, a falta de capital e a forte concorrência. O percentual médio de instrução da mão-de-obra do setor é de 73% com primário incompleto e 30,8% de analfabetos (FIEC, 2008).

Atualmente, percebe-se uma grande concorrência entre os produtores mostrando a fraca interrelação da cadeia produtiva. Mesmo assim, alguns produtores já se organizaram por meio da Associação dos Fabricantes de Telhas de Russas - Asterussas e vêem que as ações desenvolvidas, seguramente tem dado respostas mais ágeis e objetivas quando se trata do desenvolvimento das indústrias e da região na qual se inserem.

Os principais desafios são a adequação da produção à legislação ambiental e a necessidade de constante inovação tecnológica com desenvolvimento de novos produtos, passos necessários para a “tão sonhada” conquista de mercados externos.

3.1.2. Caracterização tecnológica de amostras utilizadas em cerâmicas estruturais por alguns municípios do pólo

Verifica-se nas tabelas 1 e 2, os resultados dos estudos de caracterização tecnológica de amostras argilosas, utilizadas em cerâmica estrutural em alguns municípios do pólo. Estes resultados fazem parte do relatório de ensaio da Divisão Tecnológica Mineral realizado no período de 1997 a 2000 (NUTEC, 2000).

Tabela 1. Caracterização tecnológica de amostras. MR=módulo de ruptura (Kgf/cm²); RQ= retração de queima (%), AA=absorção de água (%).

Temperaturas	Queima a 900°C			Queima a 1100°C		
Cidades	MR	RQ	AA	MR	RQ	AA
Russas	89,68	1,69	11,35	215,75	2,07	8,93
Aracati	75,72	0,27	9,87	125,91	2,50	5,55
Jaguaruana	54,30	1,19	11,51	124,81	4,83	5,31
Morada Nova	63,25	3,20	13,62	100,42	4,57	8,24
Limoeiro do Norte	188,02	4,16	8,85	214,30	4,51	5,55

Tabela 2. Análise granulométrica realizada pelo NUTEC de 1997 a 2000 em amostras coletadas nos municípios do Pólo,.

Peneira e malha (mm)	Peso do material retido na peneira (%)			
	Aracati	Russas	Morada Nova	Limoeiro Norte
65 – 0,210mm	1,15	0,70	13,20	0,80
100 – 0,149mm	0,88	1,00	2,30	4,00
200 – 0,074mm	11,38	3,90	3,90	12,30
325 – 0,044mm	9,35	6,60	1,40	9,20
< 325	77,24	87,80	79,20	73,70

3.2. Sistema produtivo cerâmico

Aborda-se nesta seção os aspectos relevantes sobre o sistema produtivo cerâmico (Figura 5), aplicado no pólo de Russas. São focados a exploração das matérias-primas, a dosagem e mistura dos componentes, a conformação, secagem e queima dos materiais fabricados.

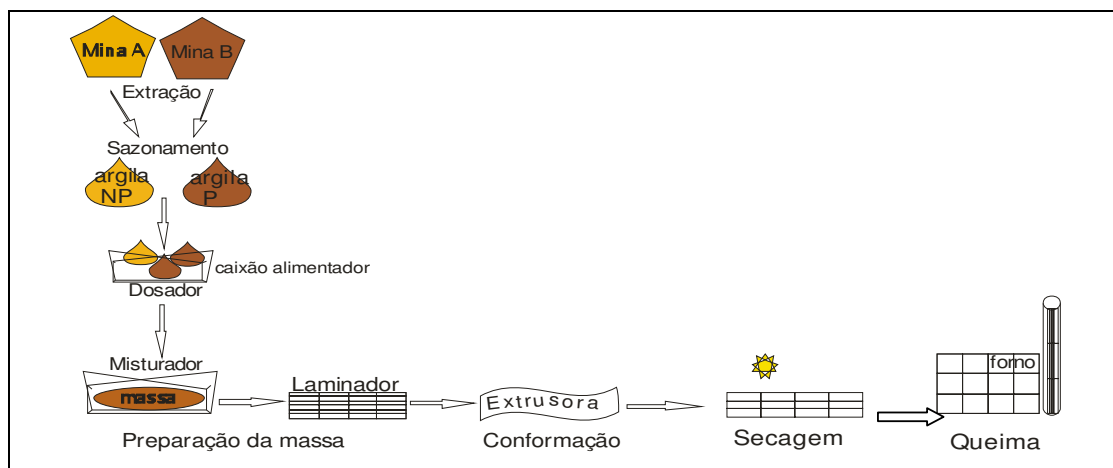


Figura 5: Principais fases operacionais do processo produtivo na indústria cerâmica de Russas.

3.2.1. Matéria-Prima

Sendo a indústria cerâmica dependente 100% de matérias-primas minerais, a instalação das suas empresas (Figura 6) está situada, na sua maioria, junto ou próximo as minas, não excedendo 10 km de distância.

Os materiais são explorados de depósitos aluviais em terraços fluviais e caracterizados texturalmente com base na sua distribuição granulométrica, tendo comportamento deposicional heterogêneo, na forma de camadas e lentes horizontalizadas ou sub-horizontalizadas.

As matérias-primas são constituídas de argilas com comportamento plástico diferenciados e podem conter alguns constituintes (impurezas) como carbonatos, óxidos e matéria orgânica que causam defeitos de caráter pontual nas peças produzidas.



Figura 6. Instalação típica de uma cerâmica no pólo de Russas.

Mesmo sendo de importância primordial, ainda é evidente o desconhecimento sobre a geologia dos depósitos e dos materiais extraídos. Poucos trabalhos,

principalmente a partir dos anos 80, tais como: Veríssimo et al. (1986) e Medeiros, Parahyba (2003) que serão descritos no capítulo 4, relatam estudos sobre as propriedades das argilas.

3.2.2. Extração da matéria-prima

As empresas visitadas, normalmente, possuem áreas próprias de extração da matéria-prima e outras a adquirem de terceiros. Normalmente são terrenos sub-utilizados por seus proprietários que receberam a gleba, sem grande valor venal, por herança, e comercializam a argila por carrada, aproximadamente 10m³.

Após a definição da área de exploração, inicia-se a abertura da mina com a remoção de níveis superiores do solo, ricos em matéria orgânica e raízes ou mesmo contaminantes que afetam a atividade e a qualidade do material extraído.

A extração da argila é realizada com o emprego de pás-carregadeiras ou 'enchadeiras' que retiram o material da mina e o coloca no caminhão-caçamba para ser, então, levado ao pátio da indústria.

A exploração se processa a céu aberto (Figura 7A) em faixas de larguras estreitas e de grandes extensões com profundidade de aproximadamente 5,0m. Estas estreitas faixas explotadas resultam, muitas vezes, de terrenos comprados de propriedades herdadas e que possuem esta configuração, não se encontrando grandes áreas para aquisição.

O desconhecimento sobre a geologia dos depósitos se reflete, também, nas operações de extração. O que se observa é que a extração do bem mineral ocorre, somente, no sentido horizontal, restringindo-se à camada superior do depósito, aproximadamente 5,0 m, sendo que, muitas vezes a escassez de material motiva a paralização do barreiro.

Em virtude da ausência de controle no planejamento e acompanhamento da lavra, tem-se a necessidade de abertura de novas minas devido à pequena quantidade e o aproveitamento ineficiente da matéria-prima disponível e o abandono precoce da mina. O abandono das minas, deixadas pelas camadas exauridas, tem como consequência a degradação do solo e constitui atitudes danosas ao patrimônio

mineral e ao meio ambiente, pois são desmatadas mais áreas do que realmente são necessárias.

3.2.3 Preparação da massa

Após a extração das matérias-primas e a disposição em áreas da unidade fabril tem-se, então, a preparação da massa, que constitui a fase inicial do processo cerâmico e tem por objetivo promover a mistura de argilas desejada. É nesta fase que se procede a formação da massa cerâmica e sua adequação à conformação, integrando etapas de dosagem, mistura e moagem (FANCICANI, 2002).

A estocagem desse material é a céu aberto ou, dependendo do espaço da indústria, em galpões cobertos por lonas plásticas (Figura 7B), numa etapa conhecida como sazramento. No processo de sazramento as argilas ficam em descanso por um período de 6 meses a 1 ano, dependendo da operacionalidade da indústria.

Para se chegar ao ponto de conformação, as indústrias desenvolvem uma massa ajustando e misturando um componente de granulometria fina (material plástico ou gordo) com outro de granulometria mais grossa (material menos plástico ou magro), realizando manualmente a quebra dos torrões e a pré-umidificação.

A seleção e a dosagem dos componentes seguem a prática visual e tátil de acordo com a experiência dos ceramistas. Normalmente, a dosagem é realizada por meio de uma pá-carregadeira na proporção de 2:1 ou 3:1, sendo a maior parte do componente plástico, variando conforme o tipo de argila utilizada. Esta prática tradicional e empírica implica em produtos mal padronizados e com grandes perdas de peças. Muitas vezes, o próprio operador da pá-carregadeira identifica se a argila é boa ou ruim e ainda faz o traço da massa (Figura 7C).

Uma ou outra empresa realiza o controle da dosagem, através da análise granulométrica, determinando a quantidade do resíduo retido em peneira de malha 325 mesh na intenção de diferenciar os componentes magros dos gordos e auxiliar na formação da massa. Para estas empresas, uma boa massa para telhas mantém um resíduo da ordem de 9 a 15%. Nessas empresas estão instalados mini-

laboratórios cerâmicos equipados com peneiras, muflas para realização desses testes.

Depois desta fase os materiais são colocados, manualmente, em um caixão alimentador e transportados por correia transportadora ao misturador, onde é feita a homogeneização, quebra dos torrões e a umidificação da massa para adquirir plasticidade, passando a seguir, por um ou dois laminadores em série com diferentes aberturas, para a massa ficar de espessura adequada.

A redução do tamanho médio do grão dos materiais pode constituir uma ação necessária ou preventiva, dependendo da tipologia da matéria-prima utilizada. Devido à própria natureza geológica dos materiais, em regra, sedimentos terrígenos podem conter partículas de tamanho superior ao médio (grãos de quartzo, calcário, etc.) que, se não forem adequadamente fragmentadas, provocam defeitos nas peças cerâmicas como bolhas e ranhuras (Figura 7D), e afetam o funcionamento da extrusora por rápido desgaste ou descalibração das peças desse equipamento.



Figura 7. (A) área de exploração da matéria-prima; (B) etapa de sazonalamento do material nos galpões cobertos por lonas; (C) Fase de preparação e homogeneização da massa e (D) Defeito na telha provocado pelo aparecimento de partículas de calcário.

3.2.4. Conformação

Por conformação se entende o processo pelo qual a matéria-prima assume uma forma bem determinada. O sistema de conformação mais usual nas cerâmicas de Russas é a extrusão, embora, em alguns casos, já se trabalhe conformação por prensagem à úmido. O equipamento denominado de extrusora à vácuo ou simplesmente maromba, faz com que a massa passe através de uma boquilha, posicionada no final da máquina e dê forma ao produto desejado, no caso telha ou tijolo.

A adição de água na fase da mistura, necessária para que o material adquira plasticidade para a conformação, depende da capacidade de adsorção de água dos minerais existentes (GOMES, 2002). Idealmente, nos materiais empregados na fabricação de telhas, a umidade de extrusão fica, aproximadamente, 2% acima do limite de plasticidade. Normalmente, a quantidade de água necessária à extrusão está na faixa de 18% a 25%. Muitas vezes, esta umidificação se faz com a experiência do trabalhador encarregado, que através de uma ranhura na tubulação de água vai molhando a massa até atingir a umidade desejada.

A qualidade da argila processada é muito importante para o processo produtivo e também para o bom funcionamento das máquinas, já que grande número de paralizações que ocorre na extrusora são causadas pela presença de corpo estranho na massa, como por exemplo: raízes, pedriscos, objetos metálicos e outros, aumentando o desgaste da mesma e a quebra do arame do carrinho cortador.

Após a extrusão ou prensagem da massa é realizada um corte no rolo (Figura 8A), na configuração e dimensão do produto final que após serem cortadas e rebarbadas são retiradas manualmente e carimbadas (Figura 8B), e depois seguem em carros-de-mão para área de secagem ao ar livre.

3.2.5. Secagem

A quantidade de água adicionada no processo de conformação por extrusão é relativamente elevada, em média 22%, de forma a conferir uma plasticidade mínima para que estes materiais sejam convenientemente moldados. A secagem, portanto,

destina-se a retirar a água utilizada na conformação, preparando o material para a fase de queima.

A secagem ideal é determinada pela característica de retração de água em função da perda d'água (curva de bigot). A partir desse parâmetro, pode-se controlar a queima, sobretudo por secagem forçada.

O tipo da matéria-prima desempenha um papel muito importante nesta fase do processo, pois a interação água com a superfície dos diversos minerais de argila pode facilitar ou dificultar a liberação de água da peça (MÁS, 2003).

Normalmente, as peças cerâmicas são colocadas sobre grades de madeiras e estocadas em galpões para secagem natural, e dependendo do tempo e da quantidade de peças fabricadas, são expostas diretamente ao sol para completar a secagem (Figura 8C), durante cerca de 2 a 8 dias. Após a secagem, as peças são manualmente transportadas até os fornos e empilhadas para ter início o processo de queima.

3.2.6. Queima

O objetivo principal da queima é converter a peça conformada num material cerâmico resistente, duro e com grande estabilidade nas condições ambientais em que se aplique. As características cerâmicas dos produtos finais, tais como: resistência mecânica, porosidade, as reações químicas, expansão térmica, condutividade térmica, dureza, cor, manifestação de eflorescências, etc, são resultantes da formação de novos compostos durante a queima.

A grande maioria das cerâmicas de Russas possui fornos tipo chama reversível nos quais as chamas produzidas em fornalhas, localizadas nas laterais das câmaras, onde são empilhadas as peças, penetram no topo destes e saem por furos no piso, a partir do qual os gases quentes são sugados por chaminés e dissipados no ambiente. Funcionam através do seguinte ciclo: carregamento, queima, resfriamento e descarregamento, totalizando um ciclo de queima de aproximadamente 72 horas.

Todos os fornos utilizam lenha como combustível com um consumo médio de 0,5 m³ de lenha por milheiro de telhas produzidas.

Normalmente, as telhas extrudadas são queimadas na faixa de temperatura entre 850°C a 950°C, com um tempo de queima, no patamar máximo, entre 8 e 12 horas. Na maioria das vezes, não existe equipamento de medição da temperatura interna do forno. O forneiro estima a temperatura máxima e o tempo de queima com base na sua experiência e na coloração da chama do fogo, sendo o profissional mais bem pago dessas cerâmicas. O resfriamento é lento na temperatura, aproximada, de 200°C, quando as portas dos fornos são abertas e são ligados os ventiladores (Figura 8D).

Este processo de queima é irregular, resultando em produtos de cores diferenciados afetando a qualidade, sendo necessário uma posterior classificação.

A telha (tipos Romana e Plan) é o principal produto fabricado, mas encontra-se, também, na região, fabricação de tijolos maciços e blocos estruturais sendo a capacidade de produção de cada indústria na faixa de 30 a 40 milheiros de telhas por dia para uma jornada de 8 horas diárias (SINDICERÂMICA, 2002).



(A)



(B)



(C)



(D)

Figura 8. (A) Processo de corte na dimensão final do produto; (B) fase de carimbo de identificação da peça; (C) processo de secagem das peças ao ar livre e (D) queima dos produtos no forno. Observar a lenha estocada no alto do forno.

4. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL E LOCAL

4.1. Trabalhos Anteriores

Encontra-se publicado um número considerável de trabalhos de reconhecimento geológico da região. O primeiro foi escrito por Crandall, em 1910, estabelecendo um conceito sobre a estratigrafia das rochas da região nordeste. Já Beurlen (1967) e Kegel (1965) procuraram definir as formações da bacia do Apodi, e a estrutura geológica do Nordeste.

Na década de 60, teve as contribuições dos mapeamentos geológicos da Escola de Geologia de Pernambuco e da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste-SUDENE, tratando de problemas geológicos, de caráter regional ou específico, como o estudo hidrogeológico do vale do Jaguaribe (SUDENE, 1967).

Ressalta-se, também, os trabalhos de Brito Neves (1975) e Almeida et al. (1977) sobre a geotectônica do Pré-Cambriano nordestino.

Projetos específicos da Folha Jaguaribe foram realizados pelo Departamento Nacional de Produção Mineral-DNPM e Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais-CPRM. Inicialmente, em 1974 a confecção da Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, Folha Jaguaribe (SB-24) e Folha Fortaleza (SA-24) na escala de 1:1.000.000; e posteriormente o projeto Rio Jaguaribe (1979) que fez um mapeamento geológico sistemático na escala de 1:250.000, contando ainda com dados de prospecção geoquímica aluvionar e caracterização dos recursos minerais.

O mapeamento do Projeto Radambrasil (Brasil, 1981) veio somar aos trabalhos anteriores e dar uma contribuição bastante valiosa sobre os problemas geológicos, metalogenéticos, de avaliação do potencial dos recursos naturais nas Folhas SB.24/25 – Jaguaribe/Natal.

Mapeamentos específicos no estado do Ceará foram iniciados por Santos et al. (1972) resultando no Mapa Geológico do Estado do Ceará. Posteriormente, este mapa foi reavaliado conjuntamente entre o DNPM (MME), DRN (MI) e CEMINAS (Governo do Estado do Ceará) na escala de 1:500.000, e republicado como o Atlas do Ceará, realização do Instituto de Planejamento do Ceará (IPLANCE, CEARÁ, 1997). Uma nova versão do Mapa Geológico do Ceará foi publicada em meio digital

em 2003 na escala de 1:500.000 e executado pela CPRM (2003) em convênio com a secretaria de Recursos Hídricos do Ceará (SRH).

Um mapa geológico específico na escala de 1:50.000 do vale do Jaguaribe, foi executado pela CPRM e publicado junto com a Avaliação das Potencialidades Hídricas e Mineral do Médio-Baixo Jaguaribe (1986). Esta publicação faz uma síntese geológica e estratigráfica da área e descreve as potencialidades das argilas com identificação do dimensionamento, preliminar, dos depósitos, aproveitamento industrial e principais limitações, objetivando ampliar a capacidade produtiva.

Outros trabalhos foram realizados para caracterizar a matéria-prima utilizada pela indústria cerâmica cearense, e são de grande importância os trabalhos de Oliveira e Medeiros (1975), trabalhos de campo realizados pela CPRM juntamente com o DNPM em 1986 e 2001 e os relatórios dos ensaios tecnológicos cerâmicos realizados pelo NUTEC em 1998 e 1999.

Os ensaios tecnológicos preliminares realizados por Oliveira e Medeiros (1975), em amostras coletadas em lagoas da faixa litorânea de Aracati, revelaram argilas de boa qualidade, sendo indicadas para cerâmica vermelha e produtos vitrificados.

Segundo Veríssimo et al. (1986), na estrada que liga Limoeiro do Norte, no Ceará, com o estado do Rio Grande do Norte afloram camadas de argilas de cores verde e vermelha, intercaladas na sequência sedimentar da bacia do Apodi, mas ainda não estudadas na sua totalidade quanto à utilização cerâmica. Nesta avaliação, também, é constatado que toda a faixa litorânea do Ceará, incluindo o baixo rio Jaguaribe, é uma região altamente produtora de argilas de boa qualidade, notadamente para fabrico de cerâmica vermelha comum e esmaltada.

De acordo com Medeiros e Parahyba (2003) e baseado nos dados oficiais do DNPM, a região de Russas registra uma reserva medida de 484.784 toneladas de argila, contribuindo com cerca de 2,5% da reserva medida no Estado que é de 19.423.525 toneladas (DNPM/MME, 2001). Porém, esses dados são questionados se consideradas as áreas exploradas na informalidade e pela falta de estudos nas camadas de argilas em profundidade, superior a explorada atualmente.

Recentemente, outros estudos foram realizados e publicados sobre os depósitos aluvionares, sua gênese, exploração e tecnologias de argilas. Merecem destaques os trabalhos de Parahyba et al., (2000), Cavalcante (2001), Cabral e Maia (2001), Pessoa (2004), Maia (2005), Gomes Neto (2007).

O Domínio Tectônico Setentrional (DTS) engloba o Terreno Ceará Central e os Terrenos Jaguaribeanos.

Os Terrenos Ceará Central são definidos em: Sistema de Dobramentos Rio Curu-Independência e Maciços Santa Quitéria – Tauá (SANTOS, BRITO NEVES, 1984); Domínio Ceará Central (JARDIM DE SÁ, 1994) e Terreno Cearense (SANTOS, 1996).

Este Domínio corresponde, litoestratigraficamente, a uma associação de quartzito-pelito-carbonato, sobrepondo-se aos segmentos de cronologia arqueano-paleoproterozóica, ocorrendo com metamorfitos básicos-ultrabásicos. Para esta unidade são denominadas ainda de Grupo/Complexos Ceará, Independência, Itataia, Itatira, Novo Oriente e Aracoiaba (GOMES NETO, 2007).

Os Terrenos Jaguaribeanos (Faixa/sistema de Dobramentos Jaguaribeano – Brito Neves, 1975; Faixas Orós-Jaguaribe-Oeste do Rio Grande do Norte – Sá et al., 1984; Faixa Orós-Jaguaribe – Jardim de Sá, 1994; Orós-Jaguaribe Shist Belt – Caby et al., 1995; Sistema Orós-Jaguaribe – Parente e Arthaud 1995, Terreno Jaguaribe – Santos 1996), são ocupados por estreitas e contínuas faixas supracrustais, separadas por blocos gnáissicos-migmatíticos (blocos de Banabuiú, Jaguaretama e Iracema) descritas por Cavalcante et al., 1984, com intercalações de micaxistos, rochas calciossilicática, anfibolitos, quartzitos e mármore, encaixando jazimentos de granitóides neoproterozóico-cambriano de dimensões variadas (Complexo granitóide de Pereiro, Senador Pompeu, Saboeiro Mel, São Paulo e Catarina). Normalmente, estes granitóides se encontram formando suítes magmáticas de cedo a sin e tardi a pós-tectônicas, com idades distribuídas entre 800 e 500 Ma.

Agrupadas no Fanerozóico podem se destacar rochas representadas por depósitos sedimentares mesozóicos da bacia Potiguar subdividida em formações Açu e Jandaíra pertencentes ao Grupo Apodi; pelos sedimentos cenozóicos da Formação Barreiras e coberturas sedimentares do Quaternário como os depósitos eólicos, ambiente praias, aluviões, planícies de inundação e mangues.

Estas coberturas sedimentares não-metamorfizadas são representadas por um conjunto de rochas que, no caso do Grupo Apodi, são compostas por arenitos claros intercalados por folhelhos e siltitos na base e calcários bioclásticos, dolomíticos e arenitos calcíferos no topo do grupo. A Formação Barreiras é composta por argilas variegadas e arenitos avermelhados com níveis caulíníticos e conglomerados grossos com matriz arenosa vermelha. Já os aluviões são constituídos por areias finas à grossas, além de cascalhos e depósitos argilosos. Nos estuários há predominância dos sedimentos fluviomarinhos argilosos, complementado pelos

sedimentos de dunas e paleodunas formadas essencialmente por areias quartzozas e níveis de minerais pesados.

4.3. Descrição da geologia local

A descrição do quadro geológico local demonstra as unidades litoestratigráficas que definem ou definiram a formação do ambiente deposicional e compõem, atualmente, a planície aluvial do rio Jaguaribe, com base nos trabalhos de Sousa, Oliveira, Granjeiro (2002) e no mapa geológico da CPRM executado em 2003.

As rochas que compõem o cenário da bacia hidrográfica do rio Jaguaribe (Figura 10), desde sua nascente à foz, são embasadas por rochas plutono vulcanosedimentares e coberturas sedimentares não metamorfizadas e, em alguns casos, inconsolidadas.

O embasamento cristalino é representado pelo Complexo Nordestino/Caicó, de idade Arqueana e composto, principalmente, de rochas gnáissicas e migmatíticas, quartzitos, micaxistos e ocorrências de corpos granitóides. Mostra elevado grau de metamorfismo variando desde fácies anfibolito a granulito.

A sequência plutono vulcanosedimentar é formada por rochas metamórficas de fácies xisto verde a anfibolito, denominada de Grupo Ceará. Litologicamente é formada por hornblenda-biotita Gnaiss, micaxistos com granada, estauroлита e sericita, quartzitos e mármore localmente associadas com magnesitas, metavulcânicas ácidas e básicas, metabasaltos amigdaloidais e corpos de ortognaisses porfíricos de idade Proterozóica.

As coberturas sedimentares são formadas pelos sedimentos cretáceos da bacia Potiguar, posicionadas na margem direita do rio, constituída pelo Grupo Apodi (formações Açu e Jandaíra). A primeira é formada de arenitos claros intercalados por folhelhos e siltitos. A segunda é constituída por uma sequência homogênea de calcários, de coloração creme, cinza e esbranquiçada, com variações de tipos recristalizados, margosos, dolomíticos e, apresentando uma associação fossilífera abundante e pouco diferenciada. Esta bacia sedimentar representa um compartimento de relevo relativamente plano, com 100 metros de altitude na parte sul e declive suave para o mar.

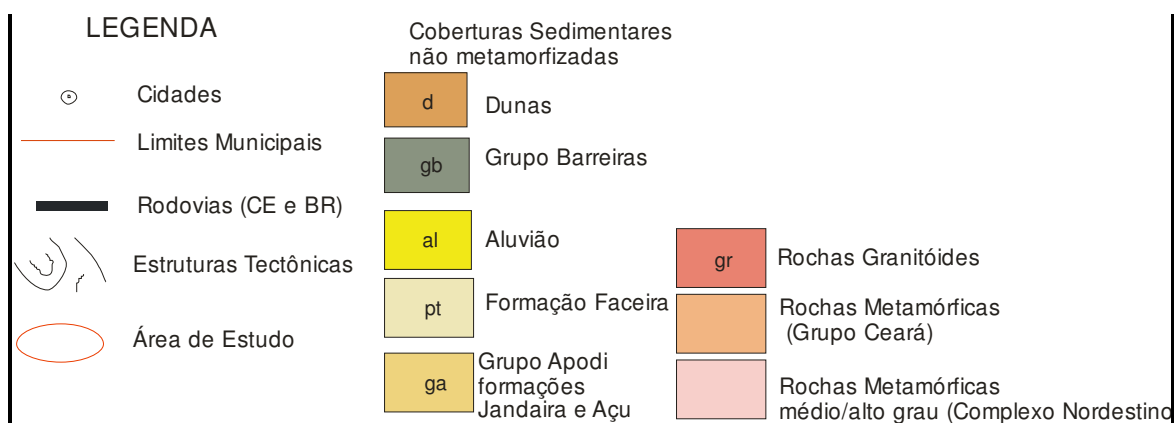
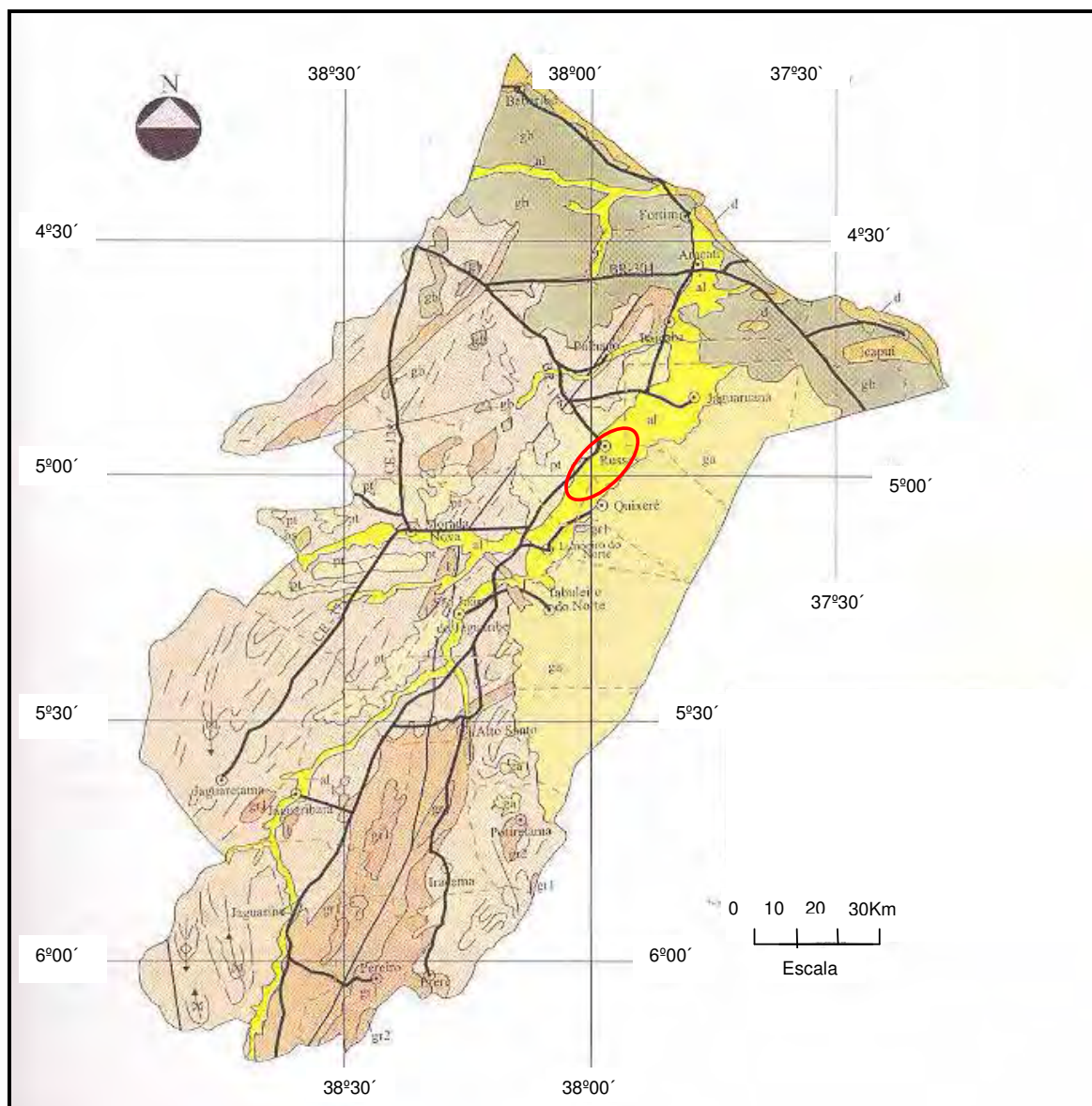


Figura 10. Mapa geológico simplificado da bacia do baixo/médio rio Jaguaribe.
Fonte: Veríssimo et al. (1986).

Um segundo depósito sedimentar é representado pela Formação Faceira que ocorre em discordância com o embasamento cristalino, principalmente na margem esquerda do rio Jaguaribe, na parte oeste da área, e sobre os patamares da Formação Açu, na margem direita do rio mais a leste. Os sedimentos apresentam cores variegadas e são compostos por argilas e arenitos com níveis caulíníticos e conglomeráticos grossos em uma estratificação horizontal mal definida.

Os depósitos Pleistocênicos-Holocênicos recobrem as planícies fluviais, planícies de inundação, áreas de acumulação inundáveis, terraços fluviais e marinhos, costões litorâneos, formando dunas e paleodunas.

Dentre esses sedimentos, o depósito aluvionar, de maior interesse, é formado por uma sucessão heterogênea e não cíclica de material inconsolidado, ou parcialmente consolidado, composto de areias finas e grossas, siltes, argilas e, em pequena parte, por cascalhos. Estão distribuídos nas porções marginais dos cursos d'água e alargam-se a partir da confluência do rio Banabuiú com o rio principal na altura da cidade de Limoeiro do Norte.

Esta grande variedade de rochas e as deformações estruturais registradas influenciam ou influenciaram as características dos depósitos aluviais da região.

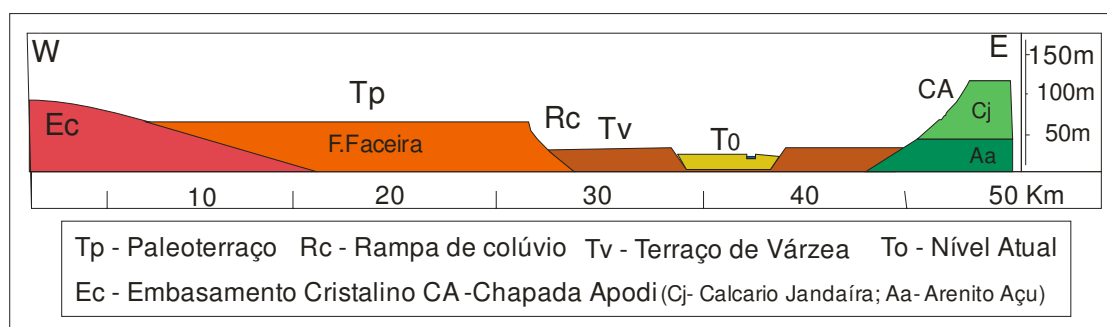
4.4. Descrição dos depósitos aluvionares

Define-se planície fluvial como uma feição típica de acumulação derivada do trabalho que os rios executam – erodindo, em seu alto curso, transportando em seu médio curso e depositando sedimentos em seu baixo curso. Nestas planícies situam-se as reservas de depósitos argilosos do baixo Jaguaribe.

Tratando a respeito das planícies cearenses, Souza (1979) setorizou as feições morfológicas, de detalhe, da bacia hidrográfica do rio Jaguaribe, no seu baixo curso, a partir de talvegue, incluindo: área de vazante, várzea baixa, várzea alta e rampas dos interflúvios. A vazante é integrada pelo talvegue e pelo leito menor dos rios sendo delimitados, lateralmente, por diques marginais areno-argilosos, mantidos por matas ribeirinhas. Sua ocupação pelas águas só se efetiva durante os anos de chuvas abundantes. As rampas com baixos declives dos interflúvios marcam os níveis de terraços fluviais escalonados e mantidos por cascalheiras de calibre

heterométrico e com material arredondado e pouco arestado. Completando este quadro morfológico tem-se a planície litorânea, composta por sedimentos de dunas e paleodunas. Os sedimentos de dunas são de deposição recente e compõem-se de areias finas e médias inconsolidadas.

A Figura 11 mostra um perfil topográfico do rio Jaguaribe no seu baixo curso, definindo-se as zonas de acumulação e as zonas de intemperismo mais próximas ao leito atual do rio e prováveis áreas fontes proximais dos depósitos argilosos.



Fonte: Maia (2005, adaptado)

Figura 11. Esboço de um perfil transversal ao vale do rio Jaguaribe

Marcada por um intenso processo de deposição sobre o embasamento cristalino, a planície fluvial do rio Jaguaribe foi formada pela interação conjunta de processos geomorfológicos e climáticos dados a partir do desgaste de rochas do embasamento e pela ação de mudanças climáticas ocorridas a partir do Cenozóico.

Maia (2005) descreve, na sua dissertação de mestrado, um contexto evolutivo para definir a formação do ambiente aluvionar, que pode ser referido a partir de fenômenos de natureza tectônica e climática. A formação da bacia sedimentar Potiguar, referência ao Grupo Apodi no Cretáceo, constitui o relevo mais antigo da área em destaque. O platô formado a partir da erosão de vertente por pediplanação, como é comum no semi-árido Nordeste, deu origem aos cambissolos resultado do intemperismo das rochas cretáceas.

Em uma nova fase, a geomorfogênese Cenozóica relacionada a mudanças climáticas, imprimiu novas fases de decomposição e intemperismo que deram condições para formação da planície aluvial por meio dos processos de hidrodinâmica fluvial, gerando sedimentos através do trabalho de erosão, transporte e deposição do material disponível, desde a área fonte. Assim foram gerados os

depósitos (Figura 12) que deram origem aos sedimentos desenvolvidos inconsolidados e de gênese alóctone.



Figura 12. Foto ilustrando o acamamento horizontalizado que forma o depósito aluvial do rio Jaguaribe. Fonte: Cavalcante (2001)

Outros contribuintes importantes para a formação do pacote aluvial provêm da decomposição, transporte e deposição proximal dos sedimentos grossos relacionados à Formação Faceiras (Barreiras) depositados na margem esquerda do rio Jaguaribe na cidade de Russas.

A análise e correlação de seis sondagens geológicas de poços profundos (Figura 13), para captação de água na região, permitiram definir as principais unidades litológicas, que constituem o pacote aluvionar do rio Jaguaribe (CABRAL E MAIA, 2001).

As unidades descritas são:

Unidade 1 – Corresponde à unidade de cobertura, com espessura de até 9,0 m. É composta por argila e argila silto-arenosa, de coloração variegada (cinza, cinza escura, cinza avermelhado e esverdeado). Não há datação para esta unidade. O nível freático está posicionado no perfil em torno de 7,0 m de profundidade.

Unidade 2 – Apresenta espessura em torno de 20,0 m, sendo constituída por areias grossas a cascalhos finos a médios, com selecionamento médio e cor variegada. Ocorrem intercalações de argilas cinza-avermelhadas, cinza escura e

esverdeadas. Estas intercalações chegam a medir 5,0 m de espessura, possuindo formas lenticulares, mas podem ter boa expressividade lateral. Está relacionado ao aquífero, pois, esta unidade é a mais utilizada na captação de água.

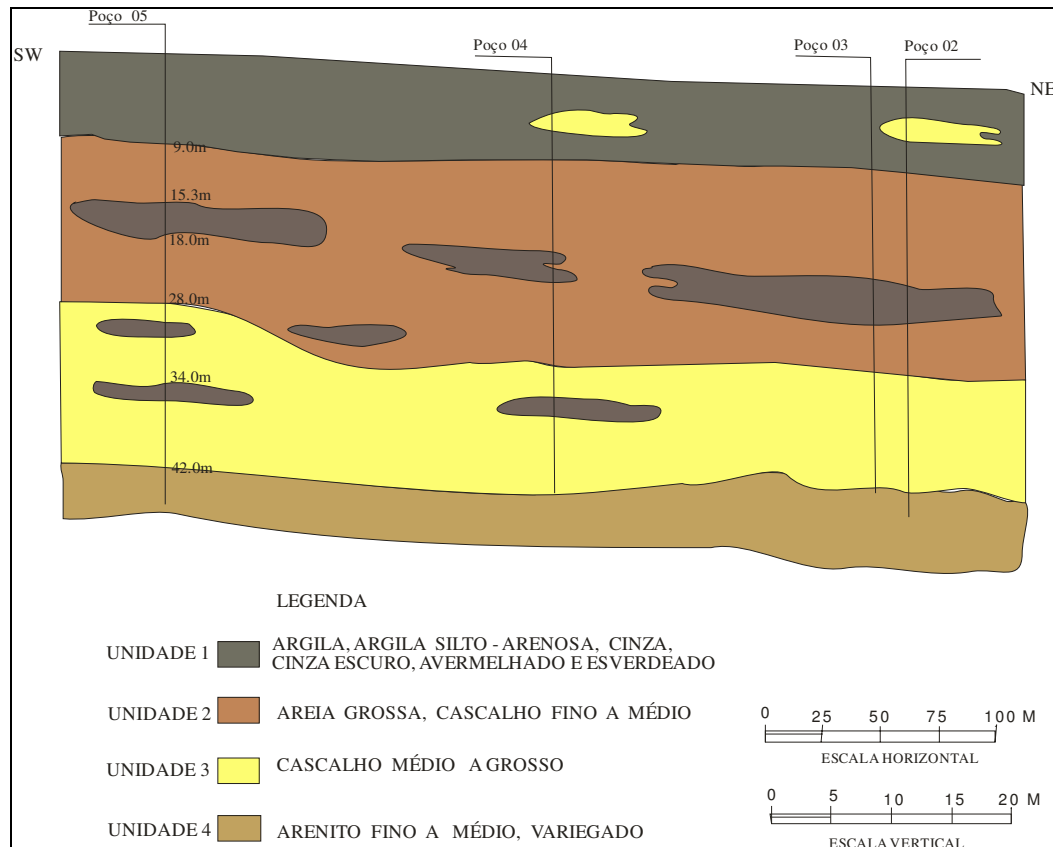


Figura 13. Sondagens geológicas esquemáticas correlacionando às unidades litológicas do depósito aluvionar do rio Jaguaribe. Fonte: Cabral e Maia (2001) com modificações do autor.

Unidade 3 – Tem espessura em torno de 15,0 m. É constituído por cascalho médio a grosso, mal a medianamente selecionado, com coloração variegada. Apresenta intercalações finas (1,0 a 2,0 m) e lentes de argila cinza-esverdeada. As unidades 2 e 3 não afloram.

Unidade 4 – Corresponde ao embasamento de todo o depósito. É constituída de arenito quartzoso a arenito argiloso, fino a médio, coloração variegada (vermelho, esverdeado e esbranquiçado), e está relacionada ao embasamento da sequência aluvionar, (provavelmente Formação Açu do Grupo Apodi).

Trabalhos específicos utilizando sondagem a trado na amostragem, realizadas por Lima et al. (2007) permitiram detalhar melhor a Unidade 1 descrita

anteriormente, pois esta unidade é a utilizada pelos ceramistas como matéria-prima para compor a mistura.

A tabela 3 refere-se a um furo de sondagem de coordenadas UTM (601727E; 9433607N) com datum de Referência Córrego Alegre, realizado com a finalidade de se estudar a composição granulométrica, plasticidade e classificação textural de um perfil de aproximadamente 6,0 m, profundidade usual dos ceramistas quando da extração do argila.

Tabela 3. Composição granulométrica, classificação textural, plasticidade e profundidade média de uma sondagem a trado realizada na área de estudo

Profundidade metros	Composição granulométrica (%)			Classificação Textural	Plasticidade
	Areia	Silte	Argila		
0 - 0,20	07	46	47	Argila siltosa	Plástico
1,20	06	47	47		
2,00	10	50	40		
2,20	27	40	33	Franco argiloso	
2,50	39	35	26	Franco	Ligeiramente Plástico
2,70	51	32	17		
3,00	84	14	02	Areia franca	Não Plástico

A coluna de sondagem foi descrita, do topo para a base, em quatro níveis distintos:

» Primeiro nível: com 2,0 m de espessura é classificado texturalmente, com base na composição granulométrica, como argila siltosa e apresenta uma boa plasticidade, característica das argilas, e de coloração cinza escura.

» Segundo nível: com aproximadamente 20 cm é definido texturalmente como franco argiloso, de coloração marrom escuro mostrando-se também plástico.

» Terceiro nível: com 50 cm de espessura, definido como franco apresenta uma baixa plasticidade, de coloração marrom claro e,

» Quarto nível: aparece um nível arenoso de 3 m de espessura, quartzoso, sem plasticidade, formado por grãos grossos de coloração branca.

A figura 14 mostra o triângulo utilizado na classificação textural dos sedimentos amostrados na sondagem, com base em EMBRAPA (1997).

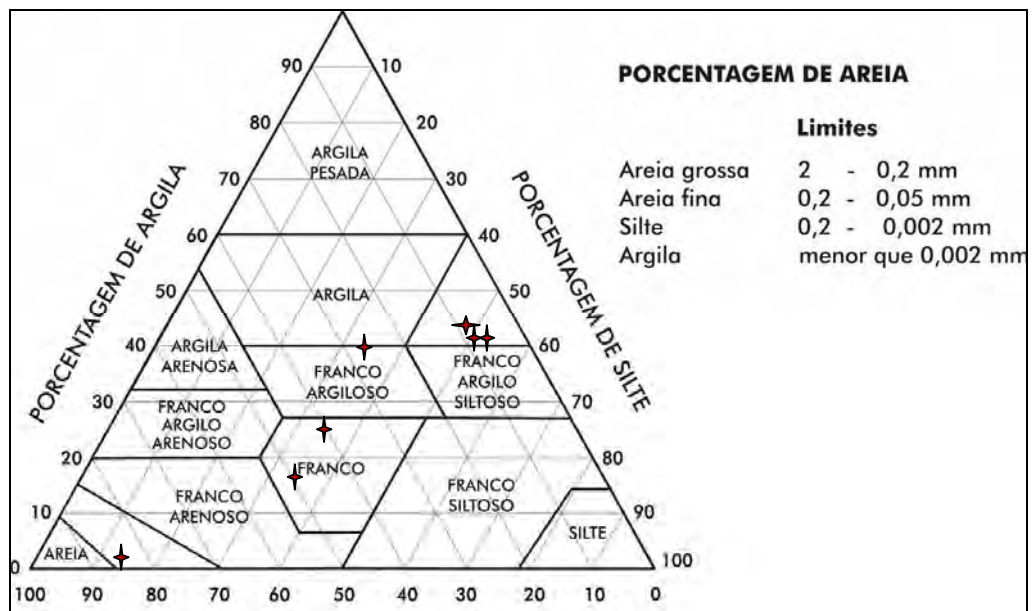


Figura 14. Triângulo utilizado na classificação textural das sondagens com base no Survey Staff do Departamento de Agricultura Americana (EMBRAPA, 1997).

As informações das sondagens visualizam o comportamento deposicional não cíclico e heterogêneo do depósito. Os estratos horizontalizados, por vezes, apresentam bolsões argilosos, de dimensões centimétricas a métricas mostrando um quadro litológico complexo em subsuperfície. Em geral, os materiais mais densos se sedimentam em níveis mais profundos e os materiais mais finos em níveis mais rasos, com muitas interdigitações entre esses, conferindo um caráter heterogêneo e de difícil percepção, sendo portando necessário um mapeamento geológico mais apurado para conhecê-lo melhor.

Apesar da delimitação dos depósitos argilosos dos aluviões do rio Jaguaribe não ser objetivo da tese, observa-se que há possibilidade de se explorar não somente as camadas superiores na fabricação cerâmica mas também pacotes argilosos e areias em maiores profundidades, pois, como visto nesta revisão, estes depósitos atingem algumas dezenas de metros. Com esta operação se diminuiria os impactos negativos referentes ao número de cavas exploradas muito superficialmente, com melhor aproveitamento dos recursos minerais.

5. MATERIAIS E MÉTODOS DE TRABALHO

Neste capítulo serão descritos os materiais e métodos de pesquisa empregados e ensaios necessários para a caracterização das argilas e dos experimentos de misturas. Para isto, foi realizado um levantamento bibliográfico, trabalhos de campo e ensaios laboratoriais conforme esquematizado na figura 15.

Com a finalidade de ter uma melhor visão da pesquisa, em termos de escala de trabalho, foram realizadas amostragens em perfis de sedimentos e ensaios preliminares. Estes ensaios proporcionaram a segurança na definição final de quais materiais e métodos seriam utilizados na pesquisa e, também, se mostraram importantes na identificação da variabilidade lateral (escala regional) e vertical (local de amostragem) dos depósitos.

5.1. Levantamento bibliográfico

O trabalho iniciou com uma pesquisa bibliográfica para obtenção de bases teóricas necessárias ao desenvolvimento do projeto. Também foram consultados mapas e perfis topográficos e geológicos, tanto em escala regional como em detalhe, com o propósito de compilar dados que auxiliassem o trabalho de campo e permitissem um maior entendimento dos temas propostos e da organização espacial das unidades litoestratigráficas.

Os dados cartográficos foram retirados das cartas do Ministério do Exército – Diretoria do Serviço Geográfico-DSG, em escala 1:100.000. Os dados geológicos regionais foram referenciados nos Mapas Geológicos da CPRM datados de 1986 e 2007 na escala de 1:50.000 e 1:500.000 respectivamente

5.2. Seleção e descrição dos materiais representativos do pólo

Os trabalhos de campo consistiram em observações dos perfis deposicionais da planície aluvial e coleta de amostras.

A amostragem foi limitada aos locais de mineração de quatro empresas pesquisadas e identificadas pelas siglas: EZ, CD, IG e CT. Estas foram escolhidas por utilizarem o mesmo processo produtivo e representarem espacialmente o Pólo. Foram coletadas 8 amostras, duas por cada mineração (uma argila gorda ou plástica e uma magra ou não plástica).

No critério de amostragem considerou-se o pacote sedimentar desde a superfície até encontrar o nível freático, a aproximadamente 5m, sendo esta camada a extraída e beneficiada pelas empresas. O material foi coletado a partir do desmonte das minas .

Para servir de referência na pesquisa, definiu-se as seguintes nomenclaturas (Tabela 4) para as amostras de acordo com a localização da coleta.

Tabela 4. Denominações de referência das amostras coletadas.

Área de coleta das amostras	Empresas pesquisadas			
	EZ	CD	IG	CT
mina plástica	EZp	CDp	IGp	CTp
mina não plástica	EZnp	CDnp	IGnp	CTnp

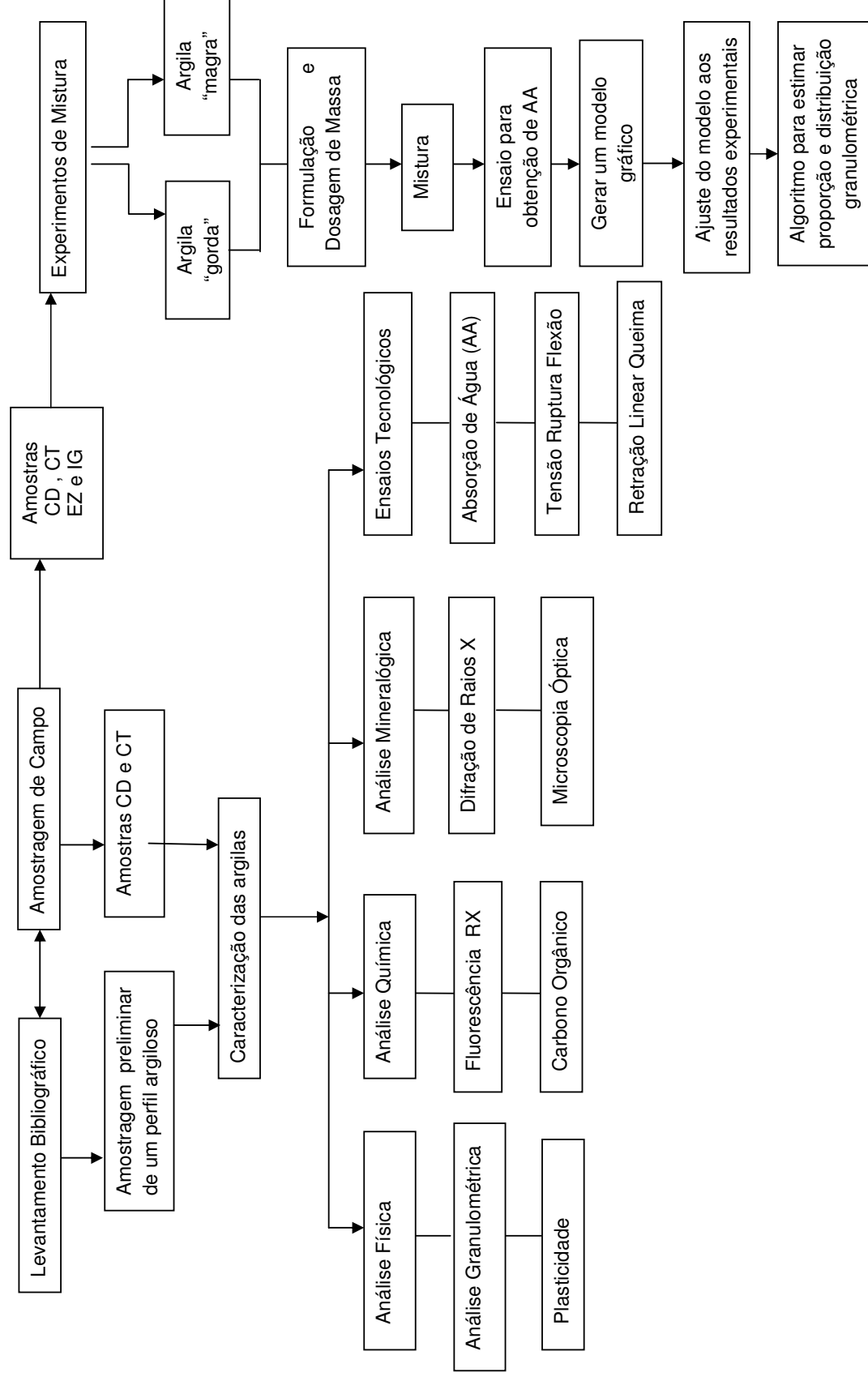


Figura 15. Fluxograma dos métodos utilizados no desenvolvimento do trabalho

5.3. Caracterização física, química, mineralógica e tecnológica das argilas

Neste item serão descritas as principais análises e ensaios para caracterização das argilas coletadas, tais como: análises granulométricas, análises químicas, análises mineralógicas e ensaios tecnológicos. Estes ensaios foram realizados nos laboratórios dos Departamentos de Petrologia e Metalogenia (DPM) e de Geologia Aplicada (DGA) da UNESP.

Como o intuito foi caracterizar as principais matérias-primas, as análises mineralógica, química e tecnológica foram realizadas, somente, para as amostras CDnp, CDp, CTnp e CTp, representando os componentes plásticos e não plásticos, já que em estudo anterior (LIMA et al., 2008), as outras amostras mostraram resultados semelhantes.

5.3.1. Análises físicas: granulometria e plasticidade

Após tratamento inicial de secagem e quarteamento, as amostras foram moídas em moinho de martelo, separando alíquotas para diferentes ensaios.

A distribuição granulométrica foi determinada por peneiramento à seco utilizando peneiras com abertura variando de 4,75 a 0,053 mm, correspondendo, respectivamente, às peneiras de 4 a 270 mesh. Para o material passante foi realizada a sedimentação pelo método do Densímetro (ABNT, 1984).

O índice de plasticidade (IP) foi determinado pelo método de Atterberg (limite de liquidez-LL, limite de plasticidade-LP e índice de plasticidade-IP), segundo as normas NBR 7181 e NBR 6549 e que implica na diferença entre o LL (ponto de transição entre o estado plástico e o estado líquido) e o LP (limite entre o estado semi-sólido e o plástico). O IP define a zona em que a matéria-prima se encontra no estado plástico, fornecendo um critério (Tabela 5) para se avaliar o caráter argiloso de uma matéria-prima, sendo que quanto maior o IP mais argilosa será a matéria-prima. $IP (\%) = LL (\%) - LP (\%)$

Tabela 5. Critério de definição do caráter argiloso da matéria-prima de acordo com o índice de plasticidade.

Índice de Plasticidade IP (%)	Nível de plasticidade da matéria-prima
IP = 0	Não plástico
$1 < IP < 7$	Pouco plástico
$7 < IP < 15$	Plasticidade média
IP > 15	Muito plástico

5.3.2. Análises mineralógicas: difratometria de raios X e microscopia ótica

No trabalho da identificação mineralógica dos diferentes tipos de argilominerais e outros minerais presentes nas amostras foi utilizado o método de difração de raios X (DRX) sobre a amostra total moída até granulometria menor que 200 mesh (75 micras). Para recuperar os argilominerais foi separada a fração menor que 2 micras preparando uma suspensão com 20 g de argila e 1 litro de água destilada e extraíndo alíquotas conforme o Método da Pipeta.

Para obter a análise foi utilizada uma suspensão preparada com 20 gramas de argila para um litro de água destilada e, posteriormente, depositada em uma proveta que após agitação inicial, foi posta em repouso, tendo em consideração a lei de Stokes, e após um período de 8 horas retirou-se um volume de 20 cm³ a uma profundidade de 5 cm da boca da proveta e prepararam-se as lâminas.

Para auxiliar a identificação dos argilominerais presentes nas argilas procedeu-se a tratamentos subsequentes através de etileno-glicol e aquecimento a 500°C. O tratamento com etileno-glicol visa à determinação de argilominerais expansivos, enquanto que os tratamentos térmicos têm a finalidade de detectar a presença de argilominerais sensíveis ao aquecimento.

Os difratogramas de raios X foram obtidos num difratômetro Siemens, modelo D5000. Foi utilizada uma radiação CoK α com velocidade do goniômetro de 3°2 θ /minuto. Para interpretação dos gráficos utilizou-se o programa Eva 2.0.

Com os dados de difração, medindo a área de picos pre-determinados, foram identificados e avaliados semiquantitativamente, os minerais mais frequentes e representativos utilizando o poder de difração dos diferentes minerais/argilominerais.

Este método de análise foi utilizada por Schultz (1964), e Thorez (1976) e adotado nos trabalhos de Coroado (2000) e Martins (2006).

Assim, para a quantificação dos minerais argilosos, foram determinadas as áreas das respectivas reflexões, após correção dos fundos dos registros em relação a um fundo de altura média pré-determinada (Figura 16) divididos pelo poderes refletor dos minerais identificados.

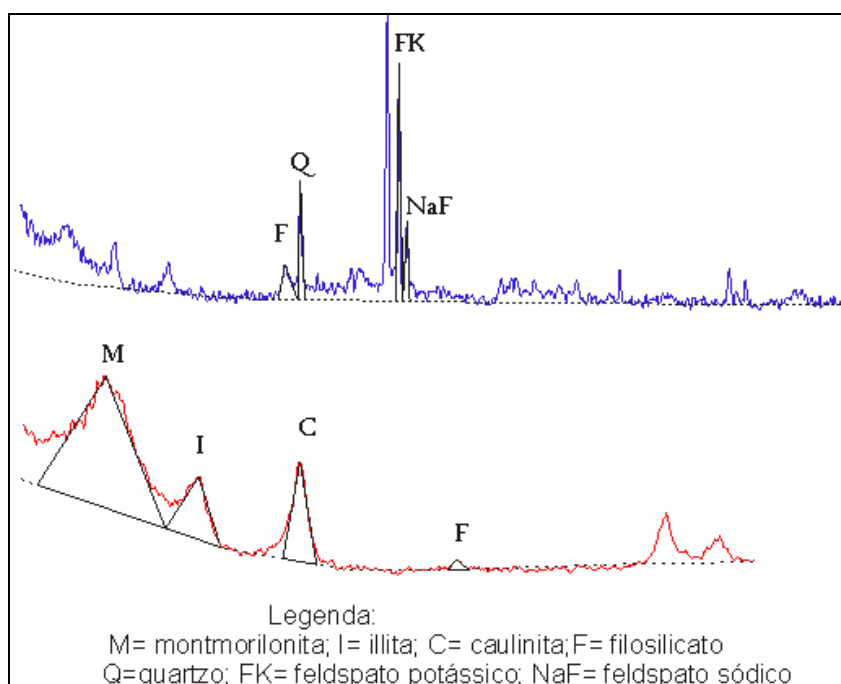


Figura 16. Determinação das áreas das reflexões utilizado nos cálculos da análise semiquantitativa através do Método do Poder Refletor.

A tabela 6 mostra as reflexões características utilizadas para cada mineral, bem como os autores que tem usado estes parâmetros na análise semiquantitativa. O poder refletor adotado para os filossilicatos (amostra total) para o pico considerado correspondente a $4,46\text{\AA}$, foi de 0,25 (SCHULTZ, 1964).

Como utilizado por Coroado (2000), optou-se em utilizar o pico correspondente à reflexão $4,26\text{\AA}$ para o quartzo na semiquantificação, no lugar do pico de $3,33\text{\AA}$ de maior reflexão, por não ser objeto de interferência com pico da illita de $3,31\text{\AA}$.

Tabela 6. Poderes refletor usados na semi-quantificação de difratogramas (amostra total e fração argila). Fonte: Coroadó (2000).

Mineral	Poder refletor	Reflexão em Å	Autores
Quartzo (x)	0,70	4,26	Gonzales et al 1970
Filossilicatos	0,25	4,46	Schultz 1964
Feldspato K	1	3,24	Schultz 1964
Plagioclásio	1	3,18	Schultz 1964
Calcita	1	3,03	Talvenheime et al 1952
Dolomita	1	2,88	Whiteside 1947
Caulinita	1	7,1	Gomes 1988
Ilita	0,5	5	Gomes 1988
Esmeclita	4	17	Rocha 1993
Clorita	0,75	4,74	Rocha 1993

A análise por microscopia ótica auxiliou a identificação dos minerais acessórios presentes nas amostras quando estes aparecem em pequenas quantidades não detectáveis por DRX.

Para a análise microscópica foram confeccionadas lâminas das amostras juntamente com um líquido de índice de refração 1,54 como meio aderente. Sobre esta foi posta uma lamínula colando as bordas com cola branca. Na identificação foi utilizado um microscópio petrográfico da marca Zeiss acoplado com uma câmera fotográfica digital da marca Canon para captar as imagens. Também foi utilizada uma lupa binocular com aumento de 10 e 20 vezes, com a finalidade de obter informações das formas/hábitos, cor e características de superfície nos resíduos das análises granulométricas de amostra desagregadas em água, correspondente à fração dos minerais retidos nas peneiras 170 e 325 mesh.

5.3.3. Análises químicas: fluorescência de raios X e carbono orgânico

A caracterização química das argilas foi efetuada por espectrometria de fluorescência de raios X (FRX) em amostra total, para determinação dos óxidos dos elementos maiores, (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , K_2O , Na_2O_3 , MgO , CaO , MnO e P_2O_5).

Foi obtido, também, neste ensaio, a perda ao fogo (P.F.) que representa os materiais voláteis presentes nas amostras e liberados até a temperatura de 1000°C.

O ensaio de carbono orgânico foi utilizado para diagnosticar a presença ou não da matéria orgânica nas amostras e foi determinado pelo método da Titrimetria, que consistiu na oxidação da matéria orgânica com dicromato de potássio em meio ácido e titulado com Fe^{++} (SANTOS, 1989).

5.3.4. Ensaios tecnológicos cerâmicos

Após o processo de moagem e peneiramento as amostras foram umedecidas, em torno de 8%, e submetidas à prensagem em moldes de 7 cm x 2 cm controlando-se a densidade à verde, próximo de 2,0 g/cm³ e pressão de 2.0 Mpa, os quais foram secos em estufa por 24 h a 110°C.

A queima foi realizada em forno Maitec nas temperaturas máximas de 850°C, 875°C, 900°C, 925°C, 950°C em ciclos de queima com taxa de aquecimento de 10°C em 5 patamares permanecendo na temperatura máxima durante 180 minutos e resfriado naturalmente dentro do forno (Figura 17). Nas temperaturas de queima acima de 1000°C (1020°C, 1040°C e 1060°C) foi utilizada uma queima de ciclo rápido, também, em cinco patamares, permanecendo 3 minutos na temperatura máxima e resfriamento lento.

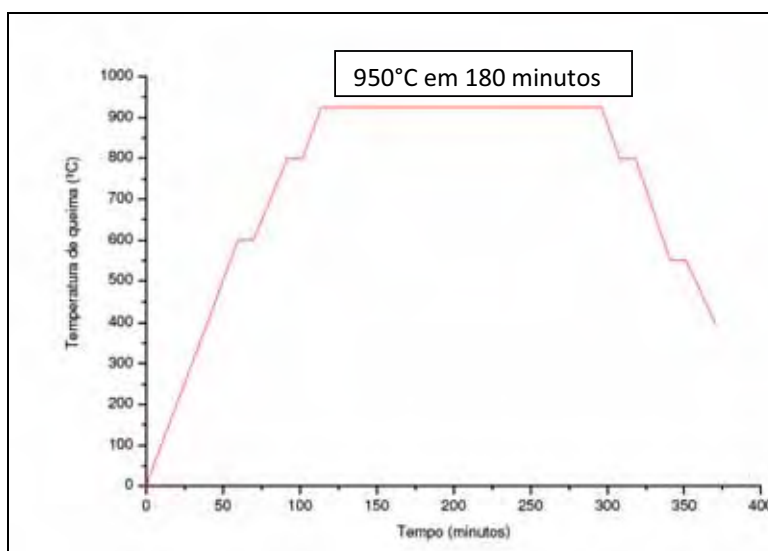


Figura 17. Exemplo da curva de queima para corpos-de-prova submetidos a queima (850 a 950°C) num ciclo de 10 horas com taxa de aquecimento de 10°C/min. e resfriamento por convecção natural.

Para a determinação das propriedades cerâmicas foram feitos os ensaios de: AA (absorção de água) e RLQ (retração linear de queima), TRF (tensão de ruptura à flexão). Estes ensaios foram realizados com base na NBR 13.818 (ABNT, 1997).

5.4. Experimentos de misturas

A possibilidade de se estudar métodos de controle de massas que forneçam resultados satisfatórios levou a experimentar técnicas de misturas já desenvolvidas por outros pesquisadores, mas que se adequasse às argilas da área de estudo. Assim, foi utilizado uma composição binária formada de um componente plástico (argila gorda) e um menos plástico (argila magra), pois se sabia, a priori, que não se podia “fugir” da combinação de materiais utilizados no Pólo ou buscar matérias-primas de lugares distantes por não ser uma prática usual nas indústrias.

O planejamento experimental vem estimulando pesquisadores a estudar métodos de controle na preparação das misturas, dentre os quais pode-se citar: Saboya e Alexandre (1999); Correia et al. (2004) e Grun (2007).

Neste sentido, este trabalho foi baseado nas experiências de Barros Neto et al. (2007) e Moreno et al. (2009) na fase referente a elaboração do modelo Gráfico e na tese de Alexandre (2000) na elaboração do algoritmo de otimização.

Os experimentos foram desenvolvidos em 6 etapas: estudo das combinações entre os componentes individuais das matérias-primas; à elaboração dos modelos empíricos baseados em cálculos matemáticos; construção do modelo gráfico com base nos dados experimentais; análise e interpretação dos resultados, gerando, quando possível, a distribuição granulométrica padrão entre as amostras; e a partir dessa curva granulométrica, foi estimada a proporção dos componentes, por meio do método do Algoritmo, a fim de obter uma composição adequada das misturas.

5.4.1. Estudo das misturas através do método Gráfico

Com base nos resultados obtidos na caracterização das argilas foram preparadas misturas, combinando os materiais plásticos e não plásticos das respectivas indústrias nas proporções de 25%, 50% e 75%.

Essas misturas foram processadas nas mesmas condições da caracterização das argilas, mas com a diferença de que os corpos-de-prova foram queimados,

somente, na temperatura de 925°C, temperatura usada no laboratório para corpos-de-prova prensados ensaiados para cerâmica vermelha.

Os dados foram trabalhados visando entender o comportamento da propriedade de absorção de água medida nas misturas preparadas em laboratório em relação às misturas formuladas por cálculos teóricos a partir do trabalho de Moreno et al. (2009).

A preparação das misturas foi realizada a partir da equação (A), fixando a propriedade de absorção de água e a temperatura de queima e variando as proporções (plástica e não plástica) com a finalidade de orientar a correção das proporções para atingir uma absorção de água requerida.

$$AA_r = X_1 \cdot AA_1 + X_2 \cdot AA_2 \quad (A)$$

Sendo $(X_1 + X_2) = 1$. A equação pode ser escrita da seguinte forma:

$$AA_r = (AA_1 - AA_2)X_1 + AA_2 \quad (B)$$

Onde X_1 e X_2 são as frações da mistura, AA_1 e AA_2 são os índices de absorção de água dos componentes individuais, obtidos a uma temperatura (T) e AA_r a absorção de água requerida à mesma temperatura. A equação (B) corresponde a uma reta que depende somente dos valores da AA de cada componente na mistura.

Foi requerida uma absorção de água de 14% para as amostras, estabelecido em razão das condições de processamento dos corpos-de-prova que apresentaram AA sempre próximos a este valor, e também, por este valor ser inferior ao limite máximo de 20% de AA estabelecido na norma NBR 15.310/2005 para telhas cerâmicas.

5.4.2. Estudo do método do algoritmo para obtenção das proporções dos componentes das misturas

Como complemento ao método gráfico foi realizado uma técnica computacional utilizando o algoritmo de otimização proposto por Windisch (1996). Para desenvolver o experimento foi utilizado, na resolução dos cálculos, o macro Solver do software Excel (PERSON, 1994).

O método implementado no Solver é chamado de método Simplex e trabalha com uma planilha eletrônica num formato padrão de programação linear (p.e. ver tabela 20), cuja função é maximizar ou minimizar diversos tipos de problemas, neste caso, problemas relacionados à mistura ótima de componentes argilosos para homogeneização de massa e fabricação de produtos cerâmicos uniformes.

O algoritmo combina materiais diversos com objetivo de encontrar uma composição adequada à homogeneização da massa cerâmica resultante da mistura desses materiais. O método apresenta um conjunto de soluções viáveis que satisfazem todas as restrições impostas. Dentro desse conjunto de possibilidades, gera-se uma solução otimizada para o problema.

Na construção da planilha foi utilizada a distribuição granulométrica dos componentes individuais e a curva padrão (requerida) obtida por meio do método Gráfico. O programa, por sua vez, executa o algoritmo de minimização e obtêm outra curva próxima à curva requerida e a proporção dos componentes a ser utilizada na mistura.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, apresentam-se os resultados e a discussão das análises e ensaios tecnológicos pertinentes à caracterização e comportamento das matérias-primas cerâmicas argilosas amostradas: granulometria, mineralogia, composição química e propriedades cerâmicas que os materiais, com elas produzidos adquirem. Também é enfatizado o resultado das técnicas experimentais e das composições de massas efetuadas.

6.1. Resultados da amostragem preliminar

Com a finalidade de se conhecer, preliminarmente, o material a ser pesquisado e os métodos a serem utilizados, foi realizada amostragem na mina de uma cerâmica em Russas (com referência SMR), utilizando um trado manual que atingiu 3,60 m de profundidade e resultou em oito amostras, denominadas, do topo para a base: SMR1, SMR2, SMR4, SMR5, SMR6, SMR7, SMR9, SMR11 e SMR13. O limite inferior da sondagem ocorreu quando o equipamento atingiu o lençol freático à, aproximadamente, 4 metros, delimitando assim a espessura do pacote analisado.

Foram coletadas quantidades representativas do material do perfil, a partir de diferenças na cor, granulometria aparente e textura.

A Figura 18 identifica a amostragem de cada estrato desde o nível mais superficial (SMR1) até a profundidade máxima de sondagem (SMR13), e caracteriza-os texturalmente como Franco argilo-siltoso à Franco siltoso. A figura mostra, também, o teor de carbono orgânico e limite de plasticidade de cada nível.

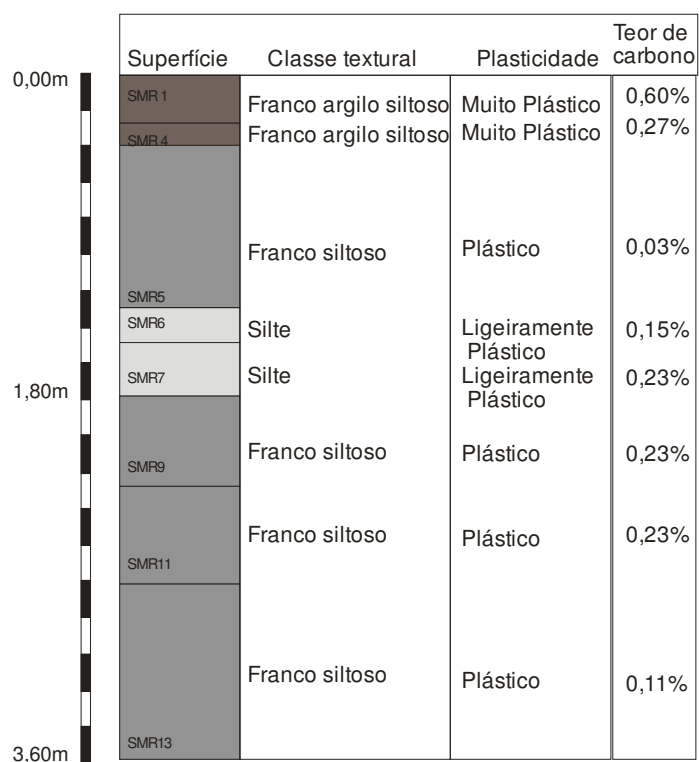


Figura 18. Esboço do perfil amostrado típico de uma jazida SMR do pólo cerâmico de Russas relacionando a profundidade de amostragem, classe textural, plasticidade e teor de carbono.

Na figura 19 estão plotados os dados de limite de plasticidade, teor de matéria orgânica e porcentagens de tamanho de partículas de argila, silte e areia, para as oito amostras. Nota-se que a plasticidade da matéria-prima variou, principalmente, em função do teor de finos presentes (partículas menores que 2 μ m).

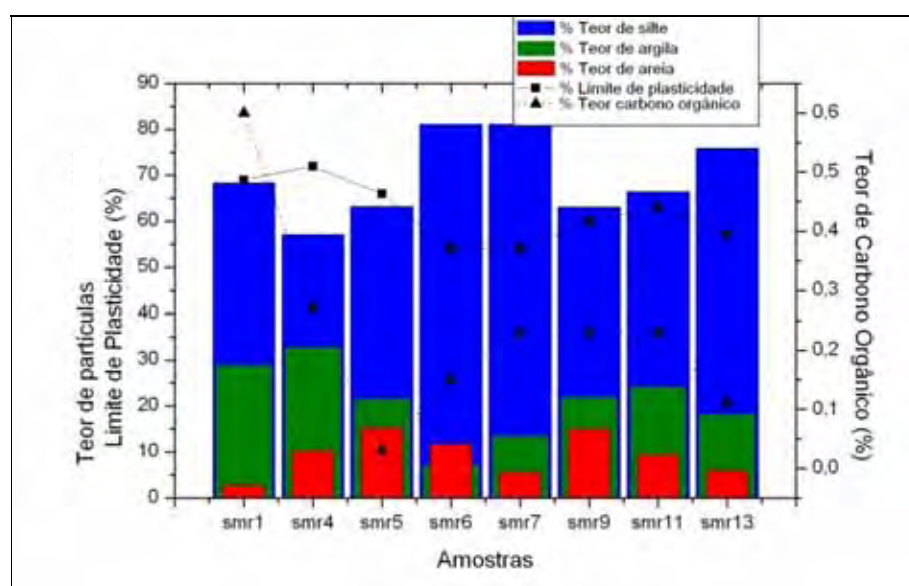


Figura 19. Relação entre o teor de partículas (silte, argila e areia), plasticidade e teor de carbono.

Na figura 20, estão descritos os resultados das análises granulométricas, para diâmetros variando de 0,062 mm a menor que 0,0005 mm. Estes resultados revelaram que, nas amostras, existem uma predominância de partículas fração silte e argila e em menor percentual a fração areia.

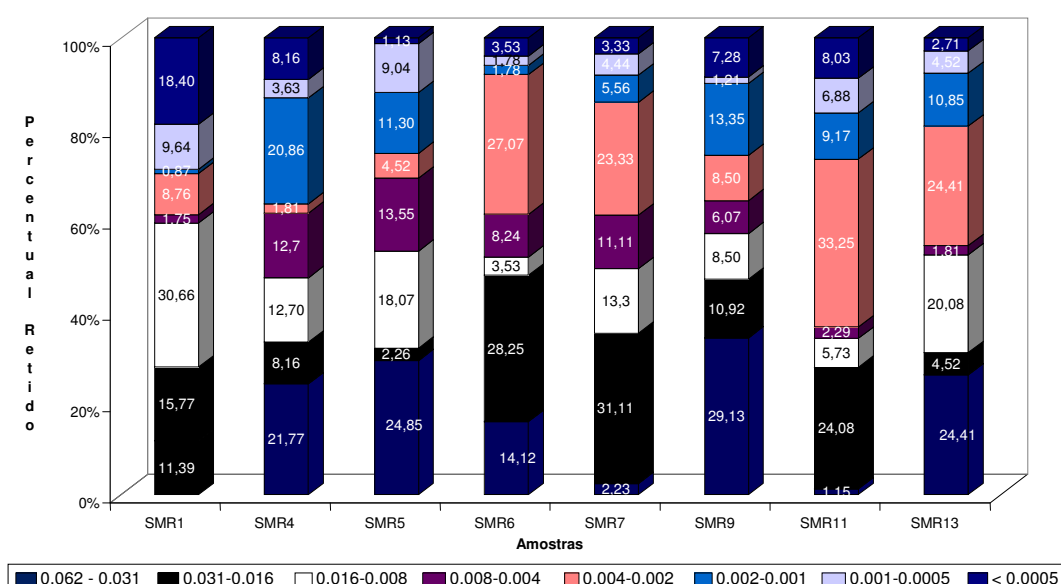


Figura 20. Distribuição granulométrica das partículas finas (silte e argila com partículas menor que 0,002 mm).

Pode ser observado, também, na figura 20, que as amostras com maior porcentagem de argila, ou seja, partículas com diâmetro menor que 0,002 mm são: SMR4 (32,65%), SMR1 (28,11%) e SMR11 (24,08%). Este conhecimento da distribuição granulométrica das partículas no processo cerâmico é importante, pois tem influência direta na prensagem e na queima, que por sua vez atua na resistência mecânica, na absorção d'água e na retração linear de queima.

Observa-se, ainda na figura 20, que as variações granulométricas não ocorrem gradativamente de finos, na superfície, à grossos em profundidade. A variação é heterogênea, ou seja, no início do perfil a porcentagem de finos ($< 0,002\text{mm}$) chega a 33% e a fração areia ($> 0,062\text{ mm}$) a 3%. No meio do perfil, a fração argila atinge a menor porcentagem, em torno de 7% e a fração areia 5%. Em maior profundidade, as frações argila e areia, atingem 18% e 6% respectivamente. A granulometria média da fração fina (argila) é de, aproximadamente, 21% e da fração grossa (areia) 9%.

Verifica-se que a distribuição granulométrica das amostras estudadas preliminarmente, com predominância de partículas silto-argilosas e pouco material arenoso, define o nível superior do depósito aluvionar do rio Jaguaribe. Este nível superior corresponderia à Unidade 1 do trabalho de Cabral e Maia (2001) descrito na figura 13.

Comparando os resultados preliminares, com os da tabela 3 (p. 55), verifica-se que esta ciclicidade textural se repete e define níveis plásticos e menos plásticos de pequena espessura. Essa heterogeneidade dificulta uma extração total, processada por nível, pois sendo de pequena espessura, os estratos seriam insuficientes para uma grande produção.

Com relação à exploração da matéria-prima, os ceramistas usam todo esse pacote superior para composição da mistura, e optou-se, nesta pesquisa, por utilizar o mesmo procedimento.

O fato da análise da plasticidade apresentar estratos com materiais mais plásticos do que outros, mostra que, o nível superior do depósito aluvionar, que pode chegar a 5 metros de espessura, já possui uma mistura natural de materiais argilosos e sedimentos areno-quartzosos, com características adequadas à indústria ceramista, fazendo com que algumas cerâmicas adicionem pouco ou nenhum desplastificante na massa.

Com base na relação granulometria-plasticidade, as amostras puderam ser subdivididas em dois grupos. O grupo I representado pelas amostras SMR1, SMR4, SMR5, SMR9 e SMR11 (argilosos), enquanto que o grupo II contém as amostras SMR6, SMR7 e SMR13 (menos argilosos).

A composição química foi quantificada por fluorescência de raios X (Tabela 7), para os elementos maiores em duas amostras, SMR4 e SMR6, representando cada um dos grupos definidos anteriormente.

Da análise química foram agrupados os elementos considerados fundentes em temperatura acima de 1000°C ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) e ($\text{CaO}+\text{MgO}$), refratários (SiO_2 e Al_2O_3), além do óxido de ferro (Fe_2O_3), encontrando-se semelhança entre os teores de silício e alumínio no conteúdo de óxidos alcalinos ($\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$) e alcalinos terrosos ($\text{CaO}+\text{MgO}$) (Tabela 8). Os carbonatos estão presentes, mas em pequenas quantidades. O teor de Fe_2O_3 acima de 5% é suficiente para a coloração vermelha dos corpos-de-prova após serem queimados a 950°C.

Tabela 7. Análises químicas por FRX das amostras SMR4 e SMR6 dos agrupamentos I e II. P.F: perda ao fogo.

Amostras	Elementos químicos (% em peso)										
	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	P.F.
SMR 4	62,02	0,82	16,22	5,96	0,10	1,56	1,61	1,70	3,13	0,15	6,75
SMR 6	64,80	0,77	15,88	5,05	0,07	1,40	1,56	1,75	3,35	0,11	5,26

Tabela 8. Relação entre os óxidos representantes dos agrupamentos I e II.

Agrupamento	Amostra.	$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (%)	Alcalinos (%) $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$	Alcalinos Terrosos(%) $\text{CaO} + \text{MgO}$	Fundentes (%) $(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}) + \text{CaO}+\text{MgO}$	% Refratários $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$
I	SMR4	3,82	4,83	3,17	8,00	78,24
II	SMR6	4,10	5,10	2,96	8,06	80,68

A composição mineralógica obtida pelas análises dos difratogramas de raios X da fração argila (Figura 19), mostrou a presença de caulinita, illita e montmorilonita na amostra SMR4 e, na SMR9 além desses argilominerais notou-se a presença da clorita.

Para se confirmar a presença da montmorilonita, a amostra foi glicolada e aquecida. Com exposição da amostra a um ambiente de atmosfera de etileno glicol, por 48 horas, houve expansão e deslocamento do pico da montmorilonita (de 15 Å para 17 Å). Após o aquecimento a 500°C, a montmorilonita e a caulinita foram destruídas, restando apenas o pico da illita, como pode ser visto no difratograma da amostra SMR9 (Figura 22). Já no difratograma da amostra SMR1, não ficou claro a presença de minerais expansivos, pelo aparecimento de picos difusos, evidenciou-se, apenas, argilominerais com espaçamento de 10 Å (mica/illita) bem cristalizados. Entretanto, a largura e assimetria do pico de 7 Å indicaram que a caulinita encontrava-se mal cristalizada.

O difratograma da amostra total SMR7 (Figura 21) indica a presença de minerais de quartzo, albita e plagioclásio, com picos bem simétricos, o que demonstra boa cristalinidade desses minerais. Observou-se que na amostra SMR7 e SMR9 não há evidência clara de argilomineral, devido a este grupo mineral ser de fração menor e/ou apresentar-se mal cristalizado. Na figura 22, é possível observar a presença de argilominerais expansivos, na amostra SMR9, resultante da alteração da illita e clorita.

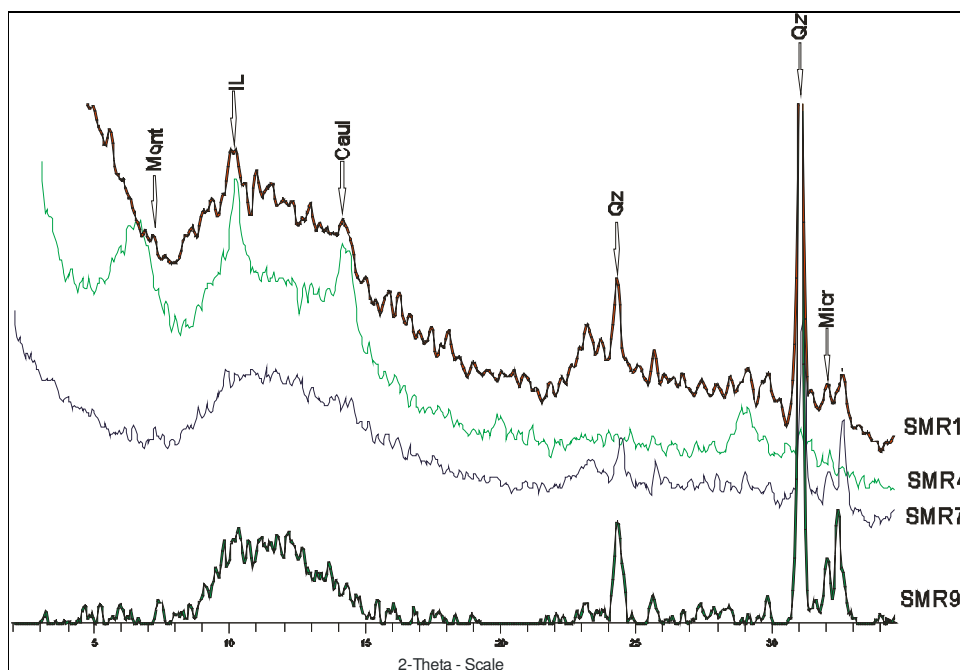


Figura 21. Difratogramas de raios X em perfil das amostras (total): Smr1; Smr4; Smr7 e Smr9, posicionados em ordem de profundidade no perfil. DRX com radiação CoK α e velocidade 3°(°2 θ)/min. Mont=Montmorilonita, IL=Illita, Caul=Caulinita, Qz=Quartzo, Micro=Microclíneo.

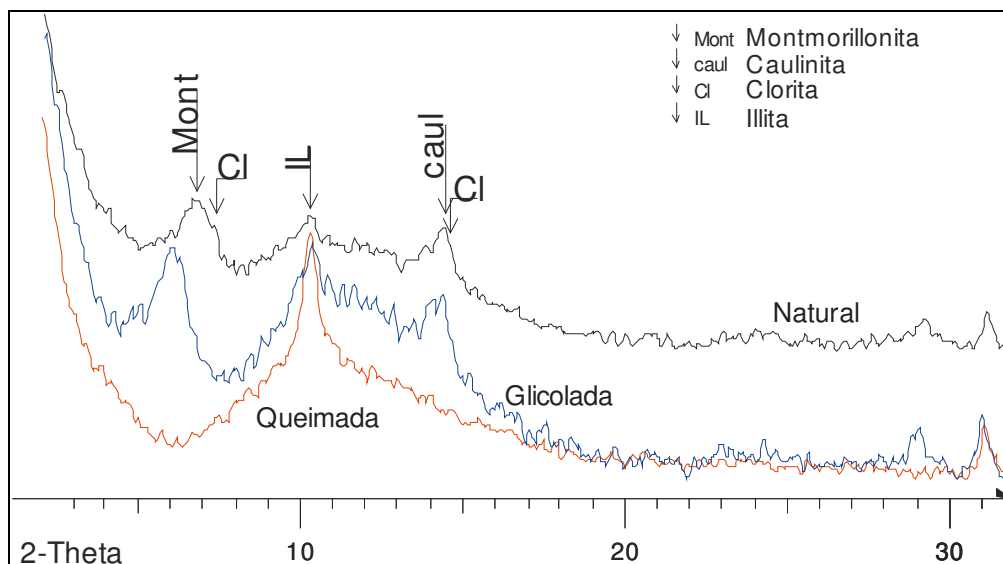


Figura 22. Difratograma da fração fina da amostra SMR9 na forma natural, tratada com glicol e queimada a 500°C. DRX com radiação $\text{CoK}\alpha$ e velocidade $3^\circ(2\theta)/\text{min}$.

6.2. Caracterização das argilas do Pólo de Russas.

6.2.1. Seleção e descrição dos materiais representativos do pólo de Russas

Os materiais, utilizados na pesquisa, são explotados em locais específicos dentro do vale fluvial (Figuras 23 e 24), em minas do parque cerâmico de Russas: os materiais plásticos, nos terraços próximos à indústria e os não plásticos, nos terraços atuais próximos às margens do rio Jaguaribe.

As siglas EZ, CT, IG e CD indicam as empresas pesquisadas. Quando acrescida da letra P, indica amostra coletada em mina de natureza plástica e NP coletadas em mina não plástica.

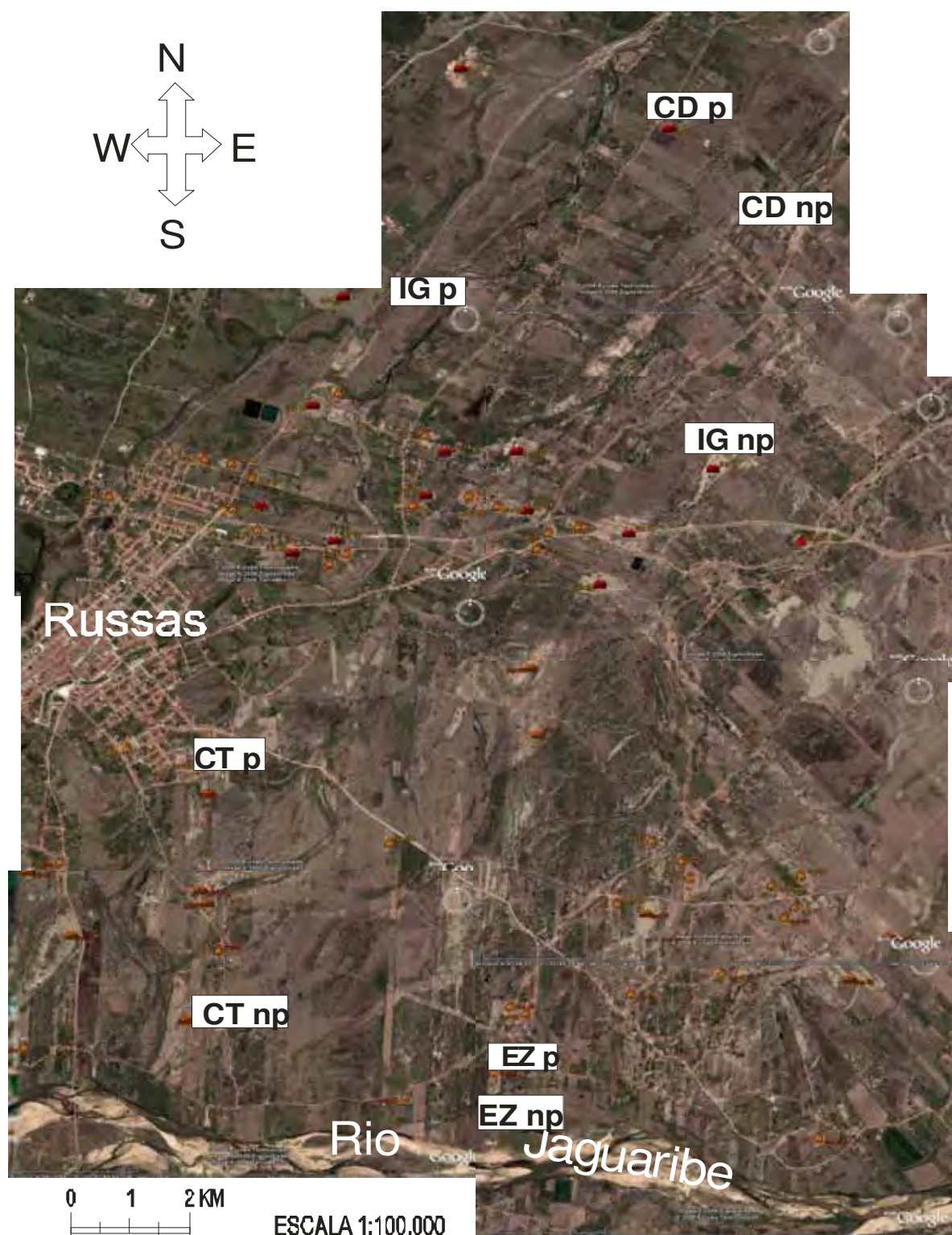
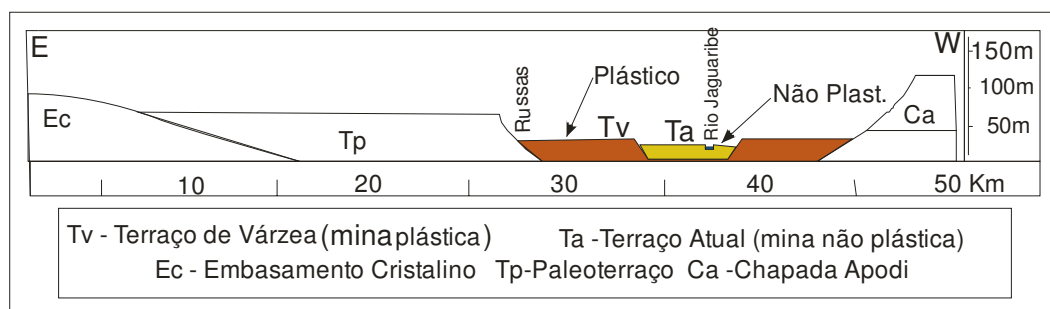


Figura 23. Mapa de localização dos pontos de coleta de amostras.



Fonte: Maia (2005, adaptado)

Figura 24. Perfil topográfico mostrando a localização das minas plásticas e não plásticas em função da sua posição no vale fluvial do rio Jaguaribe.

Análise de campo mostrou semelhança das minas plásticas e não plásticas (granulometria, estruturas e plasticidade), exceto a coloração. As diferenças foram evidenciadas em análises de laboratório.

De maneira geral, a frente de exploração de uma mina plástica (Figura 25 A e B) é subdividida em dois níveis argilosos, aparentemente, dominantes:

1. Nível superior de aproximadamente 50 cm de espessura, não utilizado na mistura, rica em matéria orgânica, de coloração preta e estrato delimitado pelo enraizamento das plantas, com textura siltosa.
2. O nível inferior de, aproximadamente, 4 metros de espessura, composto texturalmente por lentes silto-argilosas, de coloração marrom claro ou cinza, de granulação fina a muito fina, com alguns pequenos bolsões arenosos distribuídos aleatoriamente no corpo argiloso. Variações laterais podem apresentar, em subsuperfície, concreções calcárias e níveis ferruginosos.

Os materiais da mina não plástica (Figura 25 C e D) apresentam-se mais homogêneos, de textura areno-quartzosa (areia fina a grossa), de coloração creme a avermelhada, com estratos de, aproximadamente, 3 metros de espessura e níveis argilosos centimétricos.

Durante a extração desses materiais, os ceramistas não fazem distinção dos estratos, a não ser do capeamento orgânico que é expurgado, servindo, algumas vezes, para recompor a paisagem, após o término da exploração.



Figura 25. Detalhes dos estratos argilosos nas minas amostradas.

6.2.2. Análises físicas: granulometria e plasticidade

A tabela 9 relaciona os valores de distribuição das partículas em faixas granulométricas: fração areia com diâmetro superior a 62 μm ; fração silte com diâmetro entre 62 μm e 2 μm e fração argila com diâmetro inferior a 2 μm . (ABNT NBR 6502/95).

Tabela 9. Valores percentuais dos tamanhos das partículas em areia, silte e argila.

	Plásticas				Não Plásticas			
	CDp	IGp	CTp	EZp	CDnp	IGnp	CTnp	EZnp
Areia (%)	16,67	21,45	19,57	14,14	21,35	39,16	30,29	31,76
Silte (%)	47,99	49,22	45,43	53,05	52,94	43,12	49,18	52,75
Argila (%)	35,34	29,33	35	32,81	25,71	17,72	20,89	15,49

O conteúdo de areia nas amostras plásticas varia de 14% a 21% e nas amostras não plásticas de 21% a 32%. Já a quantidade de argila varia de, aproximadamente, 30% a 35% nas amostras plásticas e 15% a 26% nas amostras não plásticas. O conteúdo da fração silte é elevado e varia de, aproximadamente, 32% a 53%, tanto nas amostras plásticas como nas não plásticas. Estes dados se mostram semelhantes aos dados da tabela 2 referente à análise granulométrica realizada pelo NUTEC para a região.

As características granulométricas mais marcantes (Figuras 26 e 27) das amostras são: o conteúdo superior da fração argila nas amostras plásticas com até 20% a mais do que na não plástica; quantidade da fração areia superior nas amostras não plásticas e valores próximos da fração silte.

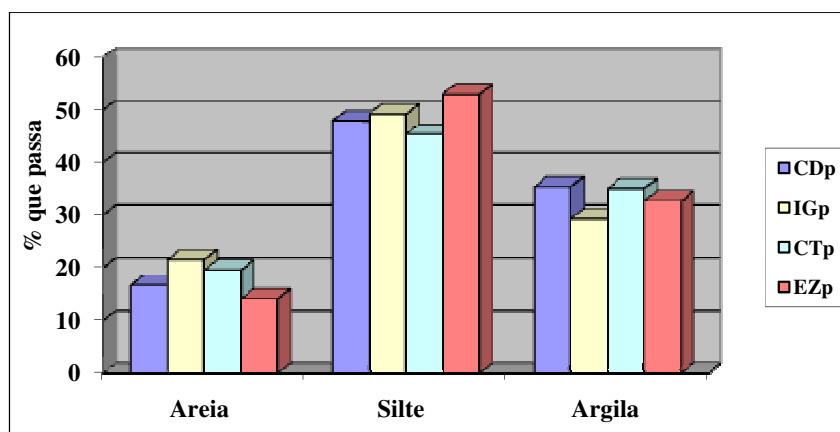


Figura 26. Histograma resultante da análise granulométrica relacionada à distribuição do tamanho do grão em areia, silte e argila para as amostras plásticas.

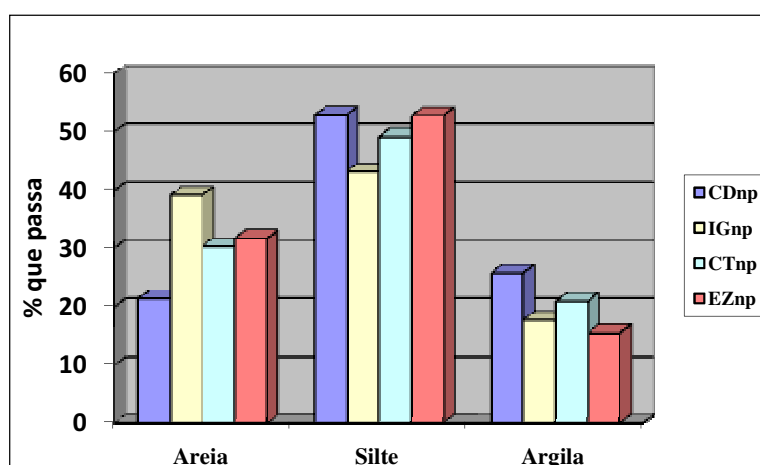


Figura 27. Histograma resultante da análise granulométrica relacionada a distribuição do tamanho do grão em areia, silte e argila para as amostras não plásticas.

Verifica-se, portanto, que o material silte-arenoso característico das amostras não plásticas difere do comportamento argilo-siltoso das amostras plásticas. Este comportamento textural diferenciado define dois agrupamentos (Figura 28) para as amostras.

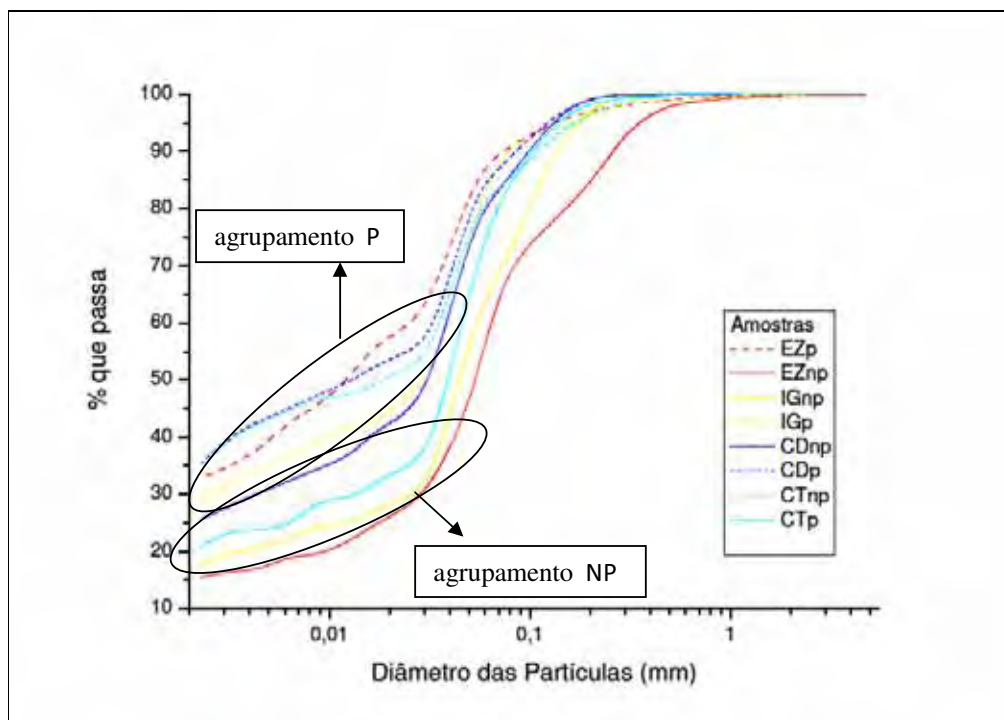


Figura 28. Curvas granulométricas das argilas estudadas. Destacados em círculos os agrupamentos identificados.

O agrupamento plástico (P) apresenta uma porcentagem maior de partículas finas, com diâmetro inferior a 0,002 mm, do que o agrupamento não plástico (NP), formado por um conteúdo maior de partículas grossas, diâmetro superior a 0,062mm, determinando a relação de empacotamento entre os grãos de grande importância nas propriedades cerâmicas dos corpos-de-prova queimados.

Este empacotamento varia, principalmente, com o arranjo das partículas, formato do grão e a distribuição granulométrica, tendo a finalidade de provocar a penetração dos grãos na massa, estabelecendo assim, o equilíbrio na composição granulométrica (PHELPS, 1972; VAN VLACK, 1973; REED, 1995, BARBA, 1997, GOMES, 2002).

Além da distribuição granulométrica, o teor de plasticidade das argilas contribuiu na identificação dos dois agrupamentos. O índice de plasticidade (IP) identificado (Tabela 10) revela que o agrupamento não plástico corresponde a materiais pouco a medianamente plásticos com valores de IP inferiores a 15%, e o agrupamento plástico com IP superior a 15 enquadra-se como argilas muito plásticas.

Tabela 10. Resultados do ensaio de plasticidade. $IP = LL - LP$

Amostras	Plástica				Não Plástica			
	CDp	IGp	CTp	EZP	CDnp	IGnp	CTnp	EZnp
LL (%)	41	38	47	38	32	28	34	20
LP (%)	23	22	25	23	20	17	20	16
IP (%)	18	16	22	15	12	11	14	4

“ LL= limite de liquidez; LP= limite de plasticidade e IP= índice de plasticidade

O IP mais elevado nas amostras plásticas é influenciado pela granulometria mais fina das partículas e baixos teores de grossos, além da porcentagem alta de argilominerais e matéria orgânica. Já os valores baixos de IP para as amostras não plásticas estão relacionados, principalmente, à presença de quartzo e outros desplastificantes que tendem a diminuir a plasticidade das argilas.

Durante os experimentos verificou-se que a alta plasticidade das matérias-primas argilosas dificultou a prensagem dos corpos-de-prova quando a umidade de prensagem das amostras ultrapassou 10%, fazendo com que o material ficasse preso ao molde. Utiliza-se a mistura das matérias-primas na composição da massa para o ajuste da plasticidade.

6.2.3. Análises mineralógicas: difração de raios X e microscopia ótica

A análise difratométrica utilizada na identificação dos minerais presentes nas argilas P e NP (Figuras 29 e 30), apresentou, em geral, similaridades mineralógicas entre si. No difratograma da amostra total foram identificados: quartzo, plagioclásio, feldspato potássico e filossilicatos; e na fração argila foram identificados esmectita, illita, caulinita e a presença de um interestratificado irregular illita-esmectita em pequena quantidade na amostra CDnp.

Com relação à análise semiquantitativa (Tabela 11), observou-se que, na amostra total, o maior teor de quartzo e plagioclásio nas amostras NP, indicam menor alteração destes do que em P, por outro lado, as argilas P são mais ricas em argilominerais do que as NP.

Tabela 11. Resultados composicionais da análise semiquantitativa das amostras CDp, CDnp, CTp e CTnp.

	Cálculo: Amostra Total			
mineral	Argilominerais	Quartzo	Plagioclásio	Feldspato K
CTp	62%	16%	8%	14%
CTnp	50%	24%	19%	7%
CDp	45%	18%	9%	28%
CDnp	39%	25%	14%	10%

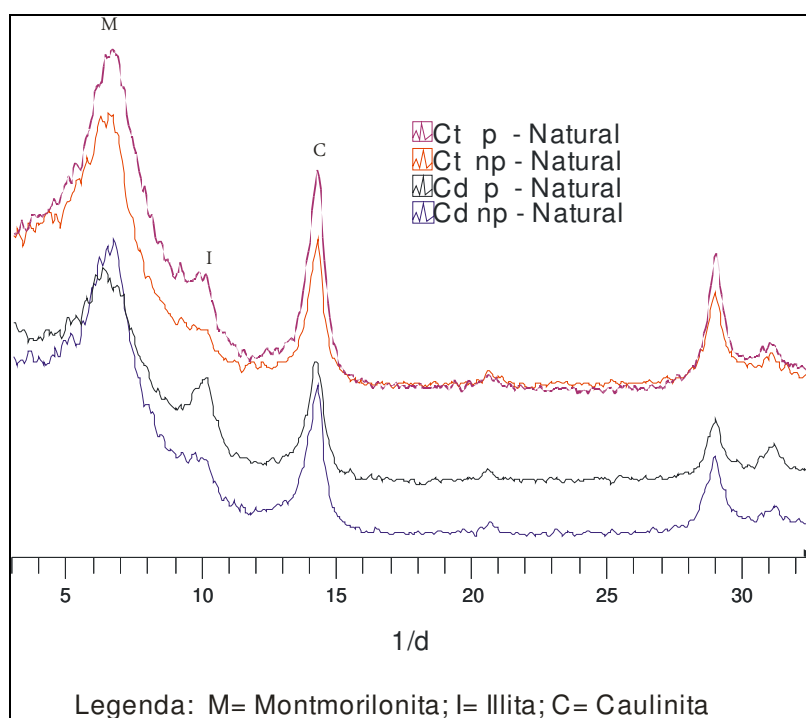


Figura 29. Difrátogramas das amostras naturais (fração argila <2 μ)

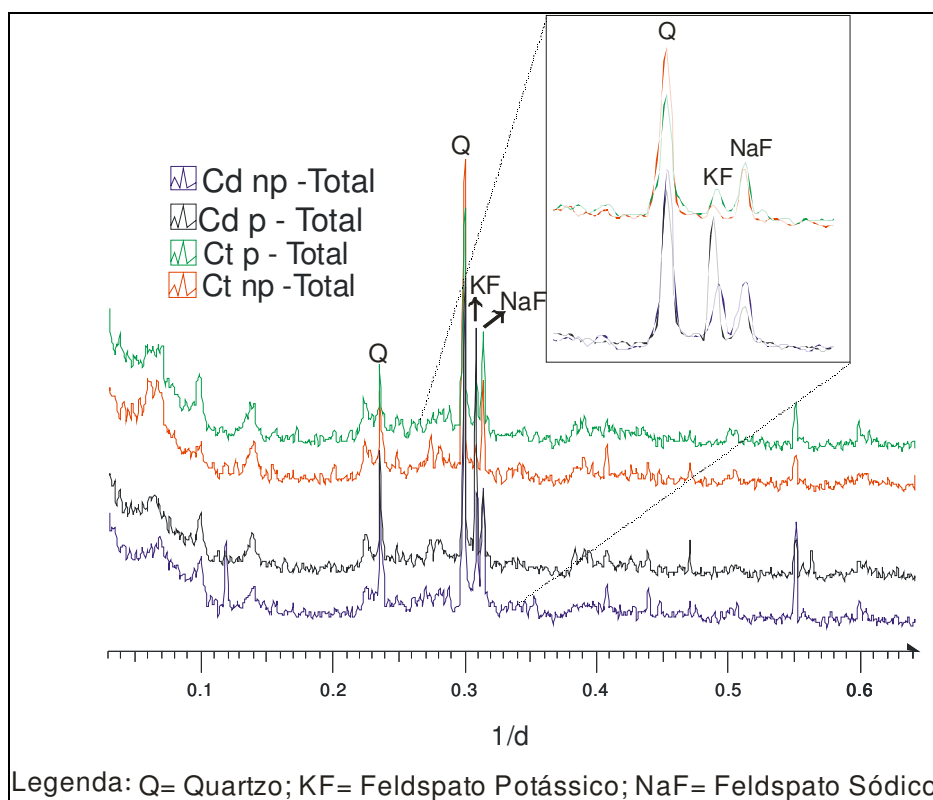


Figura 30. Difratogramas das amostras totais.

As diferenças, aparentemente pequenas, são suficientes para dar características cerâmicas diferenciadas entre as argilas P e NP, como demonstrado na caracterização tecnológica (subitem 6.2.5).

Complementando a caracterização mineralógica por difração foi realizada uma análise microscópica no resíduo da peneira 170 e 325 mesh na forma de lâminas (Figura 31), identificando os seguintes minerais: quartzo, feldspato potássico tipo microclínio, plagioclásio sódico (tipo albita e oligoclásio), plagioclásio mais cálcico (tipo andesina), anfibólio (hornblenda), micas (muscovita e biotita), turmalina verde, zircão, carbonatos, magnetita e ilmenita, como também aglomerados argilosos.

Dentre os minerais encontrados, o quartzo é o mais representativo, sendo seguido por albita, microclínio, hornblenda, micas e calcita. Em menor proporção: hematita, turmalina, zircão, magnetita e ilmenita.

Observa-se, algumas espécies de minerais pesados. Dentre estes a hornblenda, a turmalina e o zircão são os principais minerais transparentes e a

ilmenita o principal mineral opaco. Os grãos de quartzo, de uma maneira geral, são de baixa esfericidade.

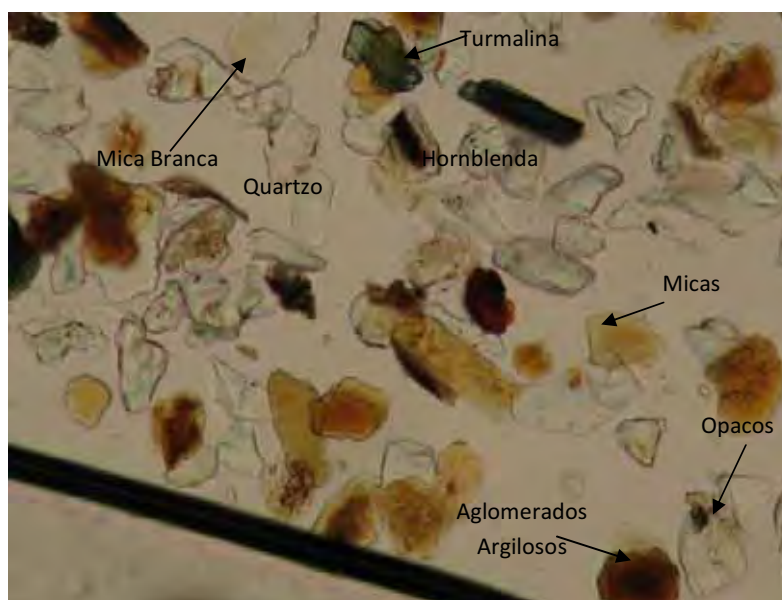


Figura 31. Fotomicrografia dos minerais identificados caracterizando a diversidade morfo-dimensional dos grãos presentes no depósito aluvionar.

Na análise, os minerais apresentam tamanhos variando de 0,05mm a 0,03mm. Os feldspatos são rugosos, ondulados e angulosos, enquanto que os clastos quartzosos aparecem mais lisos e aproximadamente esféricos. A calcita ocorre como pequenos cristais translúcidos, arredondados e alguns angulosos. Os argilominerais aparecem como aglomerados de coloração marrom. Os minerais opacos, ocorrem como minúsculos pontos arredondados. Os demais minerais de várias formas tais como: tabulares, em placas e bastões.

Esta análise morfotextural e dimensional dos grãos juntamente com a análise da composição química sugerem uma procedência, tanto proximal quanto distal, do depósito aluvionar em relação as rochas-fonte e/ou o seu retrabalhamento.

A importância deste estudo, reside no fato do mesmo propiciar parâmetros que permitam uma correlação de proveniência dos sedimentos aluvionares com as respectivas áreas-fonte. Parte-se do princípio que a abundância e a granulometria dos minerais pesados, em sedimentos, são função do tipo litológico e de outras características da fonte, bem como do meio de transporte.

De acordo com as referências de Silva (2001) e Teixeira et al. (2003), e os dados analíticos interpretados, a região mostra uma complexidade, em termos de mineralogia e geoquímica das argilas estudadas, e sugerem que estas sejam provenientes de uma variedade de materiais geológicos, desde rochas cristalinas pré-Cambrianas (Complexo Nordeste e Grupo Ceará) a rochas sedimentares Mesozóicas: siliclásticas (Formação Açu) e carbonáticas (Formação Jandaíra) da bacia Potiguar; arenitos e conglomerados Terciários da Formação Faceiras (Grupo Barreiras) e coberturas aluvionares recentes até alcançar o oceano Atlântico no município de Fortim, Ceará.

Os grãos e agregados cristalinos de calcita e dolomita, na fração areia, de dimensões centimétricos a milimétricos, em associação com a morfoscopia observada sugerem transporte dos grãos de uma pequena distância da área fonte sem que os mesmos tenham sofrido processos de intemperismo significativo indicando uma procedência dos carbonatos da formação Jandaíra posicionados ao longo da margem direita do rio Jaguaribe.

Provavelmente, os minerais de hornblenda e zircão provenham de um transporte distal e sejam originados dos ortognaisses do Complexo Nordeste/Caicó e anfibolitos do Grupo Ceará.

A constituição dos argilominerais, também presente nestes depósitos e já identificados (composição ternária consistindo de illita, caulinita e montmorilonita) têm características, principalmente, herdadas da alteração dessa diversidade mineralógica.

6.2.4. Análises químicas: Espectrometria por Fluorescência de Raios X e carbono orgânico

Neste item, foram organizados os resultados da caracterização das argilas por meio da análise química tentando relacioná-los aos resultados mineralógicos, granulométricos e litológicos já descritos.

A tabela 12 mostra os valores quantitativos da análise química das amostras CD (np e p) e CT (np e p). A partir dos resultados desta análise foi possível verificar

a similaridade com outros materiais cerâmicos tradicionais localizados em parques cerâmicos próximos.

As principais diferenças entre as amostras não plásticas e plásticas ocorrem pelo quantidade maior de Al_2O_3 , Fe_2O_3 e perda ao fogo, e menor de Na_2O .

Tabela 12: Análises químicas dos elementos maiores na forma de óxidos encontrados nas amostras CD(np e P) e CT (np e p).

Elementos	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	TiO_2	P_2O_5	P.F.
Amostra	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
CDnp	62,94	17,16	5,74	0,08	1,58	1,40	2,09	3,03	0,80	0,08	5,10
CDp	60,12	18,08	6,59	0,10	1,63	1,19	1,43	3,11	0,87	0,10	6,78
CTnp	60,79	17,98	6,48	0,10	1,48	1,15	1,81	3,04	0,87	0,08	6,22
CTp	56,42	19,63	7,66	0,13	1,79	0,96	1,48	2,94	0,97	0,11	7,90

Comparando os dados químicos, mineralógicos e litológicos, observa-se que os óxidos principais SiO_2 e Al_2O_3 variam em quantidade relativa, dependendo da quantidade dos argilominerais e feldspatos, mas principalmente do quartzo, presente preferencialmente nas amostras não plásticas resultado do retrabalhamento de grande parte das rochas tidas como área fonte dos aluviões.

Parte do conteúdo de CaO está relacionado aos plagioclásios e parte aos carbonatos que constituem o Grupo Apodi. Já o teor de MgO presente evidencia a biotita detrítica, esmectita e clorita de acordo com a composição mineralógica de cada amostra. Estes minerais foram identificados em lupa e, em algumas amostras, por difratometria.

O teor de Na_2O evidenciado nas amostras não plásticas está relacionado, também, à presença do plagioclásio identificada tanto na fração fina por difração de raios X como nas frações silte e areia quando analisados por lupa, enquanto que o teor de K_2O está relacionado aos minerais de muscovita e illita e FK. As micas, além de serem identificadas por difração foram identificadas por lupa e amostra de mão, principalmente, no material não plástico.

A perda ao fogo mostra-se pouco superior nas amostras plásticas, principalmente CTp, e está relacionada à perda de hidroxilas dos argilominerais (mais abundante), ao teor de carbono orgânico (Tabela 13) inferior nas amostras não plásticas e aos carbonatos.

Tabela 13. Teor de carbono orgânico (C.O) presente nas amostras

Amostra	CDp	CDnp	CTp	CTnp	EZp	EZnp	IGp	IGnp
C.O (%)	0,48	0,23	0,52	0,35	0,40	0,18	0,46	0,26

6.2.5 Caracterização tecnológica

Nesta seção as características físicas e mineralógicas são avaliadas em relação às propriedades tecnológicas obtidas nos corpos-de-prova queimados em diferentes temperaturas.

Embora nas indústrias do Pólo as peças sejam conformadas por extrusão, este estudo foi realizado em peças prensadas (Figura 32) com densidade de prensagem de aproximadamente 2,0 g/cm³ e umidade de prensagem em torno de 8,0%.



Figura 32. Visualização dos corpos de prova prensados seco e queimados .

Para a caracterização das propriedades físicas das amostras CD (np e p) e CT (np e p) foram feitos os ensaios de retração linear de secagem (RLS) e tensão de ruptura à flexão (TRF) nos corpos-de-prova secos à 110°C e, RLS, TRF e absorção de água (AA) em corpos de prova submetidos à queima a 850°C, 875°C, 900°C, 925°C, 950°C, 1020°C, 1040°C e 1060°C (Tabela 14). É importante ressaltar que na

indústria cerâmica de Russas usualmente as peças cerâmicas são queimadas numa faixa de temperatura entre 800°C e 850°C.

Como resultados da caracterização tem-se que os corpos-de-prova secos à 110°C apresentaram retrações lineares com valores menores que 1% e resistências mecânicas entre 1,9 Mpa e 4,5 Mpa (tabela 14). O maior conteúdo de argilominerais (partículas mais finas) influenciaram na maior retração linear de secagem e na maior resistência à flexão a seco nas amostras plásticas quando comparado com as não plásticas.

Tabela 14 . Valores das variáveis físicas analisadas nos corpos-de-prova nas diversas temperaturas de queima e quando secos.

	Amostras			
	CDp	CDnp	CTp	CTnp
Ensaios de corpos de prova secos a 110°C				
Retração Linear de Secagem (%)	0,8±0,0	0,4±0,0	0,7±0,0	0,2±0,0
Tensão de Resistência à Flexão (MPa)	4,5±0,7	2,0±0,2	3,3±0,2	1,9±0,3
Ensaios dos corpos de prova queimados a 850°C				
Retração Linear de Queima(%)	1,3±0,1	0,4±0,1	1,6±0,1	0,4±0,1
Tensão de Resistência à Flexão (MPa)	8,1±1,1	4,8±1,0	5,1±0,7	4,3±0,2
Absorção de Água (%)	13,2±0,3	14,3±0,2	14,0±0,6	15,8±1,0
Ensaios dos corpos de prova queimados a 875°C				
Retração Linear de Queima(%)	1,5±0,3	0,4±0,1	2,0±0,1	0,7±0,2
Tensão de Resistência à Flexão (MPa)	9,3±1,0	5,3±0,9	5,3±0,4	4,4±0,8
Absorção de Água (%)	12,9±0,2	14,2±0,2	13,8±0,3	14,9±0,5
Ensaios dos corpos de prova queimados a 900°C				
Retração Linear de Queima(%)	1,5±0,2	0,5±0,0	2,3±0,2	0,9±0,2
Tensão de Resistência à Flexão (MPa)	8,3±0,8	4,8±0,8	5,7±0,1	4,6±0,2
Absorção de Água (%)	12,8±0,2	14,1±0,1	13,6±0,1	14,8±0,5
Ensaios dos corpos de prova queimados a 925°C				
Retração Linear de Queima(%)	1,9±0,1	0,7±0,2	2,8±0,1	1,1±0,2
Tensão de Resistência à Flexão (MPa)	9,1±0,8	4,4±0,4	5,8±0,2	4,8±0,1
Absorção de Água (%)	12,7±0,1	14,0±0,3	13,5±0,7	14,7±0,4
Ensaios dos corpos de prova queimados a 950°C				
Retração Linear de Queima(%)	2,6 ±0,1	1,1±0,1	3,1±0,1	1,5±0,1
Tensão de Resistência à Flexão (MPa)	9,6±1,6	4,7 ±0,6	6,1±0,5	4,9±0,5
Absorção de Água (%)	10,6±0,4	12,6±0,2	12,3±0,9	12,8±0,8
Ensaios dos corpos de prova queimados a 1020°C				
Retração Linear de Queima(%)	4,5 ±0,2	2,4±0,4	5,4±0,2	2,6±0,1
Tensão de Resistência à Flexão (MPa)	13,7±1,2	8,2±1,1	7,8±0,7	5,0±0,3
Absorção de Água (%)	8,0±0,8	10,4±0,1	10,8±1,0	11,5±0,9
Ensaios dos corpos de prova queimados a 1040°C				
Retração Linear de Queima(%)	5,2±0,1	2,7±0,3	6,9±0,2	3,4±0,1
Tensão de Resistência à Flexão (MPa)	16,5±1,2	10,3±0,6	8,0±1,7	5,2±1,4
Absorção de Água (%)	6,8±0,5	9,5±0,4	9,0±0,4	10,5±0,9
Ensaios dos corpos de prova queimados a 1060°C				
Retração Linear de Queima(%)	6,1±0,2	3,9±0,2	8,6±0,1	3,9±0,2
Tensão de Resistência à Flexão (MPa)	19,2±1,3	12,4±1,0	10,7±1,3	5,9±0,7
Absorção de Água (%)	5,0±0,1	8,4±0,2	7,6±0,7	10,0±1,0

Na figura 33, observa-se um comportamento diferenciado dos valores de retração linear das amostras, nas diversas temperaturas de queima. Abaixo de 1000°C a RLQ, tem uma variação suave e, acima desta temperatura verifica-se um crescente aumento da propriedade analisada.

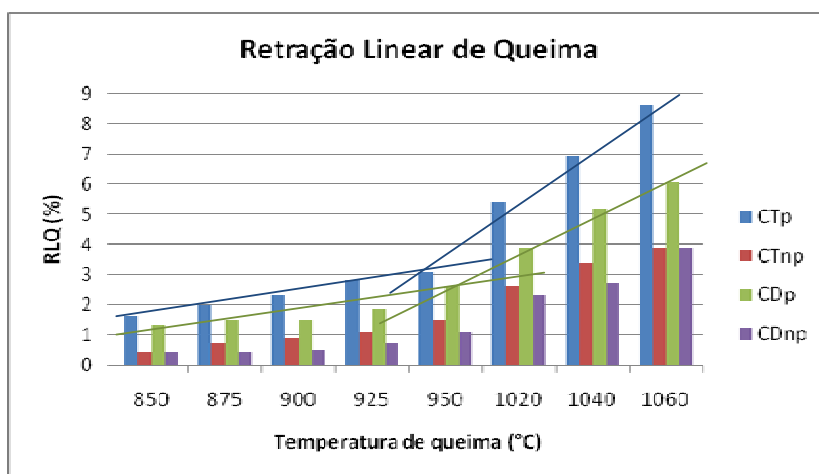


Figura 33. Retração linear para as amostras nas diversas temperaturas de queima. Fazer as linhas de tendência nas colunas acima.

Esse comportamento está relacionado com as diferentes reações atuantes durante a queima dos corpos analisados no trabalho. Abaixo de 1000°C, as reações que ocorrem sofrem influência, principalmente, de pequenas mudanças de arranjo, deslocamento e acomodação de partículas, com consequente diminuição da porosidade, o que confere pouca variação de retração e define uma sinterização por fase sólida. Quando os corpos-de-prova são aquecidos a temperatura mais elevada, aproximadamente, 1000°C, ocorre também uma sinterização via fase líquida que eleva consideravelmente a RLQ, principalmente, nas amostras com maior conteúdo de argilominerais. Ambos sistemas atuam no sentido de densificar a estrutura do corpo e gerar maior resistência à peça.

As amostras plástica CTp e CDp apesar de terem a mesma distribuição granulométrica (figura 34) apresentam grande diferenciação de retração em todas as temperaturas. O que mostra a influência da mineralogia na sinterização. Observa-se entre estas duas amostras que CTp apresenta maior RL, maior AA e menor RFT. Segundo a tabela 11, a amostra CTp tem grande quantidade de argilominerais que causa retenção maior de água, além de maior porosidade devido ao maior conteúdo de desplastificantes, o que causa maior AA e menor TRF.

Para as amostras não plásticas a RLQ foi menor, pois esta apresenta maior quantidade de desplastificante como o quartzo e KF e menor de argilominerais, portanto menor superfície específica dos grãos e pouca água adsorvida, ao contrário das argilas plásticas, cujo conteúdo de desplastificante é menos acentuado e um maior teor de argilominerais, faz com que a peça tenha maior retração.

Essas diferenças dimensionais dos corpos de prova, resultantes da retração linear de queima, podem ser evidenciados nas peças queimadas à temperatura acima de 1000°C (Figura 34).



Figura 34. Foto dos corpos de prova plásticos e não plásticos evidenciando a retração maior entre as peças queimadas à temperatura acima de 1000°C.

Ao contrário dos resultados da retração linear, a absorção de água nos corpos de prova (Figura 35), variou suavemente quando estes foram queimados à temperatura abaixo de 1000°C, e mais acentuadamente acima de 1000°C.

Do mesmo modo, que na RLQ, a composição, também, influenciou a AA, imprimindo aos materiais não plásticos valores maiores do que os plásticos, pois a amostra não plástica de composição mais arenosa apresenta um volume de vazios maior e por conseguinte superior absorção que a plástica composta de materiais de granulometria mais fina, ou seja, quanto mais poroso maior a absorção de água.

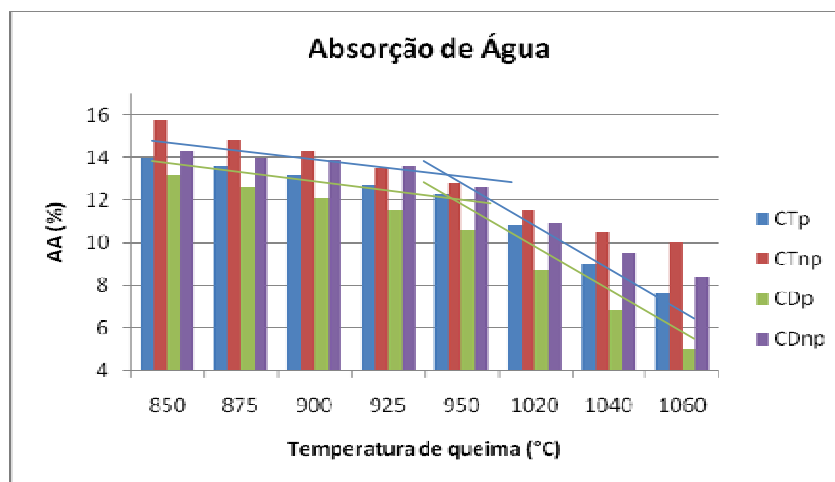


Figura 35. Valores de absorção de água nas diversas temperaturas de queima.

A diferença granulométrica entre a amostra plástica (mais fina) e não plástica (mais grossa), observado nos corpos-de-prova queimados (Figura 36) evidencia a influência que esta propriedade exerce sobre o processo de sinterização dos corpos fazendo com que interação seja mais lenta nos NP que retarde a redução dos tamanhos dos poros nos contatos intergranulares que por sua vez influi no índice de absorção de água, sendo maior para a amostra NP.



Figura 36. Corpos de prova queimados à temperatura de 925°C mostrando diferente densificação entre as amostras plástica e não plástica.

A TRF apresentou comportamento semelhante ao da RLQ, ou seja, aumenta com a temperatura de queima, entretanto as amostras plásticas foram mais

influenciadas, pois nestes materiais a porosidade aparente diminuiu e os grãos se uniram por efeito da maior reatividade adquirindo maior resistência (Figura 37).

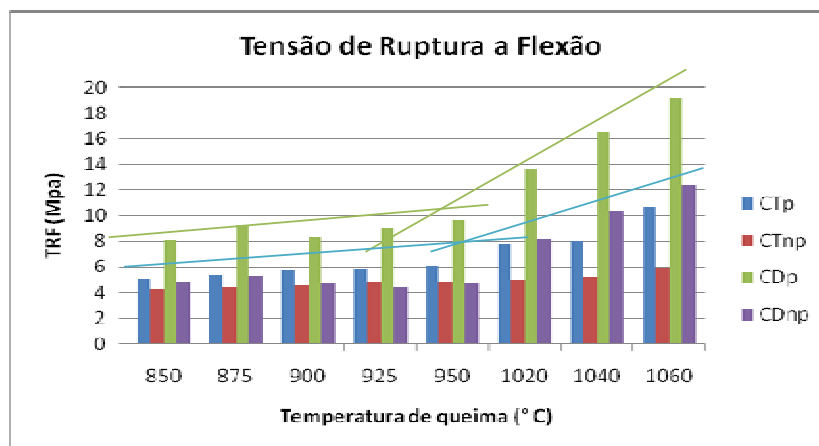


Figura 37. Valores de tensão ruptura à flexão nas temperaturas de queimas.

Entre as amostras plásticas (CTP e CDP), a CTp apresenta maior retração devido a maior retenção de água (conteúdo maior de argilomineral), maior AA e menor TRF evidenciado pela maior porosidade e um maior conteúdo de quartzo/KF.

Para avaliar o grau de sinterização foi construído um diagrama de gresificação (Figura 38) representado simultaneamente para as variáveis de RLQ e a AA dos corpos-de-prova submetidos as mesmas condições de conformação e temperatura de queima. O gráfico mostra que nenhuma das amostras apresentou absorção de água próxima a zero. Considera-se, portanto, que nas temperaturas em que foram queimadas as amostras ocorreu somente uma densificação parcial da estrutura com baixa eficiência de sinterização.

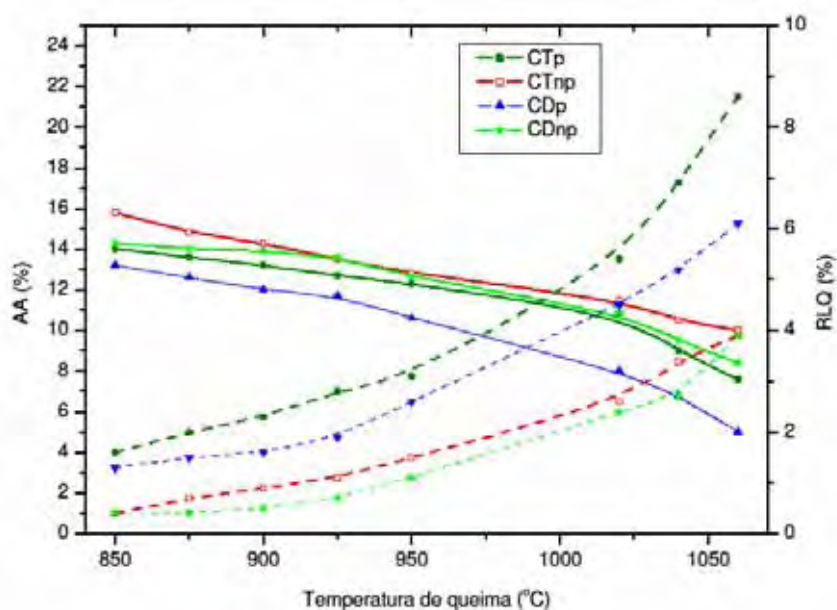


Figura 38. Curvas de gresificação mostrando o processo de sinterização dos corpos-de-prova. As linhas sólidas definem a AA e as linhas pontilhadas definem a RLQ.

As argilas plásticas (CDp e CTp), como também os materiais não plásticos (CDnp e CTnp) apresentaram comportamento semelhante de sinterização entre si devido a sua composição e distribuição granulométrica similares. Por apresentar uma granulometria com frações, predominantemente, grossas e grande quantidade de quartzo, a amostra não plástica, quando submetida à queima não ficou bem sinterizada, situação pouco melhor para a amostra plástica.

Os mecanismos de sinterização dos corpos-de-prova são melhor visualizados nas curvas de gresificação para as amostras plásticas, considerando a faixa de temperatura de queima, devido à sua granulometria fina e maior conteúdo de argilominerais. Observa-se, que as linhas que representam a retração linear de queima (Figura 38) tem uma tendência de uma reta com menor inclinação para temperatura abaixo de 1000°C. As linhas tomam trajetórias de inclinação mais acentuada para temperaturas acima de 1000°C.

Analisando esta representação gráfica pode-se observar que abaixo de 1000°C a densificação é resultado do aumento da área de contato entre as partículas envolvendo deslocamento e rotação destas e diminuição dos vazios num mecanismo de sinterização definida via fase sólida sem que haja qualquer tipo de

líquido na estrutura. Por outro lado, quando há aumento de temperatura, a partir de 1000°C, o material fundente, menos os KF, presente na composição das amostras gera líquido que flui para dentro dos vazios e preenche parte do volume dos poros fechando a estrutura mais facilmente e definindo uma sinterização por fase líquida com melhores resultados de densificação e melhoria da resistência a flexão..

A influência de um maior conteúdo relativo de minerais granulares, como quartzo e feldspatos e menor de partículas de tamanho silte e argila definiram, nos materiais não plásticos, uma estrutura mais aberta, resultando em RLQ baixos e AA altos. O índice de AA maior no intervalo de queima abaixo de 1000°C, provavelmente, foi consequência de uma perda de massa associada a perda de hidroxilas resultante da decomposição dos argilominerais.

Os corpos-de-prova confeccionados para estes experimentos foram queimados à temperatura de 925°C, pois o processo de sinterização abaixo de 1000°C, na maioria das vezes, é influenciado significativamente pela distribuição granulométrica. parâmetro considerado importante na formulação de massa nas amostras estudadas.

A Norma NBR 15.310/2005 estabelece terminologias, requisitos e métodos de ensaios exigíveis para as telhas cerâmicas e destaca a importância do controle permanente da produção pelo fabricante com a finalidade de garantir a eficácia da telha no sistema de cobertura. De acordo com esta Norma as telhas cerâmicas devem ser fabricadas com argila conformada, por prensagem ou extrusão, e queimadas de forma a permitir que o produto final atenda às condições determinadas.

No caso do pólo cerâmico de Russas a conformação das peças é feita por extrusão, diferente da conformação utilizada na pesquisa, que foi feita por prensagem, situação que deve ser levado em consideração para efeito de comparação entre resultados realizados pelos dois processos. A figura 39 mostra a diferenciação na absorção de água de peças industriais extrudadas relativa aos corpos-de-prova prensados em laboratório. Desta forma não é possível uma comparação, uma vez que os processos são diferentes.

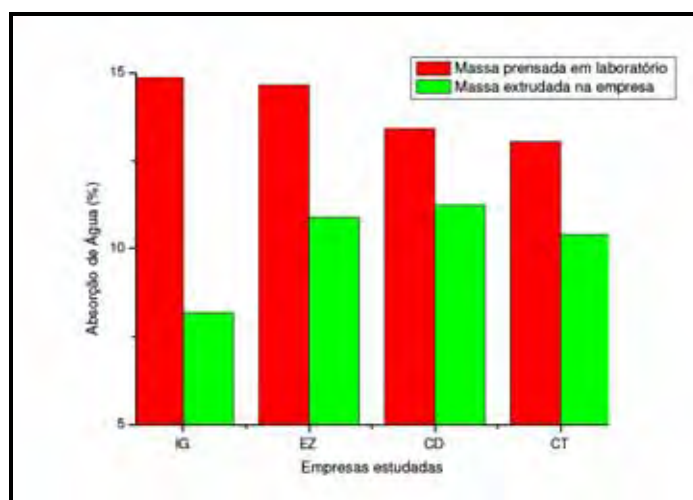


Figura 39. Os valores de AA para corpos-de-prova conformados por prensagem em laboratório e telhas extrudadas coletadas nas empresas.

Verifica-se, também, nos ensaios realizados pelo NUTEC em diversas cidades do Pólo (Tabela 1), que a AA de corpos extrudados e queimados a 900°C a AA varia 8,9% a 13,6%, também valores menores que os obtidos neste trabalho

Para a fabricação de telhas a NBR 15.310 (ABNT, 2005) determina que o limite máximo admissível na absorção de água, em clima tropical, seja de 20%. Os resultados (Tabela 15) mostram que todas as amostras CD e CT estão abaixo desse valor, ou seja em conformidade com a Norma.

Tabela 15. Comparação dos valores de AA e TRF em corpos de prova queimados na temperatura de 925°C conforme a norma NBR 15.310 (ABNT, 2005).

Amostras	CDp	CDnp	CTp	CTnp	NBR 15.310 (ABNT, 2005)
AA (%)	12	14	13	14	< 20
TRF (kgf/cm ²)	91	44	58	48	> 100

Em relação à tensão de ruptura à flexão (TRF), a NBR 15.310 determina que os valores não sejam inferiores a 100 kgf/cm² para telhas simples de sobreposição. Os ensaios revelaram valores abaixo da Norma (Tabela 15), mas não necessariamente em desconformidade, pois estes valores são influenciados por variáveis experimentais como equipamento utilizado na pesquisa, procedimento experimental e tamanho reduzido das peças, e em função destas circunstâncias devem servir, como informação, sendo necessário adequar o método as condições de trabalho.

6.3. Experimentos de misturas

Com os resultados dos experimentos de misturas, utilizando o método Gráfico complementado pelo método do Algoritmo, pretende-se contribuir com uma proposta que modifique a técnica artesanal utilizada atualmente no Pólo criando uma imagem de identidade para o APL, através da uniformização dos produtos desenvolvidos.

6.3.1. Estudo das misturas através do método gráfico

Quando se investiga uma propriedade cerâmica (AA, RLQ, TRF) de uma massa de composição binária, a propriedade analisada, nos corpos-de-prova, depende da proporção dos componentes misturados e do empacotamento adquirido durante a prensagem, ou seja, da distribuição granulométrica resultante na mistura. Ao serem queimados, a sinterização vai depender, também, da temperatura, do tempo de permanência na temperatura máxima e da composição.

No trabalho, o estudo das misturas foi realizado através de um método gráfico (Fig. 40 a 43), cujas proporções (teórica e experimental) entre os dois componentes (plástico e não plástico) estão listados na tabela 16.

Tabela 16. Proporções das misturas com respectivos valores de AA (teórica e experimental) e desvio padrão utilizados para construção dos gráficos a 925°C.

Amostras	Proporção (%) $X_p - X_{np}$	AA (%) experimental	AA (%) teórica	Desvio Padrão
EZ	0 - 100	15,0	15,0	0,4
	25 - 75	13,6		0,1
	50 - 50	13,4		0,1
	75 - 25	13,5		0,1
	100 - 0	13,8	13,8	0,4
CD	0 - 100	14,1	14,1	0,4
	25 - 75	16,0		0,3
	50 - 50	15,8		0,3
	75 - 25	14,5		0,4
	100 - 0	12,7	12,7	0,4
IG	0 - 100	15,1	15,1	0,6
	25 - 75	14,2		0,1
	50 - 50	13,5		0,1
	75 - 25	13,0		0,2
	100 - 0	12,5	12,5	0,3

CT	0 - 100	14,7	14,7	0,1
	25 - 75	13,8		0,2
	50 - 50	13,2		0,3
	75 - 25	13,4		0,3
	100 - 0	13,5	13,5	0,5

Num modelo ideal, todas as previsões coincidiriam exatamente com as respostas observadas, ou seja, a mistura de dois componentes, corresponderia a valores localizados na reta definida pela equação $AA_r = (AA_1 - AA_2)X_1 + AA_2$ já definida no Capítulo 5, o que nem sempre ocorre devido a interferência de outros fatores, porém, estes valores podem ser ajustados de maneira a se aproximar dos valores calculados.

Os modelos gráficos de variação de AA com a composição, estabelecidos para as amostras, estão demonstrados nas figuras 40, 41, 42 e 43. A reta representa os valores “teóricos” de AA e a curva, os valores obtidos experimentalmente. Os dados experimentais assumem duas configurações: uma curva situada acima da reta teórica e outra abaixo.

As curvas obtidas para as amostras EZ, CT e IG estão situadas abaixo da reta, indicando valores menores do que os previstos com os dados teóricos, evidenciando um grau de empacotamento melhor que o esperado, e, conseqüentemente, melhor sinterização em função do maior número de contatos intergranulares que contribuem para que as reações ocorram, neste caso sem formação de fase líquida por terem sido queimadas a 925°C (BARBA et al., 2002). No caso específico da amostra IG (Figura 41), a curva está abaixo da reta, a uma distância muito próxima a esta, ou seja, a curva tende a se aproximar da reta, indicando valores experimentais muito próximos dos valores calculados.

Verifica-se que parte da curva experimental das amostras EZ e CT (Figuras 40 e 42) está horizontalizada, permitindo uma flexibilidade maior na composição da mistura dentro desta faixa, sem que isto se altere significativamente a AA, ou seja, a AA está, praticamente, estabilizada nesta faixa. Já para a amostra IG (Figura 41) esta zona é inexistente ou muito restrita, e qualquer alteração na proporção da mistura pode provocar elevação do índice de AA, não garantindo estabilidade nos índices de absorção de água das peças produzidas.

Na amostra CD (Figura 43), ao contrário das outras amostras, a curva está situada acima da reta, indicando valores maiores do que os previstos com os dados

teóricos, proporcionando uma sinterização pior do que o esperado, ou seja, a AA=14% está abaixo da AA estabelecida na proporção teórica. o conteúdo em carbonatos é maior (tabela 12) nesta amostra do que nas outras, o que resulta em corpos-de-prova mais porosos Outra característica que a diferencia das outras é o maior teor de grãos finos (distribuição granulométrica mais homogênea). As figuras 40, 41, 42 e 43 mostram, também, as curvas granulométricas dos componentes individuais e das misturas para uma absorção de água de 14% nos corpos-de-prova queimados na temperatura de 925°C. Estas curvas revelam o comportamento resultante das proporções e dos componentes utilizados na mistura.

Para obter a proporção experimental (Tabela 17) a uma determinada AA, nas mesmas condições de queima apresentadas no gráfico, a porcentagem (%) de um dos componentes pode ser obtida por interpolação na curva experimental. Já a proporção adequada (teórica), nestas mesmas condições, será determinada pela interpolação na curva teórica ou calculando estes valores na equação estabelecida anteriormente.

Tabela 17. Valores das proporções, experimental e teórica, para AA requerida de 14%.

Amostras	Proporção experimental	Proporção teórica
EZ	20% p + 80% np	83% p + 17% np
CT	20% p + 80% np	58% p + 42% np
CD	80% p + 20% np	5% p + 95% np
IG	32% p + 68% np	43% p + 57% np

Esta análise evidencia a necessidade de um conhecimento prévio do comportamento das argilas individuais durante a queima, sendo que, para encontrar as melhores proporções entre dois componentes, é necessário preparar corpos-de-prova destes componentes em pelo menos três combinações para obter a curva experimental e fazer uma interpolação para a AA desejada. Se AA esperada for maior que a dos componentes, as condições não são favoráveis e deverá ser trocado um dos componentes ou ser testada outra temperatura de queima.

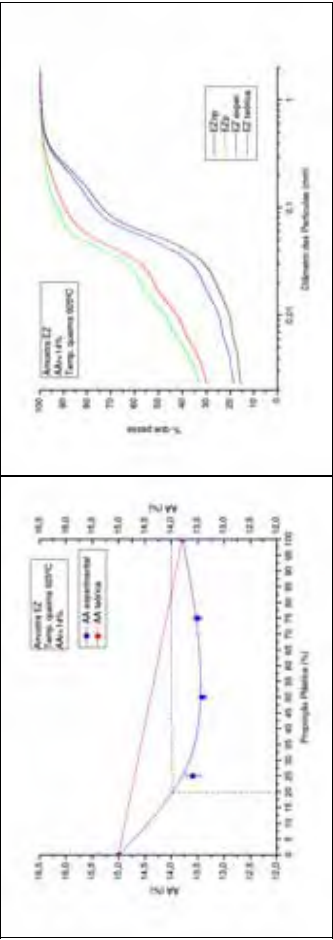


Figura 40 Modelo gráfico e curvas granulométricas estabelecidos para a amostra EZ

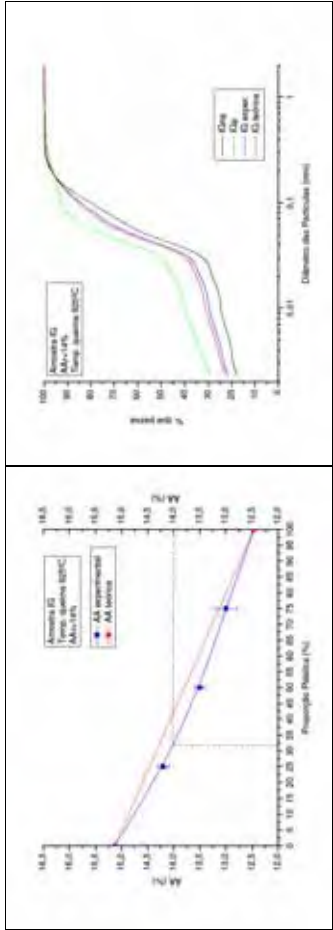


Figura 41. Modelo gráfico e curvas granulométricas estabelecidos para a amostra IG

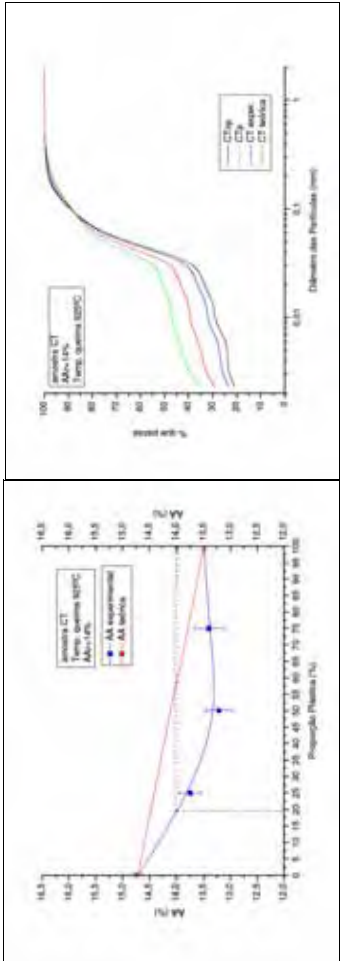


Figura 42. Modelo gráfico e curvas granulométricas estabelecidos para a amostra CT

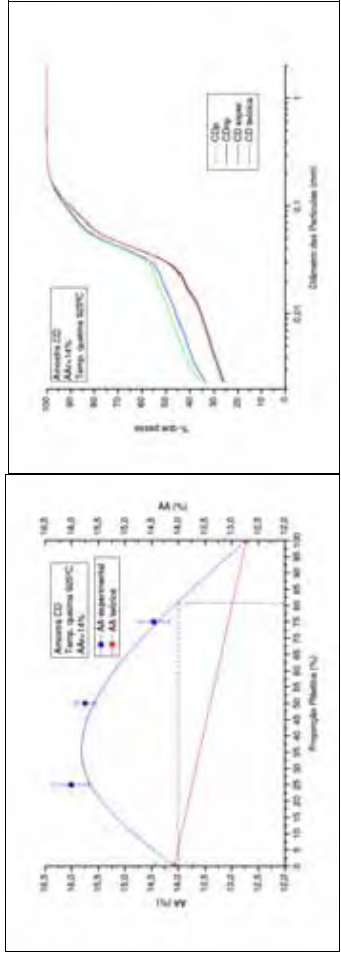


Figura 43. Modelo gráfico e curvas granulométricas estabelecidos para a amostra CD

Após definidas as proporções interpoladas por meio dos gráficos, determinou-se, experimentalmente, a absorção de água nas misturas da amostra CT (Tabela 18), com a finalidade de analisar o comportamento desta amostra nas temperaturas de queima de 900°C, 925°C e 950°C.

Tabela 18. Índices de AA nas proporções estabelecidas para a amostra CT nas temperaturas de 900°C, 925°C e 950°C.

Temperatura de queima	Proporção (20%p+ 80%np) AA	Proporção (58%p + 42%np) AA
900°C	14,4%	14,1%
925°C	13,9%	13,7%
950°C	13,2%	12,9%

No resultado do experimento fica evidente como a composição da mistura influi na propriedade de AA da cerâmica (Figura 44), quando queimada em diferentes temperaturas. Verifica-se que à 925°C a AA teve uma redução em relação a queima de 900°C, devido a maior temperatura houve redução dos poros. Em ambos os casos, a curva experimental ficou abaixo da teórica, diferente da queima a 950°C, onde o gráfico ficou invertido. Esta inversão da curva ocorreu porque, nesta faixa de temperatura, a porosidade permaneceu constante ou reduziu-se levemente os espaços intergranulares, em vista que não ocorreram reações entre os grãos, como os de quartzo, presentes na composição mineralógica, pois não houve sinterização via fase líquida, o que provavelmente deverá acontecer em temperatura superior à 1000°C.

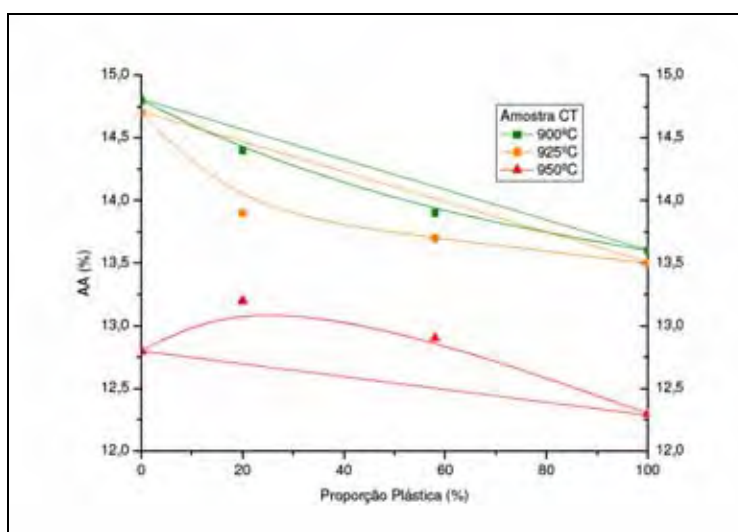


Figura 44. Gráfico (AA x proporção) estabelecido para amostra CT nas temperaturas de queima de 900°C, 925°C e 950°C.

A figura 44 mostra as curvas granulométricas de todas as misturas para uma AA=14%. A mistura experimental CD apresenta distribuição granulométrica bem diferente de CT, IG e EZ e estas estão muito próximas entre si caracterizando um empacotamento semelhante, o que indica que o processo de sinterização nessa temperatura depende, principalmente, da distribuição granulométrica (considerando que todas as misturas foram prensadas para obter densidade constante) e se apresenta como uma alternativa de controle das misturas a partir de determinadas matérias-primas.

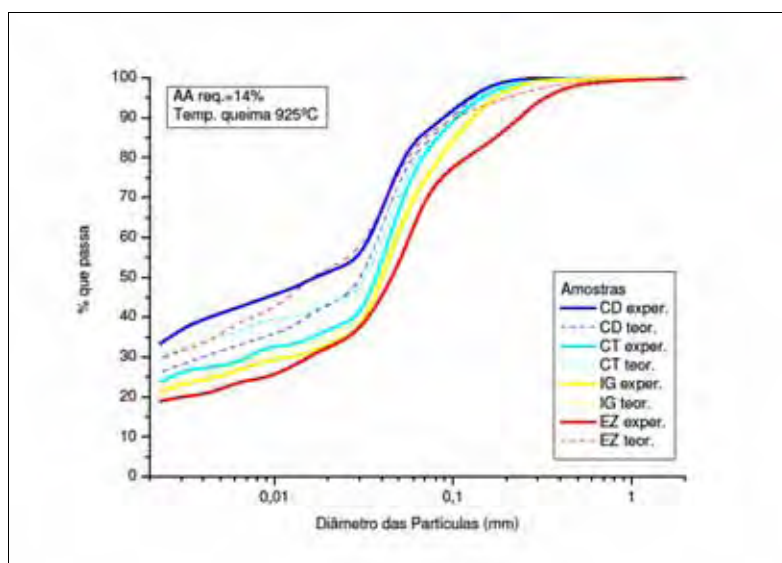


Figura 45. Diagrama das curvas de distribuição granulométrica das misturas experimentais e dos valores teóricos correspondente a AA de 14%.

As curvas experimentais CT, IG e EZ situadas abaixo das respectivas curvas teóricas e posicionadas próximas uma das outras formam um “padrão” que foi tomada como a curva de referência (Figura 46). A determinação desta curva e da proporção das partículas (Tabela 19) foi realizada pelo cálculo médio entre a distribuição granulométrica das três amostras analisadas.

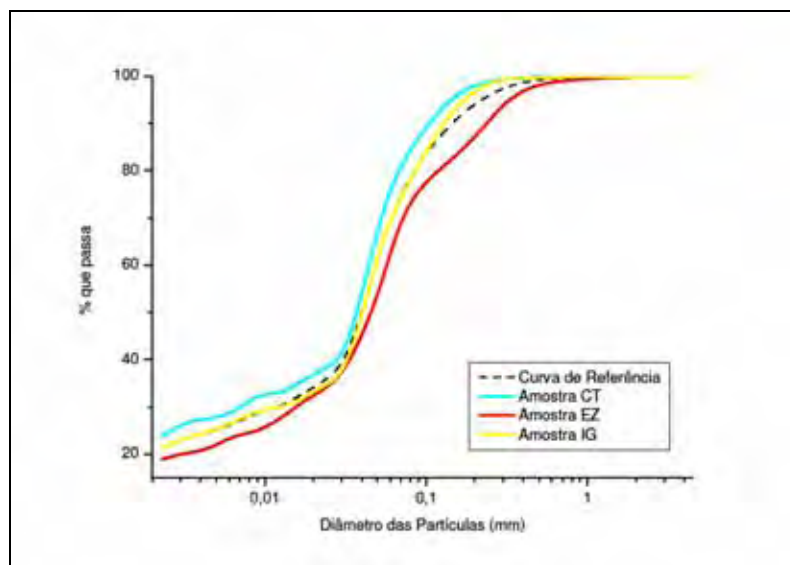


Figura 46. Curva de referência determinada pela média entre as curvas granulométricas das amostras CT, EZ e IG.

Tabela 19. Proporção das partículas relacionadas à curva padrão obtida

Peneira	Diâmetro (mm)	% de Partículas	Diâmetro médio partículas (mm)	% de Partículas
10	2,00	0,04	0,034	25,63
16	1,19	0,09	0,024	3,16
30	0,59	0,36	0,018	2,87
40	0,42	0,52	0,013	2,55
50	0,297	1,46	0,0093	1,44
60	0,25	1,43	0,0066	2,42
100	0,149	4,81	0,0045	2,26
200	0,074	13,17	0,0033	2,9
270	0,053	13,7	< 0,002	21,29

A distribuição granulométrica da curva de referência servirá como parâmetro de controle na preparação das massas cerâmicas, possibilitando que as misturas formuladas tenham uma constância quanto às características granulométricas e propriedades tecnológicas, obviamente, se efetuadas dentro das mesmas condições operacionais da pesquisa. É necessário enfatizar que a pesquisa serve exclusivamente como ponto de partida para a obtenção de um produto final padronizado para o Pólo, sendo imprescindível a sua posterior validação em escala industrial ou processada conforme as condições experimentais aqui desenvolvidas.

6.3.2. Estudo do método do algoritmo para obtenção das proporções dos componentes das misturas

A partir da determinação da curva de referência no método gráfico e a proporção das partículas dos componentes individuais de cada amostra, elaboraram-se planilhas (Tabelas 20, 21 e 22 para IG, EZ e CT, respectivamente) utilizadas no algoritmo. A primeira linha corresponde aos diâmetros das malhas das peneiras utilizados nos ensaios granulométricos e as duas linhas subsequentes definidas como componentes individuais, correspondem às proporções das partículas de cada amostra. A linha onde a célula inicial é denominada por “Requerida” mostra a granulometria correspondente à curva ótima, isto é a curva que se deseja reproduzir. A linha subsequente iniciada por “Obtida ou Reproduzida” mostra a granulometria mais próxima à “Requerida” determinada através do algoritmo. A última linha mostra os desvios entre as proporções das partículas da curva “Requerida” e da “Obtida” para cada tamanho de partícula correspondente. A última coluna correspondente aos componentes individuais, mostra a proporção de cada componente, necessária para reproduzir a curva “requerida”, onde o somatório das proporções é igual a 100%, como é mostrado na célula, logo abaixo ao somatório das proporções dos componentes individuais. A última célula da linha correspondente ao “desvio”, mostra o somatório dos quadrados dos desvios minimizados, enquanto que o número abaixo da planilha corresponde a somatória de todos os desvios.

Na figura 47 visualizam-se as curvas granulométricas plotadas a partir do algoritmo para as amostras IG, EZ e na figura 48 para a amostra CT. Observa-se que a curva “Obtida ou Reproduzida” se aproxima da curva “Requerida” e se posiciona entre as curvas granulométricas dos componentes individuais.

Tabela 20. Planilha para obtenção da proporção e reprodução da curva granulométrica ótima para mistura dos componentes individuais da amostra IG

Diâmetro das Peneiras(mm)	4,76	2,00	1,19	0,59	0,42	0,297	0,25	0,149	0,074	0,053	0,034	0,024	0,018	0,013	0,009	0,007	0,005	0,003	0,002	Xi	%
IGnp	100,0	100,0	100,0	100,0	99,9	99,6	99,2	94,5	69,6	50,8	31,9	29,5	27,2	24,8	24,8	22,4	20,1	20,1	17,7	0,72	72
IGp	100,0	100,0	99,9	99,3	99,0	98,4	97,6	94,2	91,5	78,5	49,7	47,2	42,1	42,1	39,5	37,0	34,4	31,9	29,3	0,28	28
																				1,00	100
Requerida	100,00	99,96	99,87	99,51	98,99	97,53	96,10	91,29	78,12	64,42	38,79	35,63	32,76	30,21	28,87	26,45	24,19	23,59	21,29		
Obtida	100,00	100,00	99,97	99,79	99,65	99,28	98,74	94,45	75,77	58,62	36,90	34,49	31,36	29,66	28,94	26,52	24,11	23,39	20,98		
Desvio	0,0	0,0	0,1	0,2	0,5	1,2	1,9	2,2	1,7	4,1	1,3	0,8	1,0	0,4	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	66,9	

15,9

Tabela 21. Planilha para obtenção da proporção e reprodução da curva granulométrica ótima para mistura dos componentes individuais da amostra EZ

Diâmetro Peneiras	4,76	2,00	1,19	0,59	0,42	0,297	0,25	0,149	0,074	0,053	0,034	0,024	0,018	0,013	0,009	0,007	0,005	0,003	0,002	Xi	%
EZnp	100,00	99,84	99,59	98,69	97,22	93,00	89,03	78,93	70,66	47,25	31,67	27,56	24,81	22,07	19,33	19,33	16,59	16,59	15,49	0,63	63
Ezp	100,00	99,97	99,87	99,37	98,87	98,21	97,75	96,24	90,43	85,86	64,28	58,94	56,28	50,94	45,61	42,94	37,61	34,94	32,81	0,37	37
																				1,00	100
Requerida	100,00	99,96	99,87	99,51	98,99	97,53	96,10	91,29	78,12	64,42	38,79	35,63	32,76	30,21	28,87	26,45	24,19	23,59	21,29		
Obtida	100,00	99,89	99,69	98,94	97,83	94,91	92,23	85,29	77,92	61,43	43,64	39,08	36,37	32,67	28,98	28,00	24,31	23,33	21,85		
Desvio	0,00	0,05	0,12	0,40	0,82	1,85	2,73	4,24	0,14	2,12	3,43	2,44	2,55	1,74	0,08	1,10	0,08	0,19	0,40	125,89	

24,5

Tabela 22. Planilha para obtenção da proporção e reprodução da curva granulométrica ótima para mistura dos componentes individuais da amostra CT

Dímetro Peneiras	4,76	2,00	1,19	0,59	0,42	0,297	0,25	0,149	0,074	0,053	0,034	0,024	0,018	0,013	0,009	0,007	0,005	0,003	0,002	Xi	%
C'Tnp	100,00	100,00	100,00	99,93	99,79	99,42	99,04	97,60	83,49	70,07	37,60	34,81	32,03	29,24	29,24	24,46	23,67	23,67	20,89	0,84	84
C'Tp	100,00	100,00	100,00	99,94	99,69	98,79	98,01	94,73	83,85	80,43	54,31	51,90	49,48	47,07	47,07	44,66	42,24	39,83	35,00	0,16	16
																				1,00	100
Requerida	100,00	99,96	99,87	99,51	98,99	97,53	96,10	91,29	78,12	64,42	38,79	35,63	32,76	30,21	28,87	26,45	24,19	23,59	21,29		
Obtida	100,00	100,00	100,00	99,93	99,77	99,32	98,88	97,15	83,54	71,67	40,19	37,46	34,73	32,00	32,00	27,59	26,55	26,17	23,08		
Desvio	0,00	0,03	0,09	0,29	0,55	1,26	1,96	4,14	3,83	5,13	0,99	1,29	1,39	1,27	2,21	0,80	1,67	1,83	1,26	166,9	

30,0

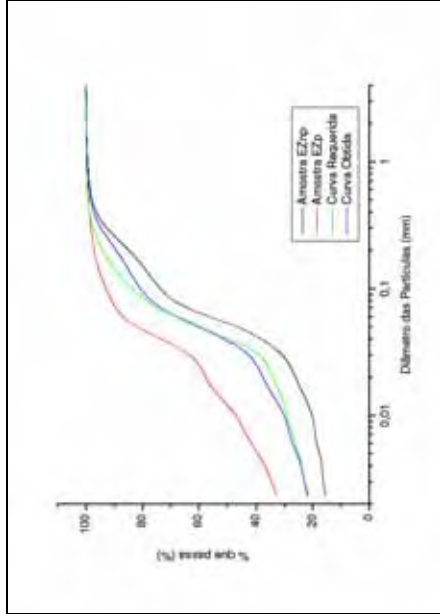
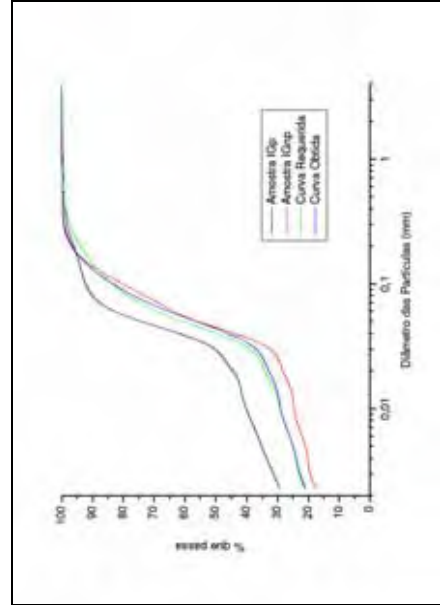


Figura 47. Curvas granulométricas dos componentes individuais e curvas requerida e obtida determinada pelo algoritmo para IG e EZ.

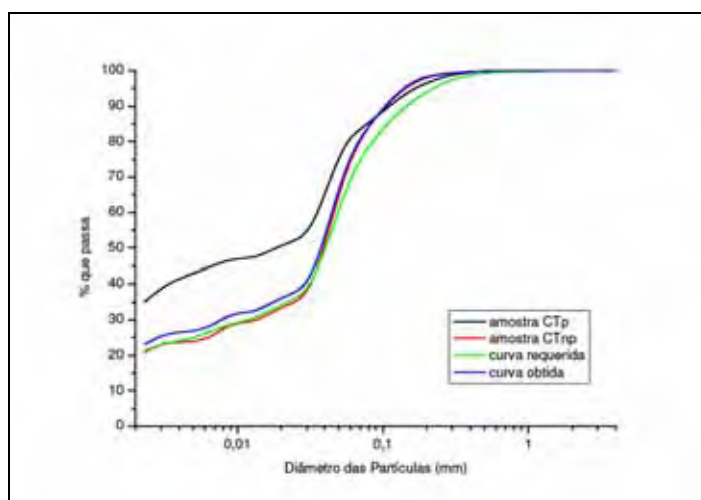


Figura 48. Curvas granulométricas dos componentes individuais e das curvas requerida e obtida para a amostra CT.

No método do Algoritmo, assim como no método Gráfico, nota-se um comportamento da amostra CD fora do padrão das demais amostras. Observa-se que a curva “Obtida ou Reproduzida” (Figura 49), para esta amostra, se posicionou distante do alvo requerido, resultado de uma distribuição granulométrica diferente das demais amostras. Consequentemente, para a amostra CD se enquadrar no padrão das demais amostras, faz-se necessário substituir um dos componentes na mistura. Por exemplo, substituir o material CDnp por outro de granulometria mais grossa.

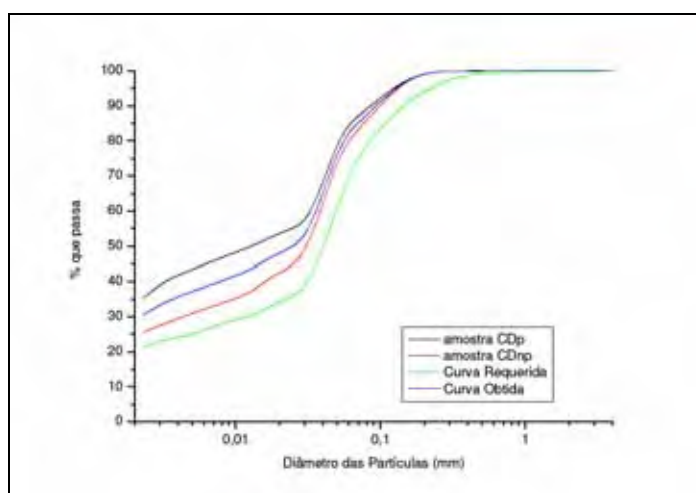


Figura 49. Curvas granulométricas da amostra CD e respectivas curvas requerida e obtida pelo algoritmo.

Observa-se na tabela 23 a proporção para cada componente individual das amostras IG, EZ e CT relacionada à curva obtida ou reproduzida de uma curva ótima pré-determinada.

Posteriormente, foram realizadas misturas para as amostras IG, EZ e CT com as proporções geradas e obtidos os valores de AA na temperatura de 925°C, conforme demonstrado na tabela 23.

Tabela 23. Proporção dos componentes gerada pelo algoritmo e valores de absorção de água determinadas experimentalmente para as amostras IG, EZ e CT.

Amostras	Proporção		Absorção de água (AA)
	Plástica (P)	Não Plástica (NP)	
IG	28%	72%	14,4%
EZ	37%	63%	13,6%
CT	16%	84%	14,3%
Curva requerida	?	?	14%

Os valores de AA obtidos, associados à determinação experimental, não satisfazem, plenamente, a absorção d'água desejada de 14%, faltando, ainda, um ajuste para se atingir este resultado.

Esta situação é melhor visualizada na figura 50, que indica como a curva de referência de 14% de AA situa-se em relação a AA observada, experimentalmente, para as três amostras analisadas. No eixo relacionado a proporção plástica, o ajuste pode ser determinado no ponto médio das observações, representando um intervalo de confiança ($26\% \pm 11$) que satisfaz o valor da AA desejado.

Neste sentido, as proporções experimentais (Tabela 17), determinadas para as amostras EZ (20%P+80%NP), CT (20%P+80%NP) e IG (32%P+68%NP), estão incluídas dentro do intervalo obtido para a mistura homogênea de 26%P+74%NP(± 11) definida para uma absorção de água de 14%.

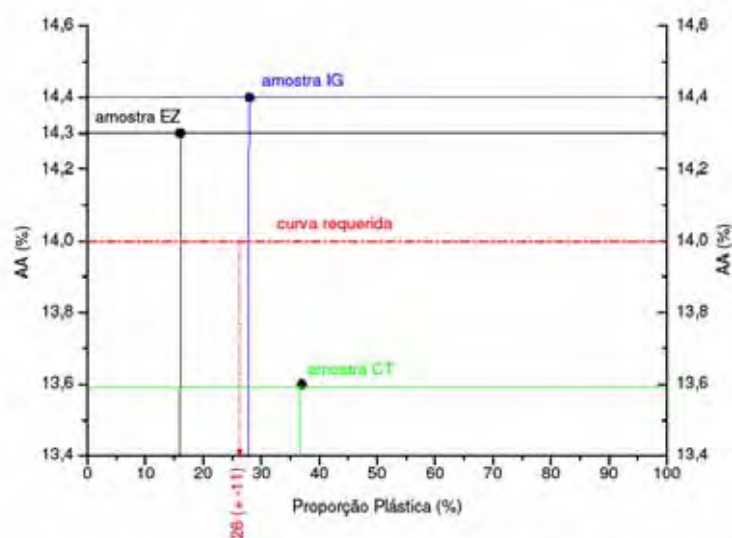


Figura 50. Gráfico correlacionando os dados experimentais de AA com a proporção plástica e a determinação do ponto médio para a curva requerida de AA=14%.

A curva da distribuição granulométrica representativa da proporção indicada, (Figura 51), é formada por uma faixa que inclui as curvas das três amostras e a curva requerida.

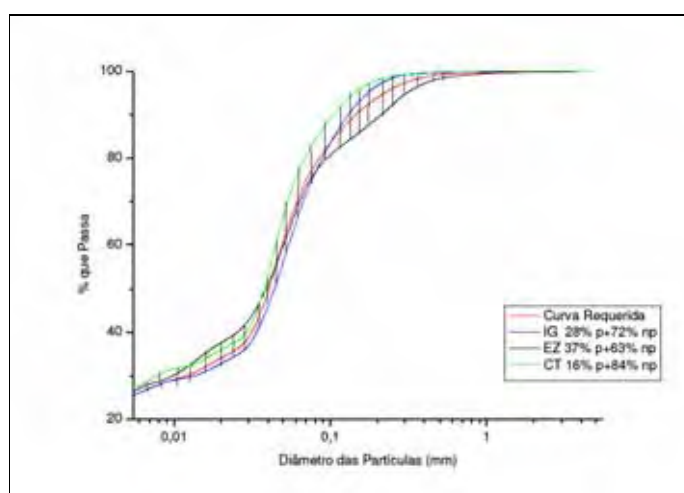


Figura 51. Faixa granulométrica formada pelo conjunto das curvas IG, CT e EZ.

Dessa forma, com a identificação da proporção dos componentes e da faixa granulométrica representativa, confirma-se que o modelo proposto satisfaz o índice

da propriedade cerâmica requerida, sendo possível, portanto, formular uma massa homogênea a partir das matérias-primas coletadas nas três empresas pesquisadas (IG, CT e EZ) na tentativa de uniformizar as peças fabricadas por estas empresas.

Os resultados revelam que as técnicas desenvolvidas, aplicam-se, tanto para preparar misturas com as matérias-primas das empresas que queiram trabalhar isoladamente, por meio do método Gráfico, como também, para preparar uma massa homogênea com as matérias-primas de empresas associadas, através do método Algoritmo em conjunto com o gráfico.

6.4. Proposta de um plano de preparação e controle de massa cerâmica para o pólo de Russas.

Para esta proposta será necessária uma organização das empresas, uma vez que são de pequeno porte, na forma de cooperativa ou como uma central de massa, dado que avaliações frequentes são necessárias, em função da variabilidade granulométrica decorrente do avanço da lavra e variações verticais, controle que pode ser simplificado através da granulometria desde que as variações mineralógicas não sejam significativas. O sucesso desta proposta depende das seguintes atividades:

Dar apoio técnico as cerâmicas, através do APL no sentido de:

- Regularizar a situação legal;
- Mapear os aluviões;
- Dimensionar e planejar a extração das argilas;
- Direcionar as lavras;
- Viabilizar uma matéria-prima comum através de uma central de massas;
- Realizar treinamento de pessoal e supervisão sistemática para o cumprimento das recomendações sugeridas.

Para tanto sugere-se a Implantação de um laboratório cerâmico, constando dos seguintes equipamentos básicos: moinho de amostra, estufa, prensa ou extrusora, balança, miniforno, fogão 1 boca, paquímetro, peneiras para análise granulométrica, entre outros;

Como também, absorver a experiência adquirida pelo autor, na tese, para treinamentos e assistência técnica necessários;

Sequência de operações a serem realizadas:

- Realizar amostragens representativas (no desmonte) das matérias-primas plástica (P) e não plástica (NP) em volume suficiente para os testes, cerca de 5 kg. Os materiais devem passar por uma preparação prévia por meio de um tratamento de secagem e quarteamento para, posteriormente, serem desagregadas e/ou moídas, em função da conformação (extrudadas ou prensadas).
- Definir, previamente, o teor de absorção de água e a temperatura de queima de interesse dos produtores;
- Preparar um número de corpos-de-prova de acordo a Norma, das amostras individuais e de pelo menos, três combinações, por exemplo, nas proporções de (25%P + 75%NP); (50%P + 50%NP) e (75%P + 25%NP). Nesta etapa, deve se ter um controle da quantidade de água presente na amostra, por meio da medição da umidade. Ensacar este material para homogeneização, num período de 24h;
- Queimar os corpos-de-prova na temperatura pré-determinada e ensaiá-los para obtenção dos valores de absorção de água com base na NBR 15.310/2005 da ABNT;
- Plotar os valores obtidos num gráfico, tipo AA x proporção plástica, para ser traçada a curva experimental. A curva teórica deve ser feita interligando os valores de AA dos componentes individuais;
- Obter uma proporção correspondente à interpolação da curva da AA desejada;
- Determinar a distribuição granulométrica das misturas nas proporções obtidas, por meio, por exemplo, de peneiramento e sedimentação de partículas, e construir as curvas granulométricas;
- Entre as curvas granulométricas traçadas, definir uma curva mediana que sirva como a curva de referência. Esta curva será usada como

parâmetro de controle na preparação de uma massa com distribuição granulométrica única entre as empresas;

- Alimentar o programa Excel tipo Solver com os dados granulométricos das amostras plásticas, não plásticas e referência em forma de planilha eletrônica para reproduzir uma quarta curva, tendo como resultado a determinação da proporção dos componentes individuais;
- Misturar os componentes individuais na proporção encontrada e obter a AA nos corpos-de-prova confeccionados;
- Se os valores obtidos não forem iguais aos valores pré-determinados faz-se necessário um ajuste encontrando um ponto médio entre estes e obtêm-se a proporção definitiva dos componentes;
- A distribuição granulométrica correspondente à mistura na proporção definitiva é representada por uma faixa que engloba todas as amostras.

Uma vez estabelecida a distribuição granulométrica será necessário realizar o controle de variação da matéria-prima através da medida da distribuição granulométrica selecionando três faixas granulométricas representativas (grossa, média e fina).

7. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Para determinação das proporções necessárias a formulação da massa cerâmica foi necessário a realização de experimentos que definiram de forma adequada a variação nas propriedades associada a composição resultando num planejamento adequado para uso racional das matérias-primas.

O uso do método Gráfico aplicado na modelagem das misturas permitiu determinar uma distribuição granulométrica padrão adequada, para ser utilizada como parâmetro de controle na preparação da massa cerâmica, de acordo com a matéria-prima e condições de fabricação.

O método do Algoritmo utilizado complementar ao gráfico forneceram resultados satisfatórios na estimativa de uma proporção dos componentes adequada a obtenção de uma composição de massa homogênea.

O entendimento do mecanismo de sinterização identificou duas fases importantes na densificação dos corpos-de-prova analisados. A primeira fase identificada na temperatura de queima inferior à 1000°C, obteve-se uma sinterização por fase sólida através, principalmente, de mudanças de arranjo, deslocamento e acomodação decorrente de reação entre partículas. A segunda fase identificada numa temperatura superior à 1000°C, foi definida por uma sinterização via fase líquida, tendo influência do fluido gerado pelos materiais fundentes presentes na composição que densificaram melhor as amostras .

A análise da absorção de água nos corpos cerâmicos de composição binária dependeu da proporção dos componentes misturados e do empacotamento adquirido durante a prensagem, ou seja, da distribuição granulométrica resultante na mistura.

De acordo com as análises de caracterização realizadas, observa-se que as matérias-primas estudadas apresentam uma similaridade qualitativa, ou seja, uma certa homogeneidade, isto é, os resultados mostram que a composição mineralógica é semelhante, variando nas proporções. Este certo grau de uniformidade entre as amostras se deve, provavelmente, ao fato desses depósitos argilosos serem de mesma origem sedimentar e de formação geológica recente.

Considera-se que a formulação de massa é feita por meio da mistura de dois componentes sendo: uma argila gorda de alta plasticidade, granulometria fina e

composição essencialmente de argilominerais; e outra uma argila menos plástica, formada por um conteúdo maior de partículas grossas, composta, também, por argilominerais e mais rica em quartzo e feldspato, sendo considerada um redutor de plasticidade na mistura. Essas diferenças, aparentemente, pequenas foram suficientes para dar características cerâmicas diferenciadas entre as argilas plásticas (P) e não plásticas (NP).

O estudo do comportamento desses materiais durante a queima foi importante para definir que o efeito dominante na sinterização é o conteúdo de grãos finos que contribui para o empaçamento.

A aplicação dos procedimentos relatados no plano proposto podem contribuir com a melhoria do sistema produtivo do Pólo, substituindo a forma tradicional de preparar misturas e permitindo a fabricação de produtos uniformes e padronizados.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS:

Sugere-se aprofundar ou dar continuidade a alguns aspectos não abordados, tais como:

- Estudar a distribuição espacial das variáveis do depósito aluvionar (ambiente de formação, variação textural lateral e vertical, entre outros), para planejar e executar a lavra de maneira racional;
- Produzir corpos-de-prova utilizando o método de conformação por extrusão;
- Estudar o comportamento das misturas nas condições de fábrica para ver se é igualmente válido os resultados quando aplicados à indústria;
- Desenvolver um software de gestão de matérias-primas e composições cerâmicas permitindo simular composições e formular massas para as características desejadas através de um banco de dados;
- Caracterizar outras fontes de matérias-primas localizadas próximas ao Pólo em substituição as argilas de várzea do rio Jaguaribe;
- Desenvolver novos produtos cerâmicos a partir de novas matérias-primas;
- Variar a quantidade de água na massa e o tempo de sazonalidade.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBAGLI, S.; BRITO, J. (orgs). Glossário de arranjo e sistemas produtivos e inovações locais. **Relatório da Fase Piloto**. Arranjo Produtivos Locais de MPE. 2003. Disponível em: <http://www.ie.ufrj.br/redesist..> Acesso em: 21 de maio de 2008.

ALEXANDRE, J. Análise de matéria-prima e composições de massa utilizada em cerâmica vermelha. 2000, 174p. Tese (Doutorado em Ciências de Engenharia) Centro de Ciências, Universidade Estadual Norte Fluminense, Rio de Janeiro, 2000.

ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B.; FUCK, R. Províncias estruturais brasileiras. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE SBG/Núcleo Nordeste, 7, 1977, Campina Grande, **Atas...** Campina Grande, 1977. p. 363-391.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Componentes cerâmicos - Telhas – terminologia, requisitos e métodos de ensaios. **NBR 15.310**. Rio de Janeiro, 2005. 46p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Determinação do limite de liquidez. **NBR 6549**. Rio de Janeiro, 1984. 11p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT- Rochas e solos - **NBR 6502**. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Placas cerâmicas para revestimentos: especificações e métodos de ensaios. **NBR 13.818**. Rio de Janeiro, 1997. 78p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Solo – Análise granulométrica conjunta. **NBR 7181**. Rio de Janeiro, 1984. 13p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Solo – Determinação do limite de plasticidade. **NBR 7180**. Rio de Janeiro, 1984. 12p.

BARBA, A. et al. Materiais primas para la fabricación de suportes de baldosas cerámicas. 2ed. Castellón, Espanha: Instituto de Tecnologia Cerámica – ITC/CAICE; Castaneda, 2002, 292p.

BARROS NETO, B. de; SCARMINIO, I.S; BRUNS, R.E. **Como fazer experimentos**. Campinas, São Paulo. 3ed. Editora da Universidade de Campinas (Unicamp). 480p. 2007.

BEURLEN, K. A estrutura geológica do Nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, XXI. 1967. Curitiba, **Anais...** Sociedade Brasileira de Geologia, 1967. P.151-158.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado. 1988.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Código Florestal. 1965.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Decreto nº 97.632, de 10 de abril de 1989. Dispõe sobre a regulamentação do art 2º, inciso VIII da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, e dá outras providências. Brasília. 1989.

BRASIL. Ministério. Projeto Radambrasil. **Levantamento de recursos naturais**. Folhas SB.24/25 Jaguaribe/Natal; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro. MME/SG, 744p. 1981.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior – MDIC. **Plano de Desenvolvimento do APL de Cerâmica Vermelha de Russas/Ceará**. 2008. Disponível em www.mdic.gov.br. Acesso em 11 de julho de 2009.

BRITO NEVES, B.B. de. **Regionalização geotectônica do Pré-Cambriano nordestino**. 1975. 198p. Tese (Doutorado no Instituto de Geociências) Universidade de São Paulo, São Paulo 1975.

CABRAL JÚNIOR, M.; DEL MONTE, E.; MOTTA, J.F.M.; SINTONI, A.; SUSLICK, S. Arranjos produtivos minero-cerâmicos e o desenvolvimento econômico: caso do APL de Socorro-SP. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v.11, n. 2, p.24-29. 2006.

CABRAL JÚNIOR, M.; MOTTA, J.F.M.; ALMEIDA, A. dos S.; TANNO, L.C. Argilas para cerâmica vermelha. , 2005, p.583-605. In: **Rochas e minerais industriais**, CETEM/MCT. 2005.

CABRAL, M.D.; MAIA, E.C.M. Caracterização hidrogeológica dos aquíferos rasos do município de Limoeiro do Norte. **Relatório Final de Projeto** 2001. 12p. FUNCAP. 2001.

CABY, R.; ARTHAUD, M.H.; ARCHANJO, C.J. Lithostratigraphy and petrostructural characterization of supracrustal units in the Brasiliano Belt of Northeast Brazil: geodynamic implications. In: Silva Filho, A.F. da; Lima, E.S. de (eds). Geology of the Borborema Province, Northeast Brazil. Journal of South American Earth Sciences. p.235-246, 1995.

CAVALCANTE, A.A. **Aspectos da produção de sedimentos e seus efeitos na gestão dos recursos hídricos no baixo vale do rio Jaguaribe-CE**. 2001. 250f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza. 2001.

CAVALCANTE, J.C. et al. **Mapa geológico do estado do Ceará**; Escala 1:500.000. MME-DNPM/MI-SUDENE/Governo do estado do Ceará, Fortaleza. 1983.

CEARÁ, Instituto de Planejamento-IPLANCE. Atlas do Ceará, Escala 1:500.000, Fortaleza, Mapa colorido. 1997

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS-CPRM. Mapa Geológico do Ceará. Escala 1:500.000. Meio Dgital. 2003.

CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – COEMA/CE. **Legislação. Resoluções do Conselho Estadual do meio ambiente**. Resolução nº 08 de 15 de abril de 2004. Classifica as atividades de licenciamento ambiental no Estado do Ceará. Disponível em www.semace-ce.gov.br. Acesso em 18 de maio de 2008.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA/MMA. **Resoluções do conselho nacional do meio ambiente**. Resolução nº 237 de 19 de dezembro de 1997. Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental. Imprensa Nacional, Brasília, Brasil. 1997

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA/MMA. **Resoluções do conselho nacional do meio ambiente**. Resolução nº 302 de 31 de agosto de 1981, Dispõe sobre os parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação

Permanente de Reservatórios Artificiais e o regime de uso do entorno. Brasília, 1981.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA/MMA. **Resoluções do conselho nacional do meio ambiente**. Resolução nº 10, Dispõe sobre normas específicas para o licenciamento ambiental de extração mineral, classe II. 1990

COROADO, J.P.F. **Propriedades cerâmicas das argilas das unidades litoestratigráficas “Argilas de Aveiro” e “Argilas de Tomar”**. Tese (Doutoramento em Geociências), 2000, 336f. Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal. 2000.

CORREIA, S.L; HOTZA, D.; SEGADÃES, A.M. Uso de técnicas de planejamento experimental e programação não linear para otimização de massas cerâmicas triaxiais. **Matéria**, V.9, n.4, p. 271-279, 2004.

CRANDALL, R. **Geografia, geologia, suprimento d’água, transporte, açudagem nos estados orientais do Nordeste do Brasil**: Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba. Rio de Janeiro, IFOCS. 1910.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL – DNPM/MME. **Anuário Mineral Brasileiro**. (Parte II). Brasília (DF). 196p. 2001.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL – DNPM. Decreto-lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967. Código de Mineração. Brasília. 1967.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL – DNPM. **Lei nº 7805**, de 18 de julho de 1989. Altera o decreto-lei nº 227 de 28 de fevereiro de 1967 e cria o regime de permissão de lavra garimpeira, extingue o regime de matrículas, e dá outras providências. 1989.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL – DNPM. **Decreto nº 98.812**, de 1990. Regulamenta a Lei 7805 de 18 de julho de 1989 e dá outras providências. Brasília. 1990.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL – DNPM. **Lei nº 6.567**, de 24 de setembro de 1978. Código de Mineração. Brasília. 1978.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL – DNPM. **Lei nº 7.803**, de 18 de julho de 1989. Altera as normas reguladoras do Código Florestal. Brasília. 1989.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL – DNPM. **Lei nº 7.990**, de 1989. Institui a compensação financeira pela exploração de recursos minerais (CFEM). Brasília. 1989

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL – DNPM. **Lei nº 8.001**, de 1990. Regulamenta a Lei 7.990/1989 fixando o percentual de compensação financeira.. Brasília. 1990.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL- DNPM, Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais-CPRM. **Mapa Geológico do Estado do Ceará**. Escala 1:500.000. MME/DNPM, Governo do Estado do Ceará/SEPLAN/CEMINAS. 1983.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**, v. 2. ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solo, 1997.

FACINCANI, E. **Tecnologia Cerâmica Estrutural**. Tradução de Jaime Pedrassani, Faenza Editrice do Brasil Ltda, Rio Claro, São Paulo, 276p. 2002.

Federação das Indústrias do Estado do Ceará – FIEC. Empresas são incentivadas à exportação. Jornal eletrônico mensal. Disponível em www.sfiec.org.br/edições. acesso em 06 de março de 2008.

GATTO, L.C.S. (org.). **Diagnóstico ambiental da bacia do rio Jaguaribe**. Diretrizes gerais para a ordenação territorial. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE, DIGEO, Salvador, 1999, 187p.

GESICKI, A.L.D.; BOGGIANI, P.C.; SALVETTI, A.R. Panorama produtivo da indústria de cerâmica vermelha em Mato Grosso do Sul. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v.7, n. 1, p.44-50. 2002.

GOMES NETO, A.O. **Neotectônica do baixo vale do rio Jaguaribe – Ceará**. 2007. 194f. Tese (Doutorado em Geologia Regional), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, (SP). 2007.

GOMES, C. de S.F. **Argilas – Aplicações na Indústria**. C. Gomes (Editor), O Liberal, Empresa de artes gráficas Ltda, Aveiro, 2002, 337p.

GOOGLE EARTH. Imagem digital do globo terrestre. 2008.

GRUN, E. **Caracterização de argilas provenientes de Canelinha/SC e estudo de formulações de massas cerâmicas**. 2007, 60p. Dissertação (mestrado em ciências e engenharia de materiais) - Universidade do Estado de Santa Catarina, UDESC, Joinville. 2007.

JARDIM de SÁ, E.F. **A Faixa Seridó (Província Borborema NE do Brasil) e o seu significado geodinâmico na Cadeia Brasileira/Pan-Africana**. Tese (Doutorado em Geociências) Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 803p. 1994.

KEGEL, W. 1965, **A estrutura geológica do Nordeste do Brasil**. Boletim nº 227. 47p. DNPM/DGM, Rio de Janeiro. 1965.

LIMA, R.H.C., MORENO, M.M.T. e DINIZ, S.F. **Propriedades físico-químicas e mineralógica de um perfil aluvionar usado em cerâmica estrutural no Ceará**. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, XII, Natal, p. 263, 2007.

LIMA, R.H.C., MORENO, M.M.T. e GOMES, C. de S. F. Mineralogical, chemical and granulometric data of alluvial sediments. In: CONGRESSO DE GEOQUÍMICA DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA. IX, 2008. Praia, Cabo Verde, **Anais...**Aveiro, p.32. 2008.

MAIA, R.P. **Planície fluvial do rio Jaguaribe: evolução geomorfológica, ocupação e análise ambiental**. 2005, 164f. Dissertação (mestrado em Geografia) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2005.

MARTINS, R.S.V. dos S. **Investigação científica e tecnológica de matérias-primas minerais de Santiago do Cacém (Alentejo) e das suas potencialidades**

para a indústria cerâmica. Tese (Doutoramento em Geociências). 407f. 2006. Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal. 2006.

MÁS, E. **Qualidade e tecnologia em cerâmica vermelha.** Ed. Pólo Produções Ltda. 360p, 2003.

MEDEIROS, M. de F.; CAVALCANTE, J.C.; SOUZA, E.M. de (orgs). Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil; Catarina, Folha SB.24-Y-B-II, estado do Ceará, Escala 1:100.000, Texto Explicativo. Brasília, DNPM/CPRM, 170p. 2003.

MEDEIROS, M.F.; PARAHYBA, R.R.E. Avaliação econômica do pólo ceramista de Russas-CE. **Revista de Geologia.** ed. UFC, Fortaleza. v.16, n.2, p.19-26, 2003.

MORENO, M.M.T.; BARTOLOMEU, D.; LIMA, R.H.C. Análise do comportamento de queima de argilas e formulações para revestimento cerâmico, **Cerâmica.** 2009. (no prelo).

NÚCLEO DE TECNOLOGIA INDUSTRIAL - NUTEC/NICE- **Diagnóstico industrial setorial de cerâmica da região do município de Russas–Ceará.** 2000. Disponível em www.nutec.gov.ce. Acesso em 20 de dezembro de 2007.

OLIVEIRA, J.C. de; MEDEIROS, M. de F. Projeto diatomito/argila. **Relatório final.** Recife, CPRM, 1975. 3v. 133p.

PARAHYBA, R.E.R.; CAVALCANTI, V.M.M.; MEDEIROS, M.F. Projeto TECMO – Tecnologia em cerâmica. Ações para a modernidade e competitividade. **Relatório Preliminar.** Fortaleza, 35p, 2000.

PARENTE, C.V.; ARTHAUD, M.H. O Sistema Orós-Jaguaribe no Ceará, NE do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v.25, ed.4, p.297-306, 1995,

PERSON, R. **Usando excel for windows:** versão 5, tradução ARX publicações, Ed. Campus, Rio de Janeiro, 452p. 1994.

PESSOA, J.M.A. de P. **Tecnologias e técnicas apropriadas para o desenvolvimento sustentável: o caso da indústria cerâmica de Russas-CE.** 88f. 2004. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2004.

PHELPS, G.W. Determinação da granulometria e medida da área específica. **Cerâmica**, XVIII, n.72, Associação Brasileira de Cerâmica, São Paulo, p.428-437, 1972.

PROGRAMA DE APOIO À COMPETITIVIDADE DAS MICROS E PEQUENAS INDÚSTRIAS - PROCOMPI. Arranjo Produtivo Local - Cerâmicas de Russas (Tecnologia Local). Banco do Nordeste, Fortaleza, 63p., 2005.

REED, J.S. **Ceramics Processing**, 2 ed., Ed. John Wiley & sons, INC, New York, 658p. 1995.

SABOYA Jr. F., ALEXANDRE, J. Algoritmo para Misturas Combinadas de Solos na Confecção de Peças Cerâmicas Vermelhas, **Cerâmica**, v. 45, p.181 -183, 1999.

SANTOS, E.J. dos. Ensaio preliminar sobre terrenos e tectônica acrescionária na Província Borborema. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39, 1996. Salvador. **Anais...** SBG, Salvador, 1996 p.47-50.

SANTOS, E.J. dos; BRITO NEVES, B.B. de. Província Borborema. In: Almeida, F.F.M. de; Hasui, Y. (coords.). **O Pré-Cambriano do Brasil**. Edgard Blucher, São Paulo, p.123-186, 1984.

SANTOS, P.S. **Ciência e Tecnologia de Argilas**. v.1, Edgar Blucher Ltda, São Paulo, 408 p., 1989.

SANTOS, E.J. dos, et al. Mapa geológico preliminar do Estado do Ceará. Recife, CPRM, 1 mapa. Escala 1:500.000. 1972

SCHULTZ, L.G. Quantitative interpretation of mineralogical composition from X-Ray and chemical data for the Perre Shale. **U.S. Geol. Surv. Prof. Paper** 391-C, p.1-31. 1964.

SEYE, O. et. al. Melhoramento do processo produtivo de cerâmica estrutural como ação mitigadora para estabilização ou redução adicional nas emissões de gases de efeito estufa. Projeto BRA/00/014, Fundo Nacional do Meio Ambiente, Programa de Geração de Conhecimento em Mudanças Climáticas e Desertificação, Programa Brasil-Holanda. NEFEN/UFAM. **Relatório Final**. Manaus, 2003. 200f.

SILVA, M.G. da. Caracterização dos minerais pesados ao longo do rio Piranhas – Açu/RN: distribuição e proveniência. 1999, 67p. Dissertação (Mestrado em Geotectônica) Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 1999.

Sindicato da Indústria Cerâmica do Ceará - SINDCERÂMICA. Diagnóstico setorial da indústria cerâmica do Ceará. **Relatório Final**. Instituto Euvaldo Lodi do Ceará (IEL/CE), Fortaleza, 74p. 2002.

SOARES, J.M.D.; TOMAZETTI, R.R.; TAVARES, I.S.; PINHEIRO, R.B. Panorama sócioeconômico das indústrias de cerâmica vermelha da região central do estado do Rio Grande do Sul. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v.9., n.3, p.33-45. 2004.

SOARES, R.A.L.; NASCIMENTO, R.M. O processo produtivo e a qualidade do produto cerâmico estrutural. In: CONGRESSO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA REDE NORTE/NORDESTE DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA, II, 2007. João Pessoa. **Anais...**João Pessoa, 2007.

SOUZA, M.J.N.; OLIVEIRA, V.P.V. de; GRANJEIRO, C.M.M., Análise dos atributos geambientais: Análise ambiental. P.1. p. 23-89. In: Elias, D. (org.), **O novo espaço da produção globalizada: o baixo Jaguaribe-CE**. FUNECE. Fortaleza, 363p. 2002.

SOUZA, S.J.M. et. al. Compartimentação topográfica do Ceará. **Ciências Agrônômica**, Fortaleza, v.9, p.15-24. 1979.

SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE – SUDENE (ASMIC). **Estudo geral de base do vale do rio Jaguaribe**. Hidrogeologia, Recife, 7.245p. 1967

TANNO, L.C.; SINTONI, A (org.). **Mineração e município: bases para planejamento e gestão dos recursos minerais**. São Paulo. Instituto de Pesquisas Tecnológicas (Publicação IPT nº 2850). 177p., 2003.

TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M.C.M. de; FAIRCHILD, T.R.; TAIOLI, F. (orgs.). **Decifrando a Terra**. Oficina de Textos, São Paulo, 557p. 2003.

THOREZ, J. **Phyllosilicates and clay minerals – a laboratory handbook for their X-ray diffraction analysis**. Ed. G. Lelotte, Belgique, 580p. 1976.

VAN VLACK, L.H. **Propriedades dos materiais cerâmicos**. Edgard Blucher, Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo, 320p. 1973.

VERÍSSIMO, L.S.; MEDEIROS, M. de F.; SOUZA, J.F. de; ANDRADE, F.T.B. de. **Avaliação das potencialidades hídrica e mineral do médio-baixo Jaguaribe**. CPRM/REFO, Fortaleza, 89p, 1986.

WINDISCH, J.E. Grain-size distribution of mixed aggregates, **Geotechnical Testing Journal**, GTJODJ. v.19, ed. 2, p.227-231, 1996.