



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS E
MINERALÓGICAS DA MATÉRIA-PRIMA UTILIZADA NA
INDÚSTRIA DE CERÂMICA VERMELHA NOS MUNICÍPIOS
DE MACAPÁ E SANTANA-AP.**

Dissertação apresentada por:

FLÁVIO AUGUSTO FRANÇA SOUTO

**BELÉM
2009**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação(CIP)
Biblioteca Geól. Rdº Montenegro G. de Montalvão

- S691a Souto, Flávio Augusto França
Avaliação das características físicas, químicas e mineralógicas da matéria-prima utilizada na indústria de cerâmica vermelha nos municípios de Macapá e Santana-AP / Flávio Augusto França Souto – 2009
xiii, 87 f. : il.
Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia) – Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2009.
Orientador; Rômulo Simões Angélica.
1. Caracterização mineralógica. 2. Argila do Amapá. 3. Tecnologia cerâmica. I. Universidade Federal do Pará. II. Angélica, Rômulo Simões, Orient. III. Título.

CDD 20. ed.:549.18098116



Universidade Federal do Pará
Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS
E MINERALÓGICAS DA MATÉRIA-PRIMA UTILIZADA NA
INDÚSTRIA DE CERÂMICA VERMELHA NOS MUNICÍPIOS
DE MACAPÁ E SANTANA-AP.**

DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR

FLÁVIO AUGUSTO FRANÇA SOUTO

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em
Ciências na Área de GEOQUÍMICA E PETROLOGIA.

Data de Aprovação: **30/09/2008**

Comitê de Dissertação:

Rômulo Simões Angélica

Dr. RÔMULO SIMÕES ANGÉLICA (Orientador)

Jose Manuel Rivas Mercury

Dr. JOSÉ MANUEL RIVAS MERCURY

Roberto de Freitas Neves

Dr. ROBERTO DE FREITAS NEVES

Belém

À minha mãe Dylma pela dedicação e amor proporcionada durante a minha vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que esteve presente nesta caminhada ajudando a superar todas as dificuldades presentes na vida.

À Universidade Federal do Pará através do Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica do Instituto de Geociências, pela acolhida e oportunidade da elaboração desta dissertação e por fornecerem infra-estrutura necessária ao desenvolvimento da parte experimental.

Ao Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Amapá pela liberação para realização do mestrado e apoio na etapa de campo.

À CAPES pela concessão da bolsa de mestrado e apoio financeiro durante todas as etapas deste estudo, através do Programa de Qualificação Institucional (PQL).

Ao Professor Dr. Rômulo Simões Angélica pela valiosa orientação, amizade e pelos ensinamentos que foram de extrema importância para meu crescimento pessoal, profissional e intelectual na realização deste trabalho.

Aos Professores Dr. Thomas Scheller e Dr. Roberto Neves pelo aprendizado nas disciplinas técnicas instrumentais e tecnologia de materiais cerâmicos, respectivamente.

À Milena Carvalho pela ajuda e incentivo para conclusão deste trabalho.

Ao Técnico Souza no auxílio nos ensaios tecnológicos.

Ao Laboratório de Análises de Imagens do Trópico Úmido (LAIT) na digitação de mapas.

Ao Laboratório de Mecânica dos Solos do Instituto Tecnológico da UFPA por disponibilizar seus equipamentos para realização dos ensaios de limite de liquidez e plasticidade.

A todos os funcionários do Instituto de Geociências pela atenção e dedicação proporcionadas no decorrer deste trabalho.

Aos colegas e amigos do grupo de mineralogia pelo apoio e convivência agradável durante o período de mestrado.

“Quanto mais um homem se aproxima de suas metas, tanto mais crescem as dificuldades.”

Goethe

SUMÁRIO

		p.
	DEDICATÓRIA.....	iv
	AGRADECIMENTOS.....	v
	EPÍGRAFE.....	vi
	LISTA DE FIGURAS.....	x
	LISTA DE TABELAS.....	xii
	LISTA DE SÍMBOLOS.....	xiii
	RESUMO.....	1
	ABSTRACT.....	3
1	INTRODUÇÃO.....	5
1.1	OBJETIVO.....	6
1.2	LOCALIZAÇÃO E ACESSO.....	6
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.1	ARGILAS E MATÉRIAS-PRIMAS PARA A INDÚSTRIA CERÂMICA.....	7
2.2	CERÂMICA.....	9
2.3	CONTEXTO GEOLÓGICO DAS OCORRÊNCIAS DE ARGILAS ESTUDADAS.....	12
2.3.1	Geologia Regional.....	12
2.3.2	Geologia Local.....	16
2.3.2.1	Sedimentos Argilo-Arenosos (Targ).....	16
2.3.2.2	Sedimentos Areno-Argilosos (Tar).....	16
2.3.2.3	Depósitos de Planícies Fluviais Antigas (Qfc).....	16
2.3.2.4	Depósitos de Planícies Flúvio-Estuarinas 1 (Qfe1).....	17
2.3.2.5	Depósitos de Planícies Flúvio-Estuarinas 2 (Qfe2).....	17
2.4	O SETOR OLEIRO-CERÂMICO NO ESTADO DO AMAPÁ.....	19
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	21
3.1	ATIVIDADE DE CAMPO.....	21
3.2	MATERIAL COLETADO.....	21
3.3	ATIVIDADE DE LABORATÓRIO.....	25
3.3.1	Preparação de Amostras para as Análises Mineralógicas, Químicas e Ensaio Tecnológicos.....	25
3.3.2	Caracterização dos Materiais.....	27
3.3.2.1	Técnicas Instrumentais de Análises Mineralógicas.....	27

3.3.2.1.1	<i>Difração de Raios-X (DRX)</i>	27
3.3.2.1.2	<i>Análise Termogravimétrica (TG) e Termodiferencial (ATD)</i>	28
3.3.2.1.3	<i>Espectroscopia de Infravermelho</i>	28
3.3.2.2	Análises Químicas	28
3.3.2.2.1	<i>Análise do SiO₂ por gravimetria</i>	29
3.3.2.2.2	<i>Determinação do Alumínio por complexometria</i>	29
3.3.2.2.3	<i>Determinação de Na₂O, K₂O, CaO e MgO por Absorção Atômica</i>	29
3.3.2.2.4	<i>Determinação de Fe₂O₃, TiO₂ e P₂O₄ por colorimetria</i>	29
3.3.2.2.5	<i>Determinação do Teor de Voláteis e Umidade</i>	30
3.3.2.3	Análise Granulométrica	30
3.3.4	Ensaio Tecnológico	30
3.3.4.1	Cor	31
3.3.4.2	Retração Linear	31
3.3.4.3	Absorção de água (AA)	31
3.3.4.4	Porosidade Aparente – (PA %)	32
3.3.4.5	Massa Específica aparente (MEA)	32
3.3.4.6	Tensão de Resistência a Flexão (TRF)	32
3.3.4.7	Limite de Liquidez (LL), Plasticidade (LP) e Índice de Plasticidade (IP)	33
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4.1	CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA	34
4.1.1	Análise de Difração de Raios-X	34
4.1.2	Análise Térmica	41
4.1.3	<i>Espectroscopia do Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)</i> ...	44
4.2	ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS	45
4.3	ANÁLISES QUÍMICAS	47
4.4	ENSAIOS TECNOLÓGICOS	48
4.4.1	Cor	49
4.4.2	Retração Linear	50
4.4.3	Tensão de Ruptura a Flexão	51
4.4.4	Absorção de Água	52
4.4.5	Porosidade Aparente	53
4.4.6	Densidade Aparente	54
4.4.7	Características Cerâmicas das Amostras Pós-Secagem (110°C) e Queima (950°C E 1050°C), Comparadas com Valores-Limites Obtidos em Laboratório, para Utilização em Indústria de Cerâmica Vermelha	55
4.4.8	Limites de Atterberg: Limite de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP) e Índice de Plasticidade (IP)	57
4.5	RELAÇÃO ENTRE OS ENSAIOS TECNOLÓGICOS, A NATUREZA QUÍMICA E A MINERALOGIA DAS ARGILAS ESTUDADAS	59
4.6	ESPECIALIZAÇÃO DE OCORRÊNCIAS NAS OLARIAS E MAPEAMENTO DAS ZONAS ALAGADAS (RESSACAS)	65
5	ASPECTOS GERAIS DAS INDÚSTRIAS LOCAIS	68
5.1	ÁREAS DE EXTRAÇÃO	68
5.2	PROCESSO PRODUTIVO	69

5.2.1	Extração e Estocagem da Matéria-Prima	69
5.2.2	Caixão Alimentador	71
5.2.3	Preparação de Massa	71
5.2.4	Extrusão	72
5.2.5	Cortadores	72
5.3	PROCESSOS TÉRMICOS ENVOLVIDOS NA PRODUÇÃO	72
5.3.1	Secagem	73
5.3.1.1	Tipos de Secadores.....	73
5.3.2	Queima	76
5.3.2.1	Tipos de Fornos.....	77
5.3.3	Produção Local	80
6	CONCLUSÃO	81
	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	83

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Mapa de Localização da área de estudo modificado de SETEC (2006)	6
Figura 2.1	Coluna estratigráfica, adaptado de Santos (2004)	15
Figura 2.2	Mapa Geológico, adaptado de Santos (2004)	18
Figura 3.1	Cava de onde foram coletadas as amostras na Cerâmica Calandrine	22
Figura 3.2	Local de extração de argila da Cerâmica União (Santana-AP)	23
Figura 3.3	Local de extração de argila na Cerâmica Fortaleza (Santana-AP)	24
Figura 3.4	Corte de estrada do Bairro Elesbão (Santana-AP)	24
Figura 3.5	Fluxograma de tratamento de amostras para a análise química.	26
Figura 3.6	Corpo de Prova submetido ao teste de tensão a flexão em dois pontos	32
Figura 4.1	Difratogramas das amostras presentes no nível 1: União 01(U-01), Fortaleza 01 (F-01), Corte de Estrada 01 (CE-01), Calandrine 01 (CA-01), Amapá Telhas 01 (AT-01)	35
Figura 4.2	Difratogramas de lâminas orientadas (OR), tratadas com etilenoglicol (GL) e aquecidas a 500°C (AQ) das amostras: Amapá Telhas 01 (AT-01), União 01 (U-01), Corte de Estrada 01 (CE-01) e Fortaleza 01 (F-01) e Calandrini 01 (CA-01)	36
Figura 4.3	Difratogramas das amostras União 02 (U-02), Calandrini 02 (CA-02), Corte de Estrada 02 (CE-02), Fortaleza 02 (F-02) e Amapá Telhas 02 (AT-02)	37
Figura 4.4	Difratogramas de lâminas orientadas (Or), tratadas com etilenoglicol (Gl) e aquecidas a 500°C (AQ): Amapá Telhas 02 (AT-02), Calandrini 02 (CA-02), Corte de Estrada 02 (CE-02), Fortaleza 02 (APF-02) e União 02 (U-02)	38
Figura 4.5	Difratogramas das amostras União 03(U-03), Calandrini 03(CA-03)	39
Figura 4.6	Difratogramas de lâminas orientadas, tratadas com etilenoglicol e aquecidas a 500 °C das amostras: União 03 (U-03), Calandrini 03 (CA-03)	40
Figura 4.7	Termogramas de Análise Térmica Diferencial (DTA) das amostras: Amapá Telhas 01 (AT-01), Calandrini 01 (CA-01), Fortaleza 01 (F-01), União 01 (U-01)	41
Figura 4.8	Termogramas de Análise Térmica Diferencial (DTA) das amostras: Amapá Telhas 02 (AT-02), Calandrini 02 (CA-02), Fortaleza 02 (F-02), União 02 (U-02)	42
Figura 4.9	Termogramas das Análises Térmicas Diferenciais (DTA) das amostras Calandrini 03 (CA-03) e União 03 (U-03)	43
Figura 4.10	Termogramas das Análises Térmicas Diferenciais (DTA) das amostras Corte de Estrada - 01 (CE-01) e Corte de Estrada-02 (U-03)	43
Figura 4.11	Espectros de Infravermelho Amapá Telhas 01 (AT-01), Amapá Telhas 02 (AT-02), Calandrini 01 (CA-01), Calandrini 02 (CA-02), União 01 (U-03), União 02 (U-02), União 03 (U-03) Fortaleza 01 (F-01), Fortaleza 02 (F-02), Corte de Estrada 01 (CE-01) e Corte de Estrada 02 (CE-02).	45
Figura 4.12	Classificação litológica através da análise granulométrica de acordo com Shepard (apud Suguio, 1973).	46
Figura 4.13	Corpos de provas secos a 110°C, queimados a 950°C e a 1050°C.	49
Figura 4.14	Relação entre os valores medidos para tensão de ruptura à flexão das amostras estudadas e valores-limites recomendados para fabricação de tijolos de alvenaria, estrutural e telhas.	56
Figura 4.15	Relação entre os valores medidos para tensão de ruptura à flexão, a 1050°C, das amostras do Amapá e valores-limites recomendados para fabricação de	

	tijolos de alvenaria, estrutural e telhas.	57
Figura 4.16	Prognóstico de extrusão através dos limites de Atterberg. Adaptado de VIEIRA <i>et al.</i> (2007)	59
Figura 4.17	Coluna Litoestratigráfica da cerâmica Amapá Telhas relacionada com as análises mineralógicas (DRX), químicas e propriedades cerâmicas (AA, TRF e RLQ)	60
Figura 4.18	Coluna Litoestratigráfica da cerâmica Calandrine relacionada com as análises mineralógicas (DRX), químicas e propriedades tecnológicas (AA, TRF e RLQ)	60
Figura 4.19	Coluna Litoestratigráfica da cerâmica União relacionada com as análises mineralógicas (DRX), químicas e propriedades tecnológicas (AA, TRF e RLQ)	61
Figura 4.20	Coluna Litoestratigráfica da cerâmica Fortaleza relacionada com as análises mineralógicas (DRX), químicas e propriedades tecnológicas (AA, TRF e RLQ)	61
Figura 4.21	Coluna Litoestratigráfica do Corte de Estrada relacionada com as análises mineralógicas (DRX), químicas e propriedades tecnológicas (AA, TRF e RLQ)	62
Figura 4.22	Mapa de localização das cerâmicas.	65
Figura 5.1	Campos naturais (ressacas).	68
Figura 5.2	Fluxograma do processo produtivo.	69
Figura 5.3	Extração da matéria-prima: (A) com retroescavadeira e (B) manualmente com auxílio de pá.	70
Figura 5.4	Local de sazonalidade	70
Figura 5.5	Equipamentos das olarias: (A) (B) Caixa alimentador; (C) Laminador; (D) Esteira.	71
Figura 5.6	Prateleiras para secagem natural.	74
Figura 5.7	Galpões que servem de abrigos para as prateleiras na secagem natural.	74
Figura 5.8	Secagem artificial de telhas.	75
Figura 5.9	Desenho esquemático de estufas artificiais.	75
Figura 5.10	Forno tipo caieira da Cerâmica União.	77
Figura 5.11	Fornos de Abóbora: A) Imagem externa do forno, B) Imagem interna do forno de abóboda.	78
Figura 5.12	Vagoneta e entrada do forno de túnel.	79
Figura 5.13	Percentual de produção local adaptado de SETEC 2006.	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Componentes químicos versus funções desempenhadas	9
Tabela 3.1	Características gerais do perfil da Cerâmica Calandrini	22
Tabela 3.2	Características gerais do perfil da Amapá Telhas	22
Tabela 3.3	Características gerais do perfil da União	23
Tabela 3.4	Características gerais do perfil da Cerâmica Fortaleza	24
Tabela 3.5	Característica geral do perfil Corte de Estrada	25
Tabela 4.1	Resultados da análise química dos elementos representativos das amostras	47
Tabela 4.2	Resultados da média das análises química dos elementos maiores das amostras estudadas comparadas com outras argilas do Brasil	48
Tabela 4.3	Coloração das amostras de acordo com a temperatura	50
Tabela 4.4	Valores referentes à retração linear, expressa em porcentagem e de acordo com as temperaturas.	51
Tabela 4.5	Valores referentes à tensão de ruptura a flexão das amostras estudadas	51
Tabela 4.6	Tabela relacionada à absorção de água das amostras por suas respectivas temperaturas de queima	53
Tabela 4.7	Valores referentes à porosidade aparente para as amostras envolvidas no trabalho, nas temperaturas de 950 °C e 1050 °C	54
Tabela 4.8	Valores referentes à densidade aparente, expressos em porcentagem, de acordo com as temperaturas.	55
Tabela 4.9	Valores-limites recomendados, determinados em laboratório, para fabricação de produtos para cerâmica vermelha, conforme Santos (1989)	56
Tabela 4.10	Valores referentes aos Limites de Liquidez (LL), Plasticidade (LP) e Índices de Plasticidade (IP), expressos em porcentagem.	58
Tabela 4.11	Comparação das propriedades cerâmicas das amostras estudadas com argilominerais caracterizados por Heystek (1964) adaptado de Santos (1989)	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AT	Amapá Telhas
U	União
F	Fortaleza
CE	Corte de Estrada
CA	Calandrini
DRX	Difração de Raios-X
DTA	Análise Térmica Diferencial
TG	Análise Termogravimétrica
TRF	Tensão de Ruptura à Flexão
RL	Retração Linear
AA	Absorção de Água
PA	Porosidade Aparente
MEA	Massa Específica Aparente
LL	Limite de Liquidez
LP	Limite de Plasticidade
IP	Índice de Plasticidade
OR	Orientada
GL	Glicolada
AQ	Aquecida

RESUMO

A atividade oleira cerâmica do Estado do Amapá ainda apresenta-se bastante incipiente, não conseguindo atender ao mercado local. Dentre os principais entraves diagnosticados, podemos citar os seguintes: 1) problemas na locação de novas jazidas; 2) desconhecimento das características física, química e mineralógica da matéria-prima (argila); e 3) a falta de critérios técnicos na extração da matéria-prima. Os objetivos do trabalho são: 1) Fazer o levantamento, cadastrar e estudar o contexto geológico das principais ocorrências de argilas para cerâmica vermelha do estado do Amapá, as quais estão concentradas nos arredores dos municípios de Macapá e Santana; 2) Em ocorrências selecionadas, avaliar as características químicas e mineralógicas da matéria-prima, além das propriedades tecnológico-cerâmicas, através do qual se deseja o melhoramento dos produtos de cerâmica vermelha (tijolos e telhas). O trabalho foi desenvolvido na área que abrange os municípios de Macapá e Santana no Amapá, limitado pelas latitudes (0°0'30"S e 0°3'30"S) e longitudes (51°12'30"W e 51°5'30"W), onde estão localizados os maiores números de olarias do Estado. Os materiais utilizados são provenientes de argilas aproveitadas por 4 cerâmicas: Calandrine (CA), Amapá Telhas (AT), União (U), Fortaleza (F) e Corte de Estrada (CE), as duas primeiras estão localizadas em Macapá e as restantes no Município de Santana. No total foram utilizadas 12 amostras dos 5 pontos citados. A metodologia constituiu-se em pesar 1 kg de amostra bruta, secando-se a 50°C em estufa, desagregando e homogenizando a mesma. Após este tratamento inicial, quarteou-se separando 500 g para arquivo e o restante para análise granulométrica. Da fração argila realizou-se difração de raios-X (DRX), análise térmica diferencial (DTA), análise termogravimétrica (TG), espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier (espectros FTIR), análise química (SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , TiO_2 , CaO , Na_2O , K_2O , MgO e perda ao fogo). Para os ensaios tecnológicos utilizaram-se normas ABNT e foram confeccionados corpos de provas de 6x2x0,5cm para determinação dos seguintes parâmetros: cor, absorção de água (AA), porosidade aparente (PA), retração linear (RL), densidade aparente (DA), tensão de ruptura à flexão (TRF), limite de liquidez (LL), limite de plasticidade (LP) e índice de plasticidade (IP). Os dados obtidos através da análise química mostram grande quantidade de SiO_2 , $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$, associados ao quartzo e caulinita. Valores de Fe_2O_3 , TiO_2 sugerem redução da refratariedade e mudanças na coloração quando queimados a 950°C, além de estarem ligados aos minerais acessórios goethita, anatásio e hematita. Observou-se que CaO e MgO são elementos que baixam a refratariedade e ligados a montmorilonita e muscovita. Já Na_2O e K_2O , são fundentes importantes no processo de vitrificação. A difração de raios-X, análise térmica e espectroscopia na região do infravermelho revelaram a presença dos seguintes minerais: quartzo, illita, caulinita, esmectita (montmorilonita), goethita, anatásio. As argilas ensaiadas se caracterizam por apresentarem elevada plasticidade com índice de plasticidade (IP) >15% e alta porcentagem de fração silte. As medidas de absorção de água, porosidade aparente, retração linear e tensão de ruptura à flexão após queima em forno nas temperaturas de 950°C e 1050°C, apresentaram valores adequados para o uso das argilas em indústria de cerâmica vermelha. De acordo com as medidas obtidas nos ensaios tecnológico-cerâmicos para os corpos de provas queimados nas temperaturas de 950°C e 1050°C, contataram-se as seguintes aplicações nas argilas estudadas: 1) Temperatura de queima a 950°C - Para tijolos de alvenaria 10 amostras serviram (U-01, U-02, U-03, F-01, F-02, AT-01, AT-02, CA-01, CA-02, CA-03); para tijolos estruturais 8 amostras serviram (U-01, U-02, U-03, F-01, F-02, AT-02, CA-01, CA-03); e para telhas apenas 5 amostras apresentaram-se dentro dos padrões (U-01, U-03, F-02, F-01, AT-02). 2) Temperatura de queima a 1050°C - 10 amostras apresentaram-se

dentro dos padrões exigidos para produção de telhas, tijolos de alvenaria e estrutural (U-01, U-02, U-03, F-01, F-02, AT-01, AT-02, CA-01, CA-02, CA-03).

Palavras-chave: Caracterização, argilas do Amapá, tecnologia cerâmica.

ABSTRACT

The activity ceramic of the State of Amapá still it presents very incipient, not managing to attend the market local. Among the main hindrances diagnosed, we can cite the next: 1) problems in the rental of lain new; 2) ignorance of the physical, chemical and mineralogical characteristics of the raw material (clay); 3) the lack of technical criteria in the raw material extraction. The work goals are: 1) Do the rising, register and to study clays main occurrences geological context for red pottery of the state of Amapá, the which ones are concentrate in the municipal districts surroundings of Macapá and Santana; 2) In occurrences selected, evaluate the chemical and mineralogical characteristics of the raw material, besides the technological-potteries properties, through which wishes the products improvement of red pottery (bricks and tiles). The work was developed in the area that embraces Macapá's Municipal districts and Santana in Amapá, limited by the latitudes ($0^{\circ}0'30''S$ and $0^{\circ}3'30''S$) and longitudes ($51^{\circ}12'30''W$ and $51^{\circ}5'30''W$), where are located the biggest numbers of ceramic of the State. The used materials in this work are coming of clays seized by 4 ceramic: Calandrine (CA) and Amapá Telhas (AT) (Macapá); União (U) and Fortaleza (F) (Santana), besides one regarding Corte de Estrada (CE) in Elesbão's District in Santana's Municipal district, representative sample of the Formation Barreiras. In the total were used 12 samples of the 5 cited places, distributed in profiles with average depth of 2,3 m. The methodology constituted in weigh 1 kg of brute sample, drying itself to $50^{\circ}C$ in stove, disintegrating and homogenizer the same. After this initial treatment, separate in four equal parts, it was separating 500 g for file and the remaining for analysis granulometric. Of the fraction clay it accomplished X-ray diffraction analysis (XRD), differential thermal analysis (DTA), thermogravimetric analysis (TGA), espectroscopy in the region of the infrared with transformed of Fourier (spectrums FTIR), chemical analysis (SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , TiO_2 , CaO , Na_2O , K_2O , MgO and loss to the fire). For the technological rehearsals they used rules ABNT and were made bodies of proofs of $6x2x0,5cm$ to determination of the following parameters: color, water absorption (WA), apparent porosity (AP), linear shrinkage (LS), apparent density (AD), Flexural Strenght (FS), liquidity limit (LL), plasticity limit (PL) and plasticity index (PI). The data obtained through the chemical analysis show great quantity of SiO_2 , $Al_2O_3 + H_2O$, associates to the quartz and kaolinite. Values of Fe_2O_3 , TiO_2 suggest refractory and changes reduction in the coloration when burnt to $950^{\circ}C$, besides being linked to the accessory minerals goethite, anatase and hematite. That was observed CaO and MgO are elements that drop for refractory and linked for montmorillonite and muscovite. Already Na_2O and K_2O , are fundentes important in vitrification process. For X-ray diffraction, thermal analysis and espectroscopy in the region of the infrared revealed the presence of the following minerals: quartz, illite, kaolinite, esmectite (montmorillonite), goethite, anatase. Clays rehearsed characterize for present elevated plasticity with plasticity index (PI) $>15\%$ and fraction silte high percentage. The water absorption measures, apparent porosity, lineal retraction and rupture tension to the inflection after burning in oven in the temperatures of $950^{\circ}C$ and $1050^{\circ}C$, they presented values adequate for clays use in industry of red pottery. According to the measures obtained in the technological-ceramic rehearsals for the bodies of proofs burnt in the temperatures of $950^{\circ}C$ and $1050^{\circ}C$, they contacted the next applications in clays studied: 1) Burning temperature to $950^{\circ}C$ - For masonry bricks 10 samples served (U-01, U-02, U-03, F-01, F-02, AT-01, AT-02, CA-01, CA-02, CA-03); for structural bricks 8 samples served (U-01, U-02, U-03, F-01, F-02, AT-02, CA-01, CA-03); and for tiles just 5 samples they presented inside the standards (U-01, U-03, F-02, F-01, AT-02). 2) Burning temperature to $1050^{\circ}C$ - 10 samples they presented inside the standards demanded for

tiles production, masonry bricks and structural (U-01, U-02, U-03, F-01, F-02, AT-01, AT-02, CA-01, CA-02, CA-03).

Keywords: Characterization, clays of Amapá, technological ceramic.

1 – INTRODUÇÃO

O Estado do Amapá possui 143.453,7 Km² de área e é formado por 16 municípios, sendo Macapá e Santana os mais populosos. A atividade econômica principal é a extrativista, apresentando como principais matérias-primas: madeira, minerais, extração de castanha, etc. A atividade oleira cerâmica tem uma grande importância sócio-econômica, mas ainda é bastante incipiente, não conseguindo atender o mercado local.

A maior concentração das olarias está situada nas áreas urbanas das cidades de Macapá e Santana, ao longo das sub-bacias dos Igarapés da Fortaleza e Elesbão. Nestas regiões encontram-se em torno de 28 olarias que produzem basicamente tijolos e telhas, devido à ausência de equipamentos adequados geram um grande desperdício de matéria-prima, afetando sua produtividade e atendendo apenas 50% da demanda do mercado.

Dentre os principais entraves diagnosticados, podemos citar os seguintes: 1) problemas na locação de novas jazidas, 2) desconhecimento das características física, química e mineralógica da matéria-prima (argila); 3) a falta de critérios técnicos na extração da matéria-prima; e 4) Falhas no processo produtivo (extração, conformação de produtos e tratamento térmico).

A dissertação foi elaborada com objetivo de caracterizar as argilas utilizadas nas olarias do Estado do Amapá, levando-se em consideração os aspectos físico, químicos, mineralógicos e as propriedades cerâmicas, com a finalidade de ampliar os conhecimentos da matéria-prima (argila), visando a redução dos desperdícios durante o processo de fabricação de tijolos e telhas, bem como outras aplicações tecnológicas para elas.

Estes estudos irão suprir a deficiência de informações sobre o assunto, além de servir como auxílio no controle e aproveitamento mais adequados da matéria-prima, colaborando assim, para a diversificação e aprimoramento da qualidade dos produtos comercializados no mercado local.

1.1 – OBJETIVO

1) Fazer o levantamento, cadastrar e estudar o contexto geológico das principais ocorrências de argilas para cerâmica vermelha do estado do Amapá, as quais estão concentradas nos arredores dos municípios de Macapá e Santana.

2) Nas ocorrências selecionadas, avaliar as características químicas e mineralógicas da matéria-prima, além das propriedades tecnológicas - cerâmicas, através do qual se deseja o melhoramento dos produtos de cerâmica vermelha (tijolos e telhas).

1.2 – LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A área onde se desenvolveu o estudo está situada ao sudeste do Estado do Amapá, englobando os municípios de Macapá e Santana, região da sub-bacia do Igarapé da Fortaleza e do Igarapé do Elesbão, limitada pelas latitudes $0^{\circ}0'0''S$, $0^{\circ}3'30''S$ e longitudes $51^{\circ}12'00''W$, $51^{\circ}5'30''W$ (fig. 01). O acesso à área se faz a partir de Macapá por via terrestre utilizando a rodovia Juscelino Kubitschek (AP-010) até o município de Santana onde se localizam a maioria das olarias.

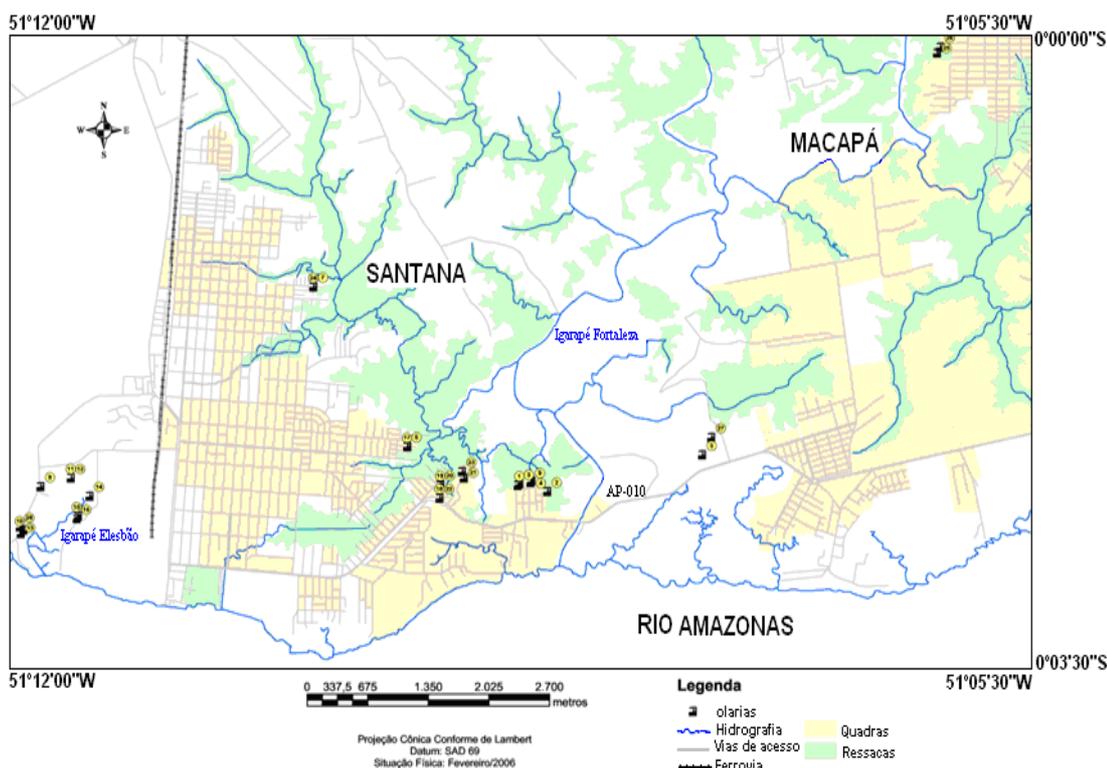


Figura 1.1 – Mapa de Localização da área de estudo modificado de SETEC (2006).

2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 – ARGILAS E MATÉRIAS-PRIMAS PARA A INDÚSTRIA CERÂMICA

Antigamente acreditava-se que a argila era constituída, na sua maior parte, de um material amorfo com partículas submicroscópicas. Porém, quando a tecnologia avançou, e modernos equipamentos puderam detectar as frações mais finas de argila, tornou-se evidente que a quantidade de material amorfo era pouco, predominando cristais definidos, porém minúsculos. Esses cristais podiam ser agrupados em espécies minerais bem definidas. As propriedades das argilas são: tamanho das partículas, plasticidade, tensão de ruptura à flexão a seco e capacidade de troca cátions, cor, porosidade e retração após secagem e queima (NORTON, 1973).

Santos (1989) descreve argila como um material natural, formado por grãos terrosos, de granulação fina, inferior a 2 μm , constituída essencialmente de argilominerais, podendo conter quartzo, mica, feldspato, turmalina, além de matéria orgânica e outras impurezas. Os argilominerais são os minerais característicos das argilas, quimicamente são silicatos de alumínio ou magnésio hidratados, contendo outros elementos como ferro, potássio, lítio e outros. Após moagem, formam com a água uma pasta mais ou menos plástica, que endurece após a secagem ou após a queima. Argilas são mineralogicamente formadas por grupos de argilominerais do tipo caulinita, illita e esmectita. A diferença desses minerais são basicamente os tipos de estruturas e as substituições que podem ocorrer, por exemplo: o alumínio pelo magnésio ou ferro e o silício por alumínio ou ferro, como consequência ocorre a neutralização das cargas residuais geradas pelas diferenças de cargas elétricas dos íons por alguns cátions. Desta forma, na caulinita praticamente não ocorre substituição, devido ser eletricamente neutra; os íons de alumínio ocupam dois terços das posições octaédricas (dioctaédricas) para neutralizar as cargas residuais dos silicatos. Para a illita há substituição maior do alumínio por silício, aumentando a interação da estrutura cristalina onde, sendo potássio o cátion neutralizante. Na montmorillonita também ocorrem substituições isomórficas em porcentagens moderadas do alumínio para o silício nas posições tetraédricas, enquanto, as octaédricas podem ser preenchidas por alumínio, ferro, magnésio e os cátions neutralizantes podem ser sódio, cálcio, potássio e outros. Isto implica em diferenças nas características de interesse para as diversas aplicações tecnológicas.

A plasticidade das argilas é essencialmente resultante das forças de atração entre as partículas lamelares de argilominerais carregadas eletricamente e a ação lubrificante da água que

álcalis, sais solúveis e água. As funções de cada composto químico estão descritas na tabela 2.1 abaixo.

Tabela 2.1 – Componentes químicos versus funções desempenhadas.

Componentes Químicos	Funções
Óxido de silício (SiO ₂)	Reduz a plasticidade e o trincamento; diminui a retração e facilita a secagem; diminui a resistência mecânica, mas o pouco que funde no cozimento é que dá o vidrado endurecedor; forma, em geral, de 40% a 80% do total da matéria-prima.
Óxido de alumínio (Al ₂ O ₃)	De acordo com o tipo, aumenta ou diminui o ponto de fusão da argila; reduz a plasticidade e a resistência mecânica, mas diminui as deformações; aparece ordinariamente com teores de 10% a 40%.
Óxido de ferro (Fe ₂ O ₃)	Encontrado nas rochas ígneas, mistura-se com a caulinita e dá a coloração avermelhada ou amarelada da maioria das argilas; reduz a refratariedade e seu teor não ultrapassa, usualmente, 7%.
Álcalis	Baixam o ponto de fusão e dão porosidade, facilitando a secagem e o cozimento; reduzem a plasticidade; o teor de álcalis é da ordem de 10%.
Sais solúveis	Responsáveis pela fusão do material cerâmico em altas temperaturas.
Óxido de cálcio (CaO)	Tem geralmente um teor abaixo de 10%.
Óxido de magnésio (MgO)	Não ultrapassa 1%.
Água (H ₃ O ⁺)	Água de constituição (absorvida ou de inchamento): faz parte da estrutura das moléculas; Água de plasticidade : adere às superfícies das partículas coloidais; Água de capilaridade (livre ou de poros): preenche os poros e vazios.

Fonte: (NORTON; VERÇOSA; BAUER; PETRUCCI, 1973, 1975, 1979, 1994)

2.2 – CERÂMICA

Fragmentos cerâmicos têm sido associados a locais de moradia humana desde os tempos mais antigos; de fato, tais fragmentos têm ajudado aos arqueólogos na determinação de níveis culturais, segundo Norton (1973).

A história de fabricação da cerâmica data do período neolítico (5000 A.C.), onde o homem pré-histórico já fazia cestas de vime com barro. Verificou-se mais tarde que poderia usar somente o barro e constatou-se que o calor o fazia endurecer, tornando-o estável na água, surgindo assim a cerâmica (BETINI, 2007).

As indústrias cerâmicas tradicionais têm como produtos acabados diversos materiais que são essencialmente de silicatos. Mais recente, desenvolveram-se novos produtos para atender à demanda de objetos capazes de suportarem temperaturas elevadas, resistirem a pressões elevadas, ao mesmo tempo possuírem propriedades mecânicas superiores, apresentarem características elétricas especiais e oferecerem proteções contra os agentes químicos corrosivos (SHREVE e BRINK, 1977).

Durante a sinterização da peça cerâmica, os fundentes aceleram a formação de vidros que recobrirão certa quantidade de poros, resultando em produtos de melhores qualidades intrínsecas, como, por exemplo, maior estanqueidade à água, maior resistência mecânica, entre outras. Porém, as quantidades devem ser controladas, pois os poros fechados podem gerar tensões internas no material, resultando no surgimento de trincas e, conseqüentemente, diminuindo a resistência mecânica do corpo cerâmico. Podem também resultar em alterações dimensionais (NORTON, 1973).

O setor cerâmico é amplo e heterogêneo o que induz a dividi-lo em subsectores ou segmentos em função de diversos fatores como matérias-primas, propriedades e áreas de utilização (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA, 2002).

a) Cerâmica Tradicional

Os produtos da cerâmica tradicional abrangem os maiores números de objetos e são classificados a seguir:

- Vidros

Os vidros são um grupo familiar de materiais cerâmicos; recipientes, janelas, lentes e a fibra de vidro representam aplicações desse grupo. Os vidros consistem em silicatos não cristalinos que também contêm outros óxidos, notavelmente CaO, Na₂O, K₂O e Al₂O₃, os quais influenciam as suas propriedades (CALLISTER, 2002).

- Cerâmica Estrutural

Os produtos estruturais são mais duráveis como os tijolos de construção, tijolos de paramentos, a terracota, as manilhas de esgotos e as de águas servidas, telhas, azulejos, ladrilhos,

são fabricados com argilas e têm impurezas suficientes para fornecerem os fundentes necessários à aglomeração do corpo cerâmico (SHREVE & BRINK, 1977).

- Cerâmica Branca

O setor de cerâmica branca agrupa uma grande variedade de produtos, tais como louças, porcelanas (utilitárias e decorativas), sanitários e porcelana técnica, que se diferenciam, entre outros fatores, pela temperatura de queima e pela composição da massa, notadamente o tipo de fundente (MOTA *et al*, 2001). Segundo Jordão & Zandonadi (2002), esta cerâmica é fabricada com massas constituídas principalmente por argilas cauliníticas, quartzo e fundentes, que após a queima apresentam cores claras.

- Refratários

Os ingredientes principais das argilas refratárias são argilas com alto ponto de fusão e puras, misturadas com alumina e sílica contendo entre 25% a 45% de alumina, ao longo dessa faixa de composição a maior temperatura possível sem que ocorra a formação de uma fase líquida é de 1587°C. Abaixo dessa temperatura, as fases em equilíbrio que estão presentes são a mullita e a sílica (crystalita). Durante o uso em refratários, a presença de uma pequena quantidade de uma fase líquida pode ser permitida sem que haja um comprometimento da integridade mecânica. Acima de 1578°C, a fração de fase líquida presente dependerá da composição do refratário. O aumento do teor de alumina irá aumentar a temperatura máxima de serviço, permitindo a formação de uma pequena quantidade de líquido. Dentre suas aplicações podemos citar revestimentos para fornos de refino de metais, fabricação de vidros, isolantes térmicos, tratamento térmico metalúrgico e a geração de energia (CALLISTER, 2002).

- Abrasivos

Parte da indústria de abrasivos, por utilizarem matérias-primas e processos semelhantes ao da cerâmica, constituem-se num segmento cerâmico. Entre os produtos mais conhecidos podemos citar o óxido de alumínio eletrofundido e o carbetto de silício (CARNEIRO, 2003).

- Cerâmica Vermelha

Segundo Gomes (1988) a matéria-prima da cerâmica vermelha possui grandes quantidades de silte e areia, variando sua cor de preto, cinzenta, vermelha, castanha, amarela ou verde. O teor em fração argilosa é baixo, mas suficiente para permitir o desenvolvimento da plasticidade necessária para a moldagem dos corpos cerâmicos. Esta plasticidade cresce com as relações minerais argilosos / minerais não argilosos. A argila é queimada em atmosfera oxidante,

a temperatura em regra não superior a 950°C e após a queima os corpos apresentam coloração avermelhada, porém se argila for calcária essa tonalidade é atenuada, resultando em uma tonalidade acastanhada. Os principais produtos nesta categoria são os materiais empregados na construção civil: tijolos, blocos, telhas, tubos cerâmicos e manilhas.

- Cimentos, Gessos e Cal

Esses materiais têm uma grande variedade de composições, porém apresentam em comum a propriedade de pega, ou endurecimento sem calor. Eles são usados para muitos fins, variando desde a produção de uma estrutura maciça empregada para represa de um rio (barragem), ao enchimento de uma cavidade (obturação) de dentes (NORTON 1973).

b) Cerâmicas Avançadas

O desenvolvimento de novas e, como são conhecidas, “avançadas”. Em particular, as propriedades elétricas, magnéticas e  ticas, bem como combina es de propriedades exclusivas dos materiais cerâmicos, têm sido exploradas em uma gama de novos produtos; alguns desses materiais podem ser utilizados em motores a combustão interna e de turbina, em chapas de blindagem, em embalagens de componentes eletr nicos, como ferramentas de corte, e para conversão, armazenamento e gera o de energia (CALLISTER 2002).

2.3 – CONTEXTO GEOLÓGICO DAS OCORRÊNCIAS DE ARGILAS ESTUDADAS.

2.3.1 – Geologia Regional

A  rea em estudada apresenta unidades de idades Terciária e Quaternária, e estão descritas conforme seu posicionamento estratigráfico:

Arantes et al. (1972) identificou os maiores depósitos de argilas da região em explora o ao longo da foz do Amazonas onde se instalam as maiorias das indústrias cerâmicas, sobre tudo no Estado do Pará.

Grupo Barreiras

RADAM (1974) caracterizou a Forma o Barreiras de idade Terciária, reunindo uma diversidade de sedimentos que aparece ao longo da costa brasileira, desde o Amapá até o Rio de Janeiro, e constitui a maioria das terras firmes das margens do rio Amazonas e de seus

tributários. Engloba sedimentos (mal consolidados) areno-argilosos, arenosos, argilo-siltosos e conglomeráticos, em geral avermelhados, amarelados e esbranquiçados, os quais se assentam discordantemente, sobre as rochas do Complexo Guianiense.

Aluviões

São formados pelos depósitos de sedimentos incosolidados, de idade quaternária, que ocorrem nos vales e nas planícies de inundação dos cursos d'água da atual rede de drenagem e na planície litorânea, caracterizados como de natureza flúvio-lacustres e flúvio-marinhos ao longo da costa, a partir do rio Flexal para norte. Os depósitos flúvio-lacustres estão representados por cascalhos, areias, siltes e argilas; os flúvio-marinhos, por argilas, siltes e areias subordinadas Lima et al (1991).

Segundo Costa (1991), Os horizontes argilosos são encontrados logo abaixo do horizonte ferruginoso, são constituídos essencialmente por argilominerais e podem apresentar possantes camadas variando entre 7 e 15 metros de espessura, e apresentar características estritamente relacionadas com a natureza da rocha-mãe. Esta considerável espessura pode ser ainda maior dependendo do grau de maturidade e do perfil de alteração regional ou local da rocha-mãe. Estes horizontes apresentam-se comumente por material fino com nódulos de hidróxido de alumínio, e dispersão de micro partículas de oxi-hidróxidos de ferro que imprimem colorações entre o vermelho e o violeta ao material argiloso.

Levantamento da SEICOM (1999) propõe que as argilas locais são de idade recente nas topografias mais baixas, e mais antigas nas topografias mais elevadas (Grupo Barreiras). Entretanto, são utilizadas somente as argilas recentes por se apresentarem mais plásticas e homogêneas, assim facilitando a modelagem das peças, uma vez que a maioria das olarias está desprovida de máquinas para o processamento de material mais consistente, que é o caso das argilas do Grupo Barreiras.

Torres & Oliveira (2004) caracterizaram que a região onde se localizam os municípios de Macapá e Santana são constituídas por Planícies Quaternárias apresentando feições de origem terrestres e aquáticas. Os sub-ambientes apresentam-se periodicamente inundados por água doce do Rio Amazonas e influenciado pela preamar. O primeiro abrangendo lagoas e lagos (temporários e permanentes) de água doce recebe denominação local de “ressacas”, que podem estar ou não ligada às influências de preamar. O outro sub-ambiente, denominado de várzeas, corresponde, de acordo com Lima (apud Torres & Oliveira 2004), aos terrenos ribeirinhos baixos

e planos, ou seja, que margeiam o baixo curso dos rios e dos seus afluentes e ficam submersos durante as cheias.

Os depósitos recentes de argila dividem-se em dois tipos: 1) Os que sofrem influência de Maré; 2) os que ocorrem em lagos isolados. Estes últimos apresentam-se com maior expressão vertical; e lateral. Existem expressivas diferenças entre as argilas dos dois tipos de depósitos no que concerne ao pH, Eh, e Fe e Al mobilizados no perfil vertical, atribuída à influência ou não de maré sobre os depósitos SEICOM (1999).

Os sedimentos de idade terciário-quaternária estão distribuídos nos domínios dos Municípios de Macapá e Santana. As litologias pertencentes à Formação Barreiras ainda não foram bem caracterizadas na zona costeira do Estado do Amapá, mas foi possível a identificação de suas variações faciológicas na região. As litologias Quaternárias são de origem fluvial, flúvio-estuariana e flúvio-marinha em locais restritos, estes materiais não apresentam grandes variações granulométricas, porém há indícios morfológicos que eles pertencem a períodos distintos ao longo da história da formação da Planície Costeira do Estado do Amapá (SANTOS, 2004).

De acordo com Santos (2004) os sedimentos costeiros Cenozóicos encontrados na área de estudo, subdivididos nos períodos terciário e quaternário, são identificados através das seguintes unidades geológicas:

Depósitos Terciários

Formação Barreiras (Tar) – Sedimentos areno-argilosos, semi-incosolidados, de coloração amarelo-avermelhada contendo lentes e níveis centimétricos de micro-conglomerados e conglomerados para o topo do perfil. Concreções lateríticas distribuem-se principalmente no contato entre as porções mais argilosas e mais arenosas;

Formação Barreiras (Targ) – Sedimentos, semi-incosolidados, de coloração cinza esbranquiçada, mosqueada, gradando para sedimentos argilo-arenosos para o topo, contendo concreções lateríticas. Localmente são encontradas lentes argilosas de coloração cinza escura, contendo restos de vegetais.

Depósitos Quaternários

Depósito de Planície Flúvio-Estuarina 2(Qfe2) – Sedimentos pelíticos (argila e silte) a silticos-arenosos coloração cinza na base e amarelada no topo, em áreas de várzea, influenciados por marés;

Depósitos de Planície Fluvio-Estuarina 1(Qfe1) – Sedimentos pelíticos (argila e silte) de coloração cinza amarelada, influenciada sazonalmente pelas águas pluviais e/ou eventualmente pelas marés, ocorrendo ao longo de campos inundáveis;

Depósito de Planície Fluvial Antigos (Qfe1) – Sedimentos argilosos e argilo-arenosos de coloração cinza, contendo restos orgânicos vegetais, localmente ocorrem camadas arenosas sub-superficialmente. Associam-se as áreas denominadas localmente de “ressacas” e correspondem a depósitos de antigas rias afogadas;

Formação Barreiras (Qfc) – Sedimentos areno-argilosos, semi-incosolidados, de coloração amarelo-avermelhada contendo lentes e níveis centimétricos de micro conglomerados e conglomerados para o topo do perfil. Concreções lateríticas distribuem-se principalmente no contato entre as porções mais argilosas e mais arenosas. A Figura 2.1 é referente à descrição lito-estratigráfica da área em estudo:

ERA	PERIODO	DESCRIÇÕES DAS UNIDADES LITOLÓGICAS	
C E N O Z Í C O	Q U A T E R N Á R I O	Qfe2	Depósito de Planície Fluvio-Estuarina 2 – sedimentos pelíticos (argila e silte) a silticos-arenosos coloração cinza na base e amarelada no topo, em áreas de várzea, influenciados por marés.
		Qfe1	Depósitos de Planície Fluvio-Estuarina 1-sedimentos pelíticos (argila e silte) de coloração cinza amarelada, influenciada sazonalmente pelas águas pluviais e/ou eventualmente pelas marés, ocorrendo ao longo de campos inundáveis.
		Qfc	Depósito de Planície Fluvial Antigos-sedimentos argilosos e argilo-arenosos de coloração cinza, contendo restos orgânicos vegetais, localmente ocorrem camadas arenosas sub-superficialmente. Associam-se as áreas denominadas localmente de “ressacas” e correspondem a depósitos de antigas rias afogadas.
	T E R C I Á R I O	Tar	Formação Barreiras - sedimentos areno-argilosos, semi-incosolidados, de coloração amarelo-avermelhada contendo lentes e níveis centimétricos de micro conglomerados e conglomerados para o topo do perfil. Concreções lateríticas distribuem-se principalmente no contato entre as porções mais argilosas e mais arenosas.
		Targ	Formação Barreiras - Sedimentos, semi-incosolidados, de coloração cinza esbranquiçada, mosqueada, gradando para sedimentos argilo-arenosos para o topo, contendo concreções lateríticas. Localmente são encontradas lentes argilosas de coloração cinza escura, contendo restos de vegetais.

Figura 2.1 – Coluna estratigráfica, adaptado de Santos (2004).

2.3.2 – Geologia Local

Para caracterização da geologia local adotou-se a mesma denominação feita por Santos (2004). De acordo com esta classificação podemos identificar 06(seis) unidades lito-estratigráficas (Figura 2.2):

2.3.2.1 – Sedimentos Argilo-Arenosos (Targ)

Caracteriza-se esta unidade por sedimentos argilo-arenosos friáveis, de coloração amarelo-avermelhado e cinza-esbranquiçado. À medida que se aproxima do topo da unidade, ocorrem concentrações lateríticas e material areno-argiloso em contato gradacional ou brusco através de níveis de “stone line”. Na área estes sedimentos são encontrados a noroeste próximo ao rio Matapi no município de Santana e sudeste ao longo da rodovia Juscelino Kubitschek em Macapá.

2.3.2.2 – Sedimentos Areno-Argilosos (Tar)

A unidade ocorre em áreas que constitui o Planalto Costeiro, sustentando o relevo de sistemas colinosos ravinados e com vales. Encontra-se sobreposta as concreções lateríticas distribuindo-se no contato entre as porções mais argilosas e mais arenosas, encontradas mais próximas ao topo da unidade. Apresentando grãos de quartzo de dimensões milimétricas a centimétricas. O contato é algumas vezes gradacional ou, em outros momentos, brusco com os sedimentos da unidade Targ. Observa-se a ocorrência desta litologia a noroeste e próximo ao rio Matapi no município de Santana e a sudeste da área em Macapá.

2.3.2.3 – Depósitos de Planícies Fluviais Antigas (Qfc)

São observados na forma de depósitos ao longo de planícies fluviais antigas, recebem denominação local “ressacas”. Nas regiões mais internas da planície costeira apresentam-se em contato com os depósitos da Formação Barreiras. São constituídos por sedimentos argilosos com laminação plano paralela, variando de coloração cinza escura, na base, a cinza clara, no topo quando são capeados por camada centimétrica de lama com matéria orgânica (restos de vegetais).

Encontram-se lentes e lâminas decimétricas de areia mal selecionada, de coloração amarelada, contendo níveis de minerais pesados, a aproximadamente 1 metro abaixo do pacote argiloso. A ocorrência desses depósitos está associada à paleofeições de meandros abandonados. Esta unidade é encontrada ao longo da sub-bacia do Igarapé da Fortaleza em Santana e a nordeste da área no bairro do Zerão município de Macapá.

2.3.2.4 – Depósitos de Planícies Flúvio-Estuarinas 1 (Qfe1)

Estes depósitos estão associados às áreas de campos inundáveis, localizados sobrepostos a Formação Barreiras e sotapostos aos depósitos da Unidade Qfe2. Caracterizam as zonas mais internas da planície de inundação do rio Amazonas e de seus afluentes, compostos por sedimentos pelíticos, argilo-siltosos e siltico-arenosos, de coloração cinza amarelada.

Estão associados à influência das águas dos rios da região e principalmente das águas do rio Amazonas, e ao elevado índice pluviométrico do período de chuvas (dezembro-maio), proporcionando o alagamento sazonal de suas áreas. Em algumas regiões, estes depósitos também recebem a influência das marés de sizígia nos períodos de estiagem.

A origem destes depósitos é provavelmente a processo evolutivo de deposição por agradiação da planície costeira. Estes depósitos são encontrados as margens dos rios Amazonas, Matapi e Igarapé da Fortaleza.

2.3.2.5 – Depósitos de Planícies Flúvio-Estuarinas 2 (Qfe2)

Estes sedimentos são encontrados na linha de costa atual do Setor Estuarino do Estado, formando as unidades mais externas da planície de inundação do rio Amazonas e de seus afluentes, relacionados aos diques marginais e à vegetação de várzea. A partir do Matapi, para norte, as cotas são baixas, em torno de 1 metro, às proximidades da cidade de Macapá. A composição litológica é variada de argilas a siltico-argilosos, com coloração cinza. Esta unidade sofre diariamente a inundação por marés. Em função da grande influência exercida pelas marés, esta porção pode ser classificada como uma zona de intermaré. Os horizontes argilosos são excelentes para a fabricação de tijolos.

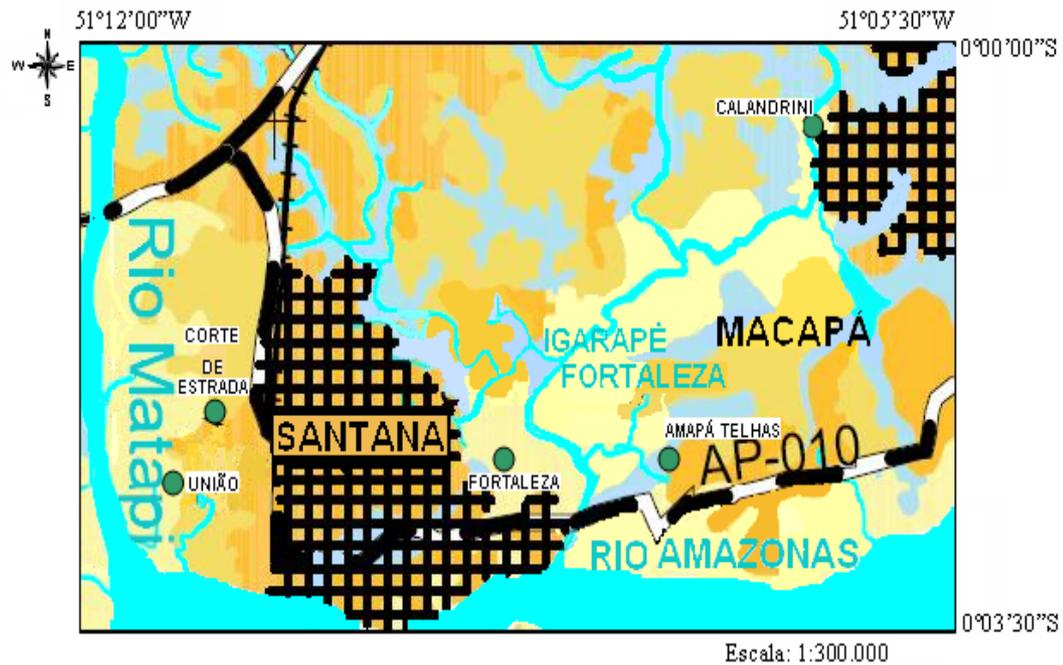


Figura 2.2 – Mapa Geológico, adaptado de Santos (2004).

Simbologias e convenções

-  Cidade
-  Rodovia Estadual Pavimentada
-  Ferrovia
-  Ponto de Amostragem
-  Lagos e Rios

Unidades Geológicas			
CENÓZICO	QUATERNÁRIO	Qfe2	Depósito de Planície Fluvio-Estuarina 2 – sedimentos pelíticos (argila e silte) a silticos-arenosos coloração cinza na base e amarelada no topo, em áreas de várzea, influenciados por marés.
		Qfe1	Depósitos de Planície Fluvio-Estuarina 1-sedimentos pelíticos (argila e silte) de coloração cinza amarelada, influenciada sazonalmente pelas águas pluviais e/ou eventualmente pelas marés, ocorrendo ao longo de campos inundáveis.
		Qfc	Depósito de Planície Fluvial Antigos-sedimentos argilosos e argilo-arenosos de coloração cinza, contendo restos orgânicos vegetais, localmente ocorrem camadas arenosas sub-superficialmente. Associam-se as áreas denominadas localmente de “ressacas” e correspondem a depósitos de antigas rias afogadas.
	Terciário	Tar	Formação Barreiras - sedimentos areno-argilosos, semi-incosolidados, de coloração amarelo-avermelhada contendo lentes e níveis centimétricos de micro conglomerados e conglomerados para o topo do perfil. Concreções lateríticas distribuem-se principalmente no contato entre as porções mais argilosas e mais arenosas.
		Targ	Formação Barreiras - Sedimentos, semi-incosolidados, de coloração cinza esbranquiçada, mosqueada, gradando para sedimentos argilo-arenosos para o topo, contendo concreções lateríticas. Localmente são encontradas lentes argilosas de coloração cinza escura, contendo restos de vegetais.

2.4 – O SETOR OLEIRO-CERÂMICO NO ESTADO DO AMAPÁ

A indústria cerâmica do estado do Amapá encontra-se ultrapassada do ponto de vista tecnológico. A maioria das olarias apresenta problemas: no controle de qualidade, na obediência aos requisitos do INMETRO, no desenvolvimento de novos produtos, serviços ao cliente e na busca de valor agregado.

Algumas pesquisas já realizadas revelam que as argilas em diferentes áreas do Estado são de boa qualidade para cerâmica vermelha. Todavia, o setor oleiro cerâmico pouco tem se desenvolvido no Amapá, em face de falta dos estudos da matéria-prima para se identificar as características físicas, químicas, mineralógicas das argilas e propriedades tecnológicas. Estes estudos são importantes para se conhecer a variabilidade das propriedades das argilas, aumentando o conhecimento científico e conseqüentemente o melhoramento do seu uso nas indústrias de cerâmica vermelha. Dentre os principais entraves diagnosticados, podemos citar os seguintes:

- Problemas na locação de novas jazidas, principalmente pela inexistência de mapas geológicos detalhados da formação, bem como de caracterização geológica das jazidas já implantadas, o que impede uma prospecção direcionada por falta de referencia básica do que se pretende encontrar;
- Desconhecimento das características física, química e mineralógica da matéria-prima (argila);
- A extração da matéria-prima ocorre sem critérios técnicos.

Com base nos fatos descritos foi elaborado o diagnóstico do setor oleiro, realizado em 1999 pela Secretaria de Indústria e Comércio (SEICOM), onde se observou que a matéria-prima (argila) é de boa qualidade, porém com exploração predatória e sem planejamento, provocando degradação ambiental. No processo produtivo existe um grande potencial instalado (40 olarias), mas, com baixo rendimento (50% da demanda) somado ao desconhecimento da matéria-prima, falta de planejamento operacional, qualificação da mão-de-obra e problemas críticos nos processos de secagem e queima dos produtos. Isso provoca a entrada de produtos de outros estados (Pará, Maranhão, Piauí) causando um desequilíbrio no setor local e ocasionando uma concorrência desleal por serem comercializados clandestinamente sem recolhimento dos impostos devidos. O volume da produção apresenta certa sazonalidade de acordo com o período

do ano, sendo que na estação das chuvas (dezembro a abril) a produção diminui em relação a menos chuvosa (agosto a novembro), dado o aumento da umidade no ar, pois os produtos gastam o dobro do tempo para secagem, que é feita ao natural. Outros entraves encontrados estão relacionados com a precariedade da infra-estrutura das olarias, não apresentam “layout” adequado para produção dos tijolos e desconhecimento dos custos de produção.

Mais recente, no ano de 2004, o SEBRAE em parceria com a Cooperativa dos Oleiros Cerâmicos do Amapá – COOCEAP resolveram dar apoio ao setor oleiro na legalização junto aos órgãos públicos ambientais. Através do Programa SEBRAE de Consultoria Tecnológica – SEBRAETEC que é um instrumento, no qual as Micros e Pequenas Empresas – MPE e empreendedores podem acessar os conhecimentos tecnológicos existentes no País, por meio de serviços de consultorias especializadas. O SEBRAETEC é executado custeando até 70% da consultoria tecnológica, sendo fundamental o comprometimento da empresa beneficiada com a contrapartida (no mínimo 30% do valor da consultoria tecnológica). O trabalho executado foi à legalização junto a Secretaria de Estado de meio Ambiente – SEMA e Departamento de Produção Mineral – DNPM, para obtenção das licenças foram apresentados uma série de documentos, um Relatório de Controle Ambiental (RCA) e Plano de recuperação de Áreas Degradáveis (PRAD).

As principais áreas de extração de argila estão localizadas dentro das áreas urbanas e proximidades das cidades de Macapá, Santana e Mazagão. Outras áreas com menor significância quantitativa estão, ou estiveram por determinado tempo, localizadas nos médio e baixo curso de rios da região como Piririm, Ajuruxi, Pedreira, Jarí e Araguari. No eixo Macapá-Santana as áreas estão localizadas nos ambientes de campos periodicamente alagados, conhecidos localmente como “ressacas”, que são ocupadas irregularmente dentro da cidade, como por exemplo, a ressaca do Beirol. Também se localizam em margens de igarapés e rios como Elesbão e Igarapé da Fortaleza, onde existe grande concentração de olarias. As áreas de extração em si estão quase sempre justapostas às olarias e nestas não existe a mínima gestão racional sobre o terreno ou áreas de extração, que favoreça uma retirada ordenada ou posterior destinação das cavas produzidas na retirada do material argiloso. Nestas áreas de extração, por estarem em áreas protegidas por lei, hoje se tornam inadequadas para este fim, devido ausência de planejamento de extração, implicando quase sempre em impactos ambientais significativos para o meio físico, fauna e flora, além do que para as comunidades do entorno dessas áreas Silva (2002).

3 – MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado utilizando-se argilas coletadas nos Municípios de Macapá e Santana, no Estado do Amapá, obedecendo duas etapas: atividades de campo e em laboratório.

3.1 – ATIVIDADE DE CAMPO

Esta etapa foi realizada no final do mês de novembro a dezembro de 2006, durante 7 dias, utilizando-se a infra-estrutura do Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Amapá (IEPA) fornecendo o apoio logístico e a ajuda dos professores Rômulo Simões Angélica e Thomas Scheller na interpretação das unidades geológicas. Dentre as atividades desenvolvidas podemos citar:

- Localização das ocorrências de argila, utilizando o aparelho de Posicionamento Geográfico por Satélite (GPS) GARMIM III;
- Coleta de amostras para análises em laboratório;
- Estudo geológico em detalhes dos depósitos, como descrição de perfil na cava de extração de argila;
- Visita técnica as olarias para observação do processo produtivo de tijolos e telhas, dando ênfase às etapas de extração, conformação e tratamento térmico.

3.2 – MATERIAL COLETADO

Foram selecionadas quatro cerâmicas: Calandrine, Amapá Telhas, Fortaleza e União. Levou-se em consideração para seleção das áreas o tamanho das olarias e localização das mesmas na área de estudo. Também foi escolhido um perfil de corte de estrada por ser de unidade litológica diferente dos demais pontos. Este material é utilizado pela cerâmica União, na época do inverno, para melhoria do processo de fabricação de tijolos. No total coletaram-se 12 (doze) amostras de argilas *in situ*, distribuídas pelos 5 (cinco) pontos, constituindo perfis sedimentares descritos. Adotou-se a seguinte nomenclatura para os materiais:

Ponto 1: Cerâmica Calandrini (CA) – Três amostras coletadas na área de extração de argila da Cerâmica Calandrini, no bairro do Zerão, Município de Macapá situada em região de planície de inundação do Igarapé da Fortaleza, apresentando coordenadas: 00°00'8,34" N e 051°06'19" W (Figura 3.1). A Tabela 3.1, apresenta as características gerais do perfil.



Figura 3.1 – Cava de onde foram coletadas as amostras na Cerâmica Calandrini

Tabela 3.1 – Características gerais do perfil da Cerâmica Calandrini.

Horizontes	Profundidades (m)	Cor	Observações
CA-03	0,20	amarela	Material situado no topo, constituído por silte.
CA-02	1,10	Cinza-amarelada	Localizado na porção intermediária do perfil, constituído principalmente por silte.
CA-01	2,25	Cinza-azulada	Material siltico-argiloso, com matéria orgânica, situado na base.

Ponto 2: Cerâmico Amapá Telhas (AT) – Duas amostras coletadas na área de extração de argila da Cerâmica Amapá telhas, localizada rodovia Juscelino Kubitschek, distrito da Fazendinha, município de Macapá. Situada em região de planície de inundação do Igarapé da fortaleza, apresentando coordenadas: N00°02'30,36" e W051°07'44,28", Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Características gerais do perfil da Amapá Telhas.

Horizontes	Profundidades (m)	Cor	Observações
AT-02	0,30	amarela	Material situado no topo, constituído por silte.
AT-01	2,10	Cinza-azulada	Localizado na base do perfil, constituído principalmente por silte.

Ponto 3: Cerâmica União (U) – Três amostras coletadas na área de extração de argila da Cerâmica União, no Ramal do Delta bairro do Elesbão, município de Santana na Estrada do Elesbão em região de planície de inundação do igarapé Elesbão. Suas coordenadas são: N00°02'51,6'' e W051°06'28,38''. As descrições deste ponto estudado estão na Tabela 3.3. A Figura 3.2, mostra o local de extração.

Tabela 3.3 – Características gerais do perfil da União.

Horizontes	Profundidades (m)	Cor	Observações
U-03	0,20	Amarela	Material situado no topo, constituído por silte.
U-02	1,00	Cinza-amarelada	Localizado na porção intermediária do perfil, constituído principalmente por silte.
U-01	2,70	Cinza-azulada	Material siltico-argiloso, com matéria orgânica, situado na base.



Figura 3.2-Local de extração de argila da Cerâmica União (Santana-AP).

Ponto 4: Cerâmico Fortaleza (F) – Duas amostras coletadas na área de extração de argila da Cerâmica Fortaleza. Sua localização fica no município de Santana, especificamente na Travessa Rio Xingu e coordenadas S 00° 02' 43,1'' e W 051° 08' 27,7'', em uma área cortada por pequenos cursos d'água que fazem parte da bacia do igarapé Fortaleza. O acesso é feito pela Rodovia Pedro Salvador Diniz, partindo-se de Macapá ou Santana (Figura 3.3). As descrições do material coletado estão contidas na Tabela 3.4.



Figura 3.3 - Local de extração de argila na Cerâmica Fortaleza (Santana-AP).

Tabela 3.4 – Características gerais do perfil da Cerâmica Fortaleza.

Horizontes	Profundidades (m)	Cor	Observações
F-02	0,20	Amarela	Material situado no topo, constituído por silte.
F-01	1,00	Cinza-amarelada	Localizado na base do perfil, constituído principalmente por silte.

Ponto 5: Corte de Estrada (CE) – Duas amostras coletadas no corte de estrada localizado no Bairro do Elesbão, Município de Santana na estrada do Elesbão. Este afloramento apresenta 4,50m de altura por 29m de extensão. Suas coordenadas são: N00°02'36,54'' e W051°06'28,32'' (Figura 3.4).

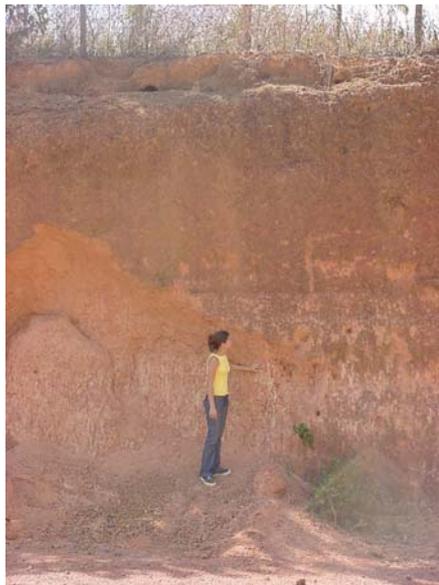


Figura 3.4 - Corte de estrada do Bairro Elesbão (Santana-AP).

Tabela 3.5 – Características gerais do perfil Corte de Estrada.

Horizontes	Profundidades (m)	Cor	Observações
CE-02	0,30	Amarela	Material situado no topo, constituído por areno- argiloso.
CE-01	2,25	Vermelho- amarelada	Localizado na base do perfil, granulometria caracterizada por predominância de argila-siltosa.

3.3 – ATIVIDADE DE LABORATÓRIO

As amostras coletadas na primeira etapa, passaram pelas seguintes análises em laboratório: mineralógicas, químicas e ensaios tecnológicos. Todos os experimentos foram realizados nos laboratórios do Centro de Geociências da UFPA.

3.3.1 – Preparação de Amostras para as Análises Mineralógicas, Químicas e Ensaios Tecnológicos

As argilas, coletadas na etapa de campo, foram levadas em bandejas para secar em estufa, à temperatura de 50-70 °C, durante 24 horas. Antes de ser colocada em estufa, sofreram uma secagem prévia ao ar livre. Após a secagem, desagregaram-se, manualmente com ajuda de um almofariz e pistilo de porcelana. Em seguida separou-se aproximadamente 500g de cada amostra, para os ensaios químicos e mineralógicos, e 2 kg para os ensaios tecnológicos.

Para as diferentes análises mineralógicas, as amostras foram pulverizadas com o auxílio de gral de ágata e pistilo seguido por diferentes formas de preparação, dependendo da técnica instrumental empregada, descritas posteriormente.

Para a confecção de lâminas orientadas para o estudo de argilominerais, por difração de raios-X, pesou-se 15g de cada material, os quais foram colocados em beckers individuais. Acrescentou-se água destilada, completando-se até 100ml, mexendo com bastões de vidro. Depois os beckers foram colocados no ultrassom, durante 4 a 5 minutos, para desagregar a argila e prosseguiu-se mexendo com bastões de vidro. Após este tratamento preliminar transferiram-se as amostras para tubos de polietileno, levando-os para a centrífuga, onde obtivemos a separação de silte e argila, com 1000 rotações durante 2 minutos. Ao final deste processo, a fração que ficou

em suspensão foi a argila, a qual foi colocada num becker para pipetagem. Em seguida, pipetou-se 2ml da amostra na lâmina de vidro e deixou-se secar por 24 horas. Depois de secas, as lâminas foram levadas para análise por difração de raios-x, sendo que cada amostra passou por três varreduras: uma da própria lâmina orientada, em seguida, a mesma lâmina após tratamento com etileno-glicol, e após calcinar durante duas horas à 550°C.

Para análise no equipamento de infravermelho pesou-se 2 mg da amostra e 1,8 g de brometo de potássio (KBr), em seguida misturou-se as duas massas em gral de ágata com posterior homogeneização com o auxílio do pistilo. A mistura foi colocada em um cilindro oco de aço, com inserção de outro cilindro maciço para a compactação da amostra em prensa hidráulica até atingir a pressão de 1,8 Kbar. Após a preparação da pastilha, colocou-se a mesma no módulo de varredura do equipamento que produziu o gráfico da amostra por infravermelho.

Para as análises térmicas foram utilizadas em torno de 12 a 14mg de amostra, em seguida foram introduzidas no aparelho para ensaio.

As análises químicas para a determinação dos elementos maiores obedeceram as seguintes etapas, de acordo com o fluxograma da Figura 3.5, apresentado a seguir:

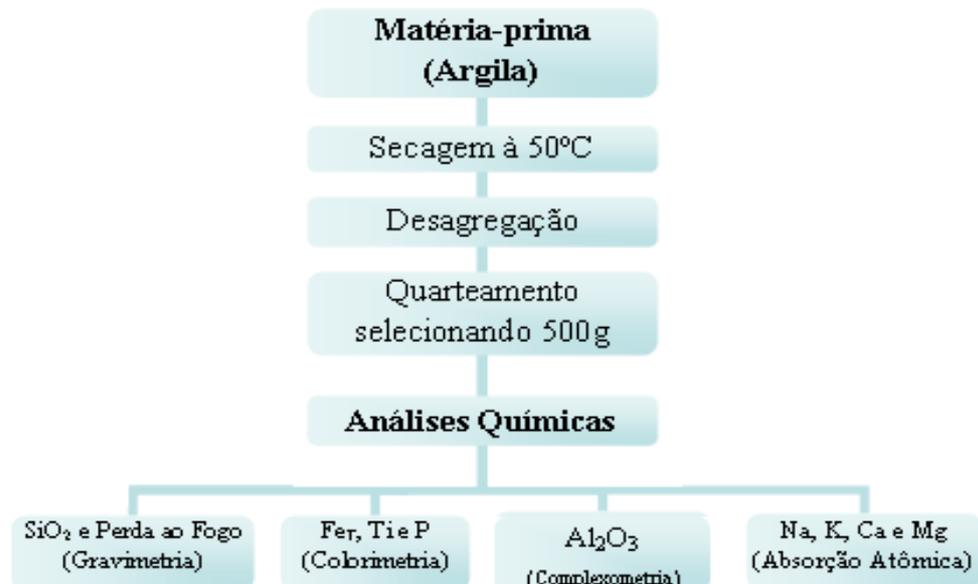


Figura 3.5 – Fluxograma de tratamento de amostras para a análise química.

Para os ensaios tecnológicos foram confeccionados 5 corpos de prova, medindo 6 cm x 2 cm x 0,5 cm e moldados sob pressão de 50 kgf/cm².

Depois de preparados, a etapa seguinte constituiu-se, em secagem a 110°C até peso constante. A queima dos corpos de prova foi realizada em forno de laboratório tipo mufla em temperaturas variando de 950°C a 1050°C com intervalos de 50°C. A rampa de aquecimento utilizada foi de 5°C/min e ao atingirem a temperatura de queima permaneceram por 3 horas. O resfriamento foi obtido desligando-se o forno, o tempo para esse processo foi de 24 horas aproximadamente.

Para o ensaio de limite de liquidez e plasticidade quarteou-se 500g de amostra e secou-se a 80°C, em seguida desagregou-se em almofariz e peneirou-se em malha nº80, de acordo com ABNT. Em seguida, adicionou-se água aleatoriamente, o suficiente para formar uma massa plástica com boa trabalhabilidade.

3.3.2 – Caracterização dos Materiais

Para realização da caracterização dos materiais utilizou a metodologia de acordo (Santos, 1989).

3.3.2.1 – Técnicas Instrumentais de Análises Mineralógicas.

3.3.2.1.1 – Difração de Raios-X (DRX)

Os materiais foram submetidos a análises por difração de raios-X (DRX) pelo método do pó (amostra total) e amostra orientada em lâmina de vidro, para identificar os minerais existentes.

O aparelho utilizado foi o difratômetro de raios-X modelo X PERT PRO MPD (PW 3040/60) da PANAnalytical, com Goniômetro PW3050/60 (Theta/ Theta) e com tubo de raio- X cerâmico de anodo de Cu ($K_{\alpha 1}$ 1,540598 Å), modelo PW3373/00, foco fino longo, 22000W, 60kV. O detector utilizado é do tipo RTMS, X Celerator. As condições de operação do equipamento foram: tensão e corrente do gerador de 40 kV e 40mA, respectivamente.

Estas análises foram realizadas no Laboratório de difração de raios X do Centro de Geociências da UFPa. A aquisição dos dados foi realizada com software X Pert Data Collector, versão 2.1a, e o tratamento dos dados com software X Pert HighScore versão 2.1b, também da PANAnalytical, consultando o arquivo PDF (*Powder Diffraction File*).

3.3.2.1.1 – *Análise Termogravimétrica (TG) e Termodiferencial (DTA)*

A análise térmica diferencial avalia o comportamento endotérmico e exotérmico dos minerais existentes na amostra, enquanto a análise termogravimétrica baseia-se na perda de massa com a variação da temperatura.

O equipamento utilizado foi o modelo PL Thermal Sciences, com analisador térmico simultâneo STA 1000/1500, da Stanton Redcroft Ltda, equipado com um programador de temperatura e uma microbalança eletrônica, que permite a realização simultânea de análise térmica diferencial e análise termogravimétrica.

3.3.2.1.1 – *Espectroscopia de Infravermelho*

A espectroscopia IV refere-se aos movimentos de torção deformação, rotação e vibração das moléculas. Por interação com a radiação infravermelha, uma parte da radiação incidente é absorvida, para determinado comprimento de onda. A multiplicidade de vibrações que ocorrem simultaneamente origina um espectro de absorção complexo, característico dos grupos funcionais compreendidos na molécula.

O equipamento utilizado foi o espectrofotômetro Perkin-Elmer, modelo 1760 X FT-IR, acoplado a um microcomputador, com registros da faixa espectral de 400 a 4000 cm^{-1} , e medições a cada 4 cm^{-1} .

3.3.2.2 – *Análises Químicas*

A análise química foi realizada adotando-se métodos clássicos e instrumentais, o que permitiu a obtenção de resultados bastante exatos. O procedimento consistiu em tratar a argila com ácidos e álcalis.

As determinações químicas foram realizadas através dos seguintes métodos: a) gravimétrico (SiO_2 , perda ao fogo, teor de voláteis e umidade); b) complexométrico (Al_2O_3); c) instrumental por absorção atômica (Na_2O , K_2O , CaO e MgO); d) instrumental por calorimetria (Fe_2O_3 , TiO_2 e P_2O_4).

3.3.2.2.1 – Análise do SiO₂ por gravimetria

Para determinação do SiO₂, efetuou-se a decomposição do material por meio da fusão alcalina com tetraborato de lítio. Após fusão a quantificação do silício foi determinada por gravimetria.

3.3.2.2.2 – Determinação do Alumínio

A quantificação do Al total foi realizada pelo método de titrimétrico de complexação a partir do filtrado da sílica.

3.3.2.2.3 – Análise do Ca, Mg, Na e K por Espectrometria de Absorção Atômica.

Para determinação de Na, K, Ca, Mg foram feitas as aberturas das amostras através de ataque ácido. Para evitar a formação de óxidos refratários e espécies ionizadas, nas determinações de Ca²⁺ e Mg²⁺, utilizou-se agentes de liberação como cloreto de estrôncio. Na determinação de Na e K usou-se o cloreto de cério com a finalidade de eliminar interferentes de ionização na chama, adicionou-se um elemento mais facilmente ionizável.

3.3.2.2.4 – Determinação de Fe₂O₃, P₂O₄ e TiO₂ por colorimetria.

Para determinação do Fe₂O₃, utilizou-se o método da ortofenantrolina formando complexos coloridos estáveis com Fe²⁺. A faixa de leitura para identificação do ferro foi de 510nm.

Utilizou-se para a análise do P₂O₄ os íons ortofosfato e molibdato condensados e em meio ácido obtendo-se o ácido molibdofosfórico (ácido fosfomolibdico) que sofreu redução seletiva para dar um composto colorido, o azul de molibdênio. O complexo azul resultante obteve o máximo de absorção em 820 – 830nm.

Para a identificação do TiO₂ utilizou-se o peróxido de hidrogênio que produz cor amarela com uma solução ácida de titânio (IV). A faixa de absorção para o titânio foi de 410 nm.

3.3.2.2.1 – Determinação do Teor de Voláteis e Umidade

A determinação do teor de voláteis foi realizada em mufla na temperatura de 900°C e a determinação da umidade, na qual quantifica a perda de água e matéria orgânica do material, foi realizada na estufa mediante a faixa de temperatura de 100 – 150°C.

3.3.2.3 – Análise Granulométrica

As amostras coletadas em campo possuíam granulometria fina, por este motivo adotou-se o seguinte método para o tratamento granulométrico:

Foram secas em estufa a 50 °C, após secagem pesou-se 100 g de cada amostra. Em seguida misturou-se com água em becker de 100 mL e levou-se para a desagregação em aparelho de ultrassom por 4 a 5 minutos. Após a desagregação, o material foi peneirado por via úmida, em peneira de 0,062 mm, para separação da fração areia fina da silte/argila. O material que ficou retido (areia fina) foi pesado. A fração (silte/argila) que passou pela peneira foi colocada em tubos de polietileno e equilibrada em balança com água destilada, em seguida foram levadas para centrifuga, na qual foram colocadas em lados opostos. Para separação da fração silte da argila, utilizou-se 1000 rotações durante 2 minutos. Após a centrifugação o material em suspensão foi descartado e o precipitado obtido é a fração silte que foi seca e depois pesada. Como a quantidade inicial de amostras foi de 100 g sabendo-se o peso da areia fina e silte calculou-se o valor de argila, através da subtração dos valores das frações de areia e silte do peso inicial de amostra.

3.3.4 – Ensaio Tecnológicos

Para avaliação das propriedades tecnológicas como: cor, retração linear, absorção de água, porosidade aparente, densidade aparente e tensão de ruptura a flexão utilizou-se Santos (1989) como referência para os ensaios.

3.3.4.1 – Cor

Para a classificação de uma argila, a cor fornece indícios interessantes para o seu uso. Por isso verificou-se a sua cor antes e após a queima.

3.3.4.2 – Retração Linear

É a relação entre o comprimento inicial antes da secagem e o comprimento final após a secagem, dividido pelo comprimento inicial. Esta propriedade foi medida de acordo com as temperaturas abaixo:

- Após secagem a 110 °C.

$$R_s (\%) = \frac{L_s - Lq}{L_s} \times 100 \text{ (equação 1)}$$

- Após queimas a 950 °C, 1050 °C.

$$R (\%) = \frac{L_i - Lq}{L_i} \times 100 \text{ (equação 2)}$$

Os corpos de prova foram imersos em água fervente dentro de um recipiente acoplado a balança, medindo-se suas respectivas massas; Após imersão, os corpos foram levemente enxutos e novamente medidas as suas massas úmidas e imersas, com esses dados obteve-se a porosidade aparente, massa específica aparente e percentual de umidade.

3.3.4.3 – Absorção de água (AA)

Relaciona-se o valor do peso úmido menos o seco dividido pelo peso seco.

$$AA = \frac{P_U - P_S}{P_S} \times 100 \text{ (equação 3)}$$

3.3.4.4 – Porosidade Aparente – (PA %)

É a porcentagem das relações entre o peso úmido dos materiais e o seco, dividido pela relação do peso úmido e o imerso dos corpos de provas.

$$PA = \frac{P_U - P_S}{P_S - P_I} \times 100 \text{ (equação 4)}$$

3.3.4.5 – Massa Específica aparente (MEA)

É a relação entre o valor da porosidade aparente, dividido pelo da absorção de água.

$$MEA = \frac{PA}{AA} \text{ (equação 5)}$$

O ensaio de TRF foi realizado nos mesmos corpos de provas que passaram pelos testes anteriores, em seguida eles foram postos em estufa a 50°C, para secagem, e depois submetidas a condição de ensaio.

3.3.4.6 – Tensão de Ruptura à Flexão (TRF)

Os corpos de prova foram submetidos aos ensaios de tensão à flexão, na condição de bi-apoiado, com aplicação de uma carga concentrada no ponto médio do vão livre Figura 3.6.

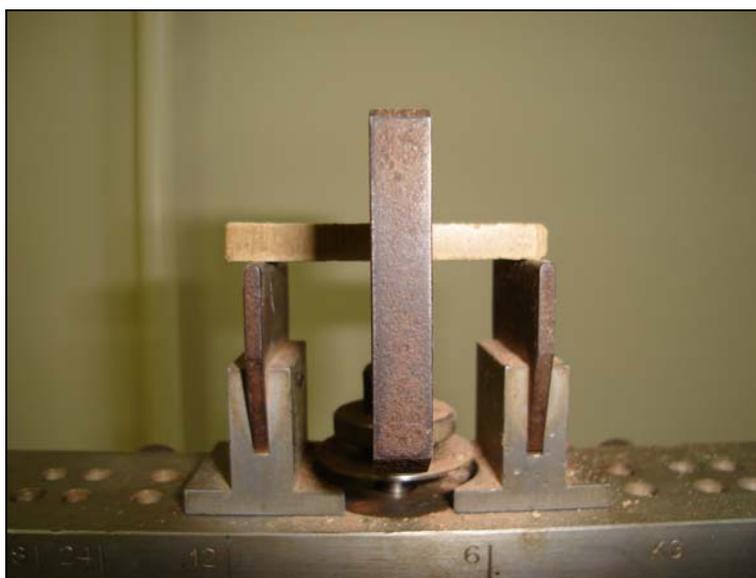


Figura 3.6 – Corpo de Prova submetido ao teste de tensão a flexão em três pontos.

Através da equação abaixo se faz o cálculo da tensão de ruptura à flexão:

$$\sigma \text{ (kgf / cm}^2\text{)} = \frac{3PL}{2bh^2} \text{ (equação 6)}$$

Onde:

Pu = Peso úmido

Ps = Peso seco

Pi = Peso após calcinação

σ = Módulo ou tensão de ruptura à flexão.

P2 = Esforço aplicado ao corpo-de-prova

L = 55 mm, comprimento do corpo-de-prova.

Li = Comprimento inicial (a verde) (cm).

Ls = Comprimento seco(cm).

Lq = Comprimento queimado a 950°C, 1050°C (cm).

b = 50 mm, base do corpo-de-prova.

h = 10 mm, altura do corpo-de-prova.

3.3.4.7 – Limite de Liquidez (LL), Plasticidade (LP) e Índice de Plasticidade (IP)

Os Parâmetros de Atterberg foram determinados de acordo com as normas NBR 7180-84(Limite de Plasticidade) e NBR 6459-84 (Limite de Liquidez), conforme formula a seguir:

$$\text{Limite de Plasticidade} = \frac{\text{massa úmida} - \text{massa seca}}{\text{massa seca}} \times 100 \text{ (equação 7)}$$

A determinação do limite de liquidez foi baseada na norma NBR 6459, na qual se obteve a percentagem de umidade conforme cálculo abaixo:

$$\text{Limite de Liquidez} = \frac{\text{massa úmida} - \text{massa seca}}{\text{massa seca}} \times 100 \text{ (equação 8)}$$

O índice de plasticidade foi definido como o intervalo de umidade para o qual o material apresenta plasticidade. Foi calculado por:

$$\text{Índice de plasticidade} = \% \text{ de umidade a 25 golpes} - \text{água de esferamento}$$

(equação 10)

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 – CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA

A caracterização mineralógica dos materiais em estudo foi determinada através da análise de difração de raios-X, análises térmicas (ATD/TG) e espectroscopia na região do infravermelho (espectros FTIR).

As amostras foram divididas por nível, conforme suas profundidades de coleta, do seguinte modo:

- Nível 1 estão presentes as amostras Calandrini 01, Amapá Telhas 01, Fortaleza 01, Corte de Estrada 01 e União 01;
- Nível 2 relaciona os materiais Calandrini 02, Amapá Telhas 02, Fortaleza 02, Corte de Estrada 02 e União 02;
- Nível 3 detém as argilas Calandrini 03 e União 03.

4.1.1 – Análise de Difração de Raios –X

Os minerais encontrados em maior quantidade na análise de difração de raios-X, para o nível 1, foram: quartzo (Qz), caracterizado através dos picos 4,25 Å e 3,34 Å (20,89 e 26,66° 2 θ , respectivamente) e a caulinita (K) com picos típicos em 7,15 Å na posição 2 θ =12,37°. Notou-se ainda a presença dos minerais illita (I) a 9,99 Å (8,88° 2 θ), esmectita (E) a 14 Å, goethita (G) 4,18 Å (33° 2 θ) e hematita (H) a 2,70 Å (33,11° 2 θ), porém em menores quantidades que os citados anteriormente, o ultimo mineral, portanto, apresentou uma quantidade significativa na amostra CE-01. O mineral anatásio a 2,52 Å (25,28 2 θ), por sua vez, foi encontrado em pequenas proporções no material U-01. A Figura 4.1 é relacionada aos difratogramas de raios-X obtidos para as respectivas amostras.

Em todas as amostras, exceto na CE-01, a caulinita, provavelmente, parece ser um mineral do tipo “mal cristalizado”, visto que, a cristalinidade da caulinita pode ser representada pelos planos h,k,l iguais a 020 em d=4,47 Å e 002 em d=3,57 Å, refletidos no triplete característico do mineral em questão, onde ocorre um quase desaparecimento destes picos característicos, formando-se no lugar dos mesmos, uma larga banda (COURA *et al.*; DUARTE e KOTSCHOUBEY, 1986, 1994 *apud* FLORES, 2000).

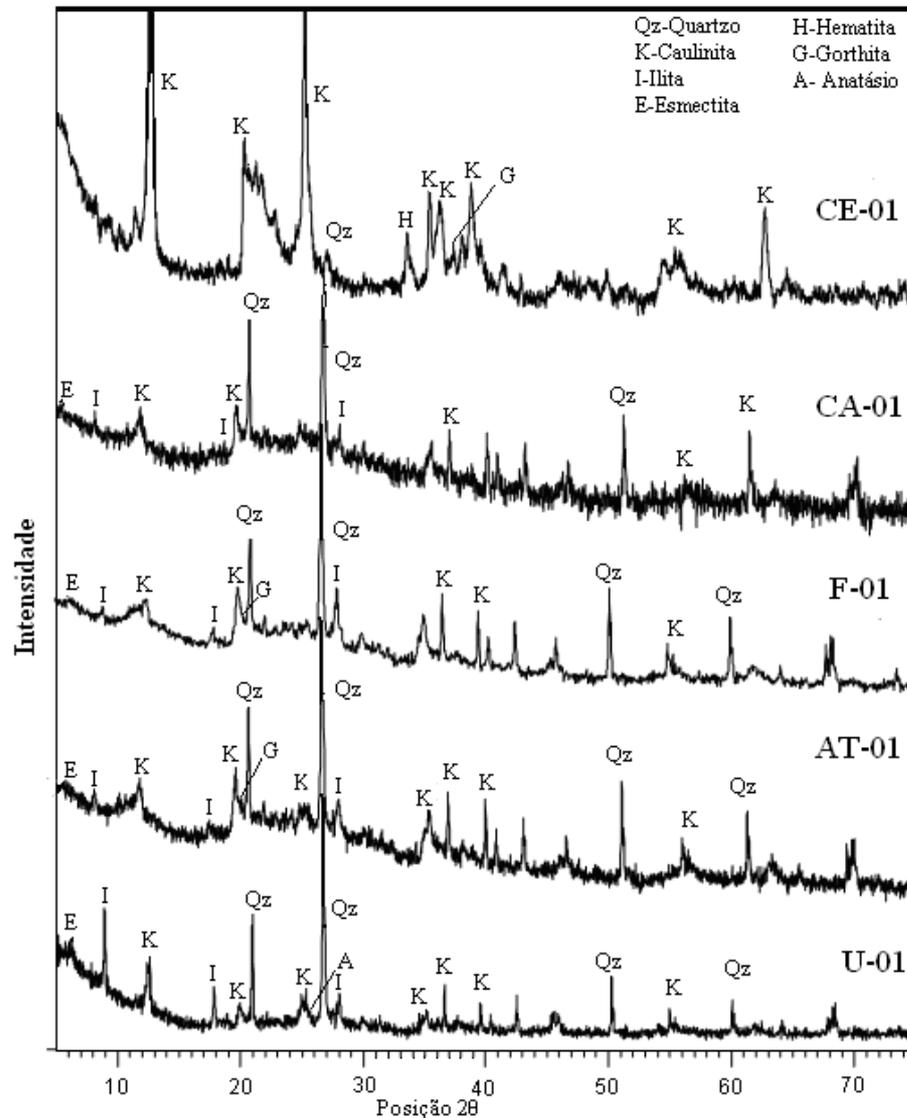


Figura 4.1 – Difratogramas das amostras presentes no nível 1: União 01(U-01), Fortaleza 01 (F-01), Corte de Estrada 01 (CE-01), Calandrine 01 (CA-01), Amapá Telhas 01 (AT-01).

Na Figura 4.2 estão relacionados os argilominerais analisados através da preparação de lâminas orientadas (OR), tratadas com etilenoglicol (GL) e aquecidas a 550°C (AQ), ordenadas de baixo para cima.

Observamos nos difratogramas de lâminas orientadas, que os picos 7,17Å e 3,57Å, característicos da caulinita (K), são os mais perceptíveis, além dos identificados como sendo os minerais ilita (I) e esmectita (E), individualizados pelos picos respectivos 9,92 Å e 14,34 Å. Em seguida as amostras foram glicoladas (GL), os picos da caulinita e ilita não sofreram alterações, já o da esmectita apresentou um deslocamento de 15 Å para 17Å. A 550°C o pico da caulinita

desaparece, a illita apresenta uma intensificação da reflexão 001 e a esmectita sofreu contração para 10 Å, sobrepondo-se ao da illita, segundo eventos descritos por Moore e Reynolds (1997).

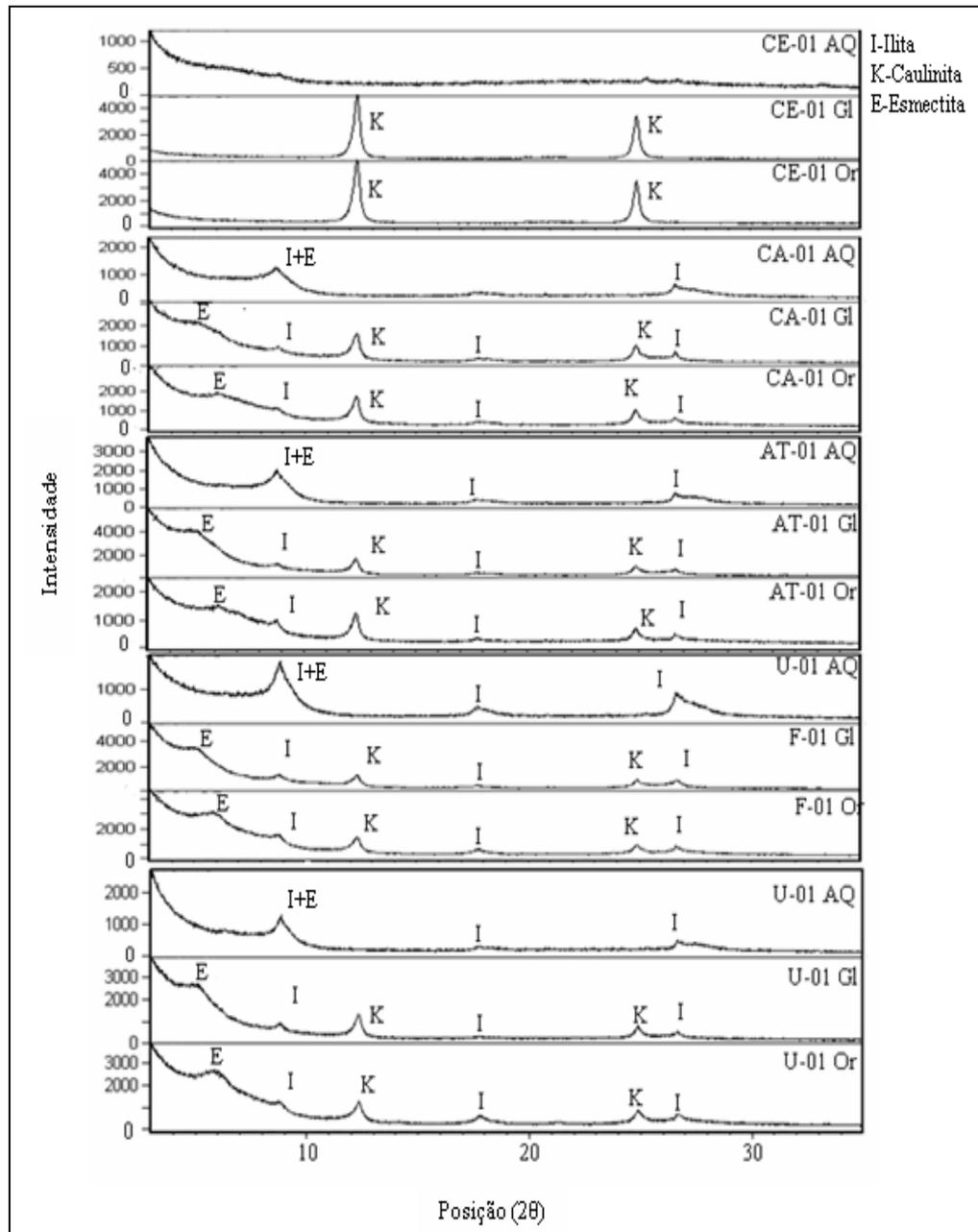


Figura 4.2 – Difratomogramas de lâminas orientadas (OR), tratadas com etilenoglicol (GL) e aquecidas a 500°C (AQ) das amostras: Amapá Telhas 01 (AT-01), União 01 (U-01), Corte de Estrada 01 (CE-01) e Fortaleza 01 (F-01) e Calandrini 01 (CA-01).

Os difratogramas evidenciaram que as amostras U-01, CA-01, AT-01 e F-01 apresentaram na composição quartzo, caulinita, ilita, esmectita e goethita, por ordem de maior para menor abundância, respectivamente. Enquanto, na amostra CE-01 a mineralogia predominantemente foi de caulinita, quartzo e hematita.

Os resultados para o nível 2 estão ilustrados na Figura 4.3. A difração de raios-X confirmou a presença de quartzo (3,34 Å), caulinita (7,17Å), ilita (9,99 Å), esmectita (14,5 Å) e hematita (2,70 Å) em ordem decrescente de quantidade.

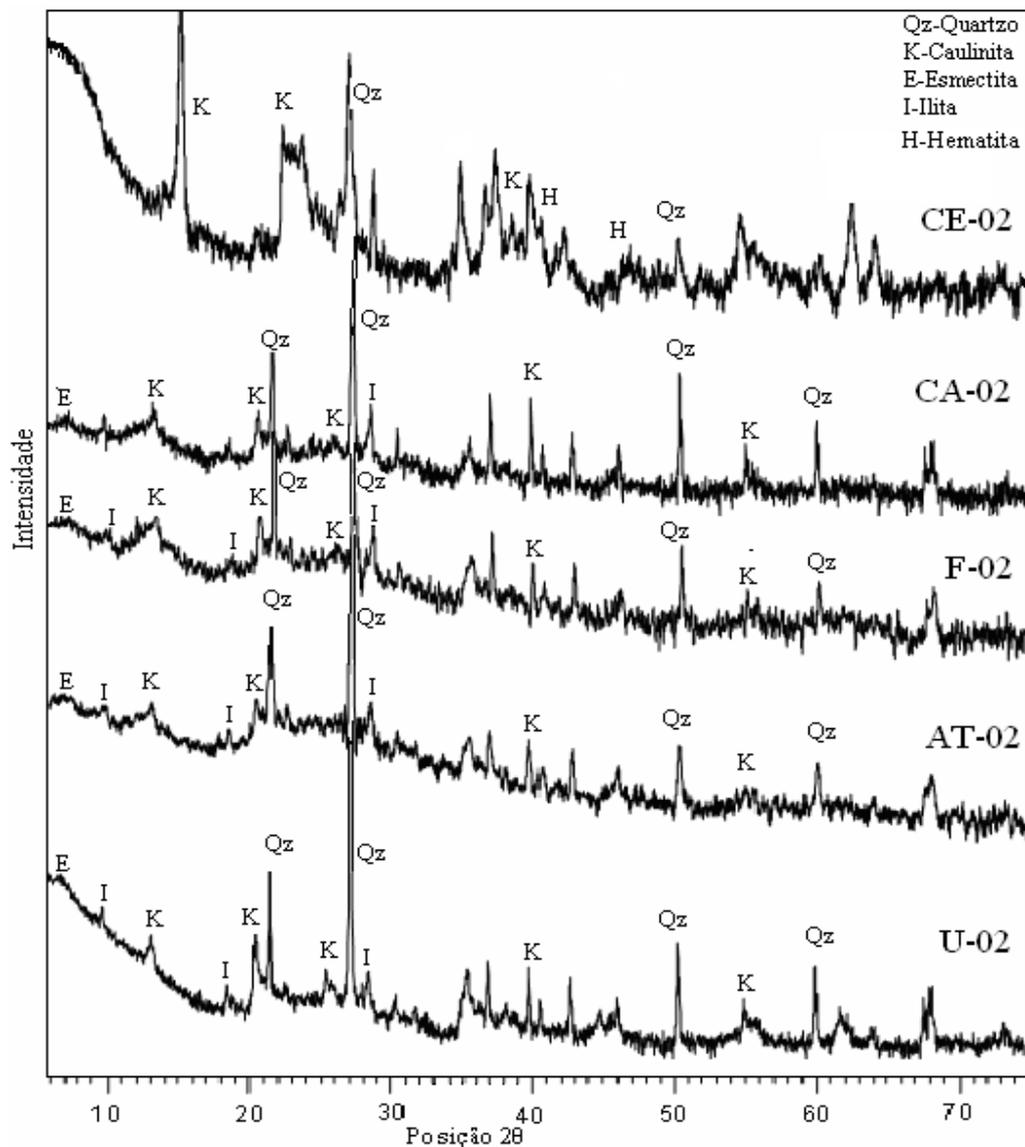


Figura 4.3 – Difratogramas das amostras União 02 (U-02), Calandrini 02 (CA-02), Corte de Estrada 02 (CE-02), Fortaleza 02 (F-02) e Amapá Telhas 02 (AT-02).

A Figura 4.4 apresenta difratogramas das amostras do nível 2 OR, GL e AQ. Neles a caulinita (K) foi o argilomineral encontrado em maior quantidade nas amostras: U-02, AT-02, CA-02, F-02 e CE-02, com pico característico em $7,17\text{\AA}$. Nestas amostras, também foram encontrados os minerais illita (I), esmectita (E) individualizados pelos picos respectivos em $9,92\text{\AA}$ e $14,34\text{\AA}$.

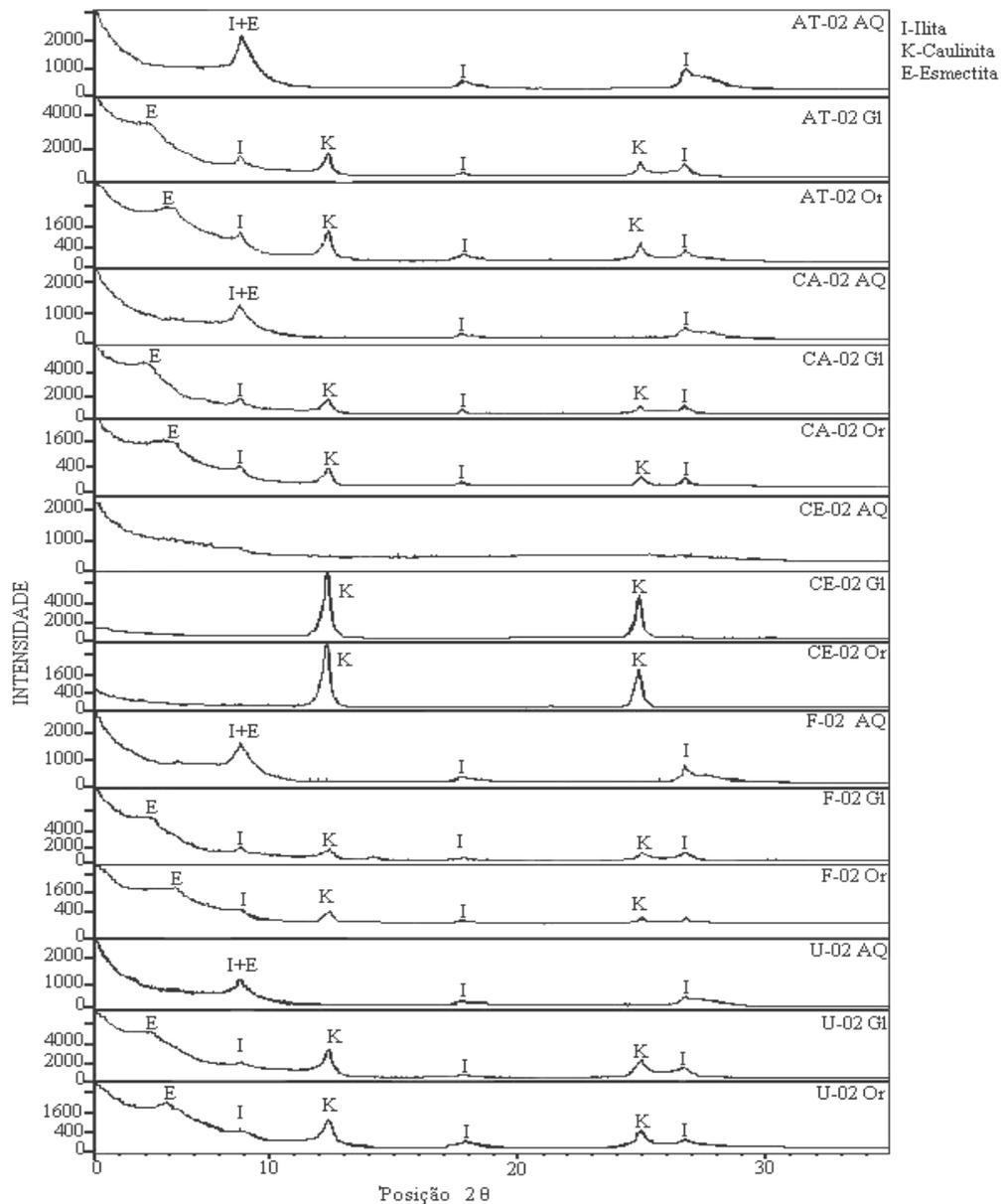


Figura 4.4 – Difratogramas de lâminas orientadas (Or), tratadas com etilenoglicol (Gl) e aquecidas a 500°C (AQ): Amapá Telhas 02 (AT-02), Calandrini 02 (CA-02), Corte de Estrada 02 (CE-02), Fortaleza 02 (APF-02) e União 02 (U-02).

O pico da caulinita não muda quando a lâmina é glicolada, pois o mesmo não sofre expansão, entretanto, desaparece quando é aquecida a 550°C, devido à formação da metacaulinita, produto amorfo da desidroxilação do mineral (SANTOS, 1989). A illita não modifica em nada seus picos quando submetida a essas condições, de acordo com os difratogramas este mineral apresenta-se em menor quantidade nas amostra e ausente na Corte de Estrada 02 (CE-02). Enquanto, o pico da esmectita sofreu um deslocamento ao ser tratada com etilenoglicol passando a apresentar distância basal 17Å, aproximadamente, quando a lâmina foi aquecida o pico contraiu-se para 10 Å, sobrepondo-se ao da illita (Figura 4.4).

Para as amostras do nível 3 (Figura 4.5), a composição mineralógica constituiu-se na maioria de quartzo (Qz) identificado através dos picos intensos a 4,25 Å e 3,34 Å (20,89 e 26,66° 2θ) e caulinita (K), apresentando picos a 7,15 Å e 4,47 Å (12,37° e 19,88 2θ, respectivamente). Notou-se ainda a presença de illita (I) a 9,99 Å (8,88° 2θ), esmectita (E), goethita 4,98 Å (17,91° 2θ) (G), hematita (H) 2,69 Å (33,28° 2θ).

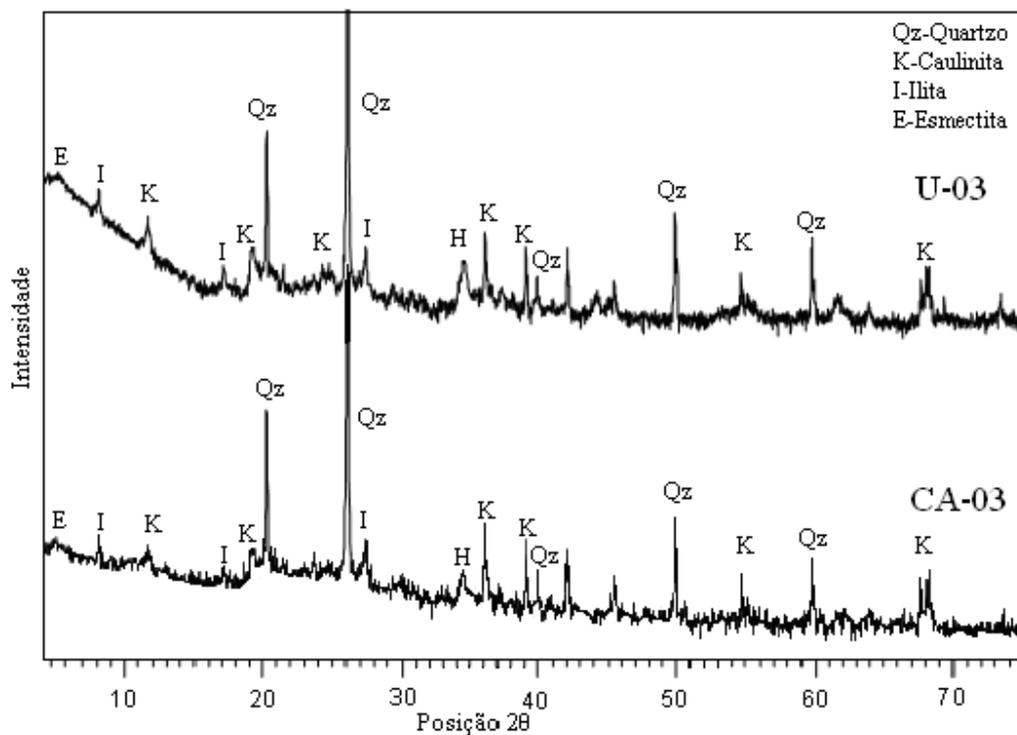


Figura 4.5 – Difratogramas das amostras União 03(U-03), Calandrini 03(CA-03).

Nas amostras em lâminas orientadas, tratadas com etilenoglicol e aquecidas a 500°C (Figura 4.6), constatou-se a presença dos argilominerais caulinita (K), illita (I) e esmectita (E), em concordância com as análises anteriores.

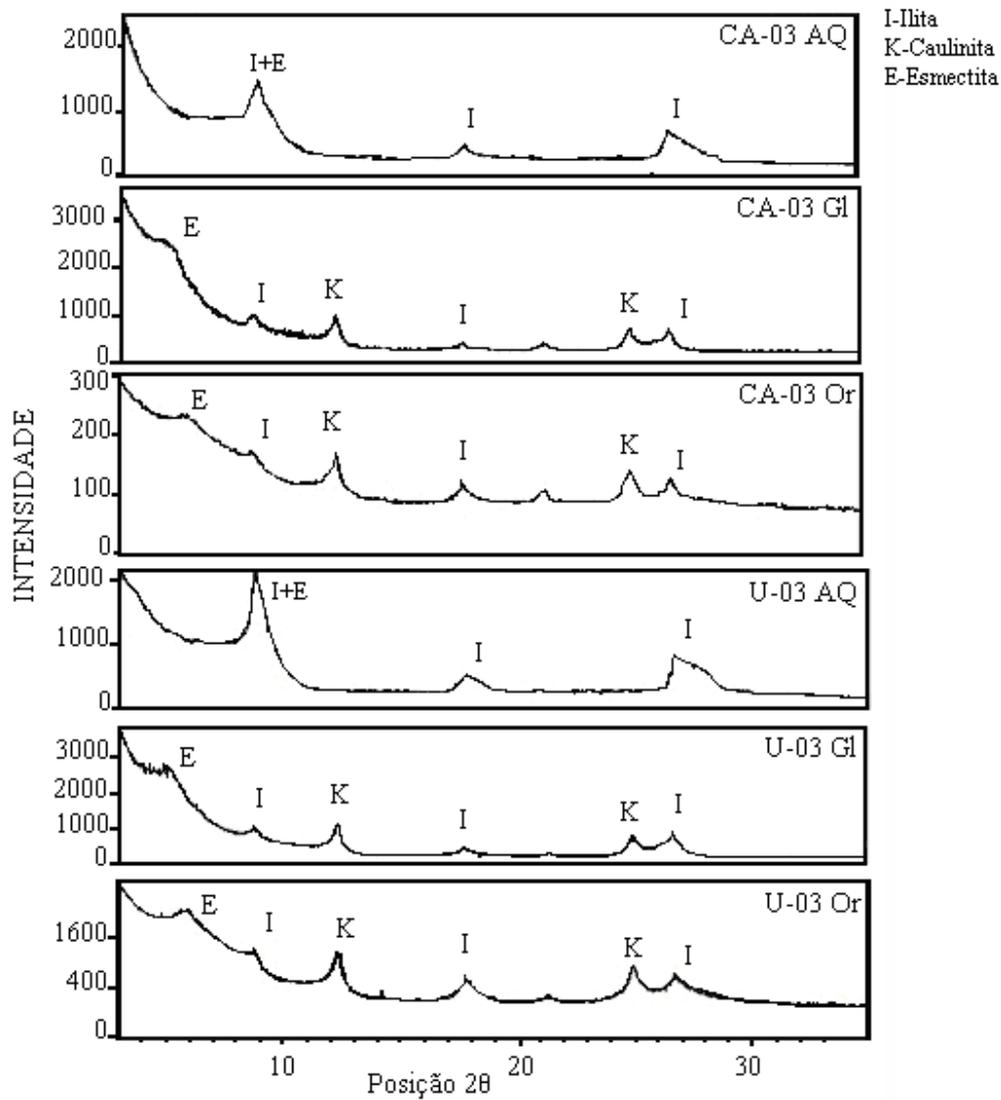


Figura 4.6 – Difratomogramas de lâminas orientadas, tratadas com etilenoglicol e aquecidas a 500 °C das amostras: União 03 (U-03), Calandrini 03 (CA-03).

As análises de DRX para todos os níveis e amostras, comprovam que os minerais caulinita e quartzo são abundantes nas argilas estudadas.

4.1.2 – Análise Térmica

Os termogramas da análise térmica diferencial (DTA), também foram separados em 3 níveis, exceto para as amostras CE-01 e CE-02, devido ambas não poderem ser correlacionadas com as demais por apresentarem diferenças em suas características. A Figura 4.7 demonstra o resultado de todas as amostras pertencentes ao nível 1 (F-01; U-01; CA-01; e AT-01).

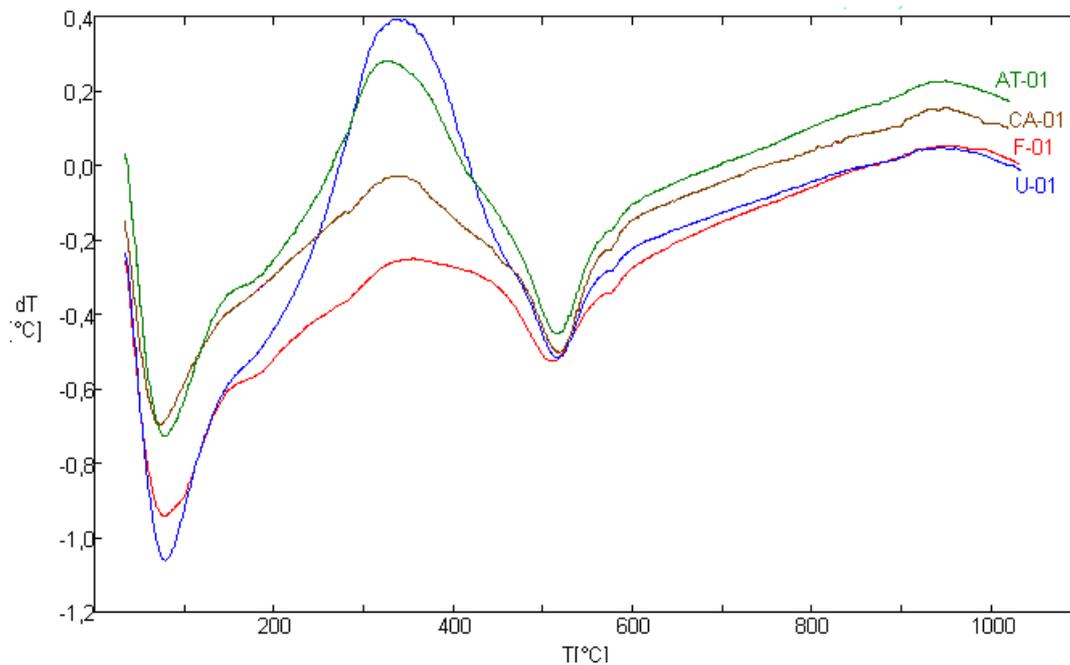


Figura 4.7 – Termogramas de Análise Térmica Diferencial (DTA) das amostras: Amapá Telhas 01 (AT-01), Calandrini 01 (CA-01), Fortaleza 01 (F-01), União 01 (U-01).

As curvas de TG das amostras do nível 1 mostram que: em temperaturas inferiores a 200°C há eliminação da água livre. Essa água se encontra adsorvida sobre a superfície das partículas finas dos argilominerais. Na faixa de temperatura, entre 90°C a 100°C, aparece o primeiro pico endotérmico associado a perda de água. Entre as temperaturas de 200 °C e 500 °C ocorreu, possivelmente, a queima da matéria orgânica, com pequena perda de massa. Entre as temperaturas de 500°C e 550°C ocorreram reações endotérmicas e perda de massa devido a desidroxilação (eliminação dos íons OH⁻ da estrutura cristalina) da caulinita. Essa reação produz um pico endotérmico na curva da DTA na proximidade de 530 °C. O pico exotérmico que aparece no intervalo de 900°C a 950°C, deve-se ao aparecimento de mullita. Este resultado está de acordo com os encontrados por Dutra e Pontes (2002).

O nível 2 (AT-02, CA-02, F-02 e U-02) está representado na Figura 4.8, pode-se notar que as curvas análise térmica diferencial (DTA) tiveram o mesmo comportamento das amostras do nível 1. Observa-se um pico endotérmico a 100°C, associado à perda de água que existe superficialmente nas argilas. Entre 300°C e 400°C, novamente observam-se aspectos nos termogramas característicos da combustão de matéria orgânica (SANTOS, 1989), evidenciada principalmente na amostra U-02. Outro ponto comum observado foi a desidroxilação ocorrida de 500°C a 600°C. Também ocorre formação de mullita caracterizado pelo pico exotérmico a 980°C.

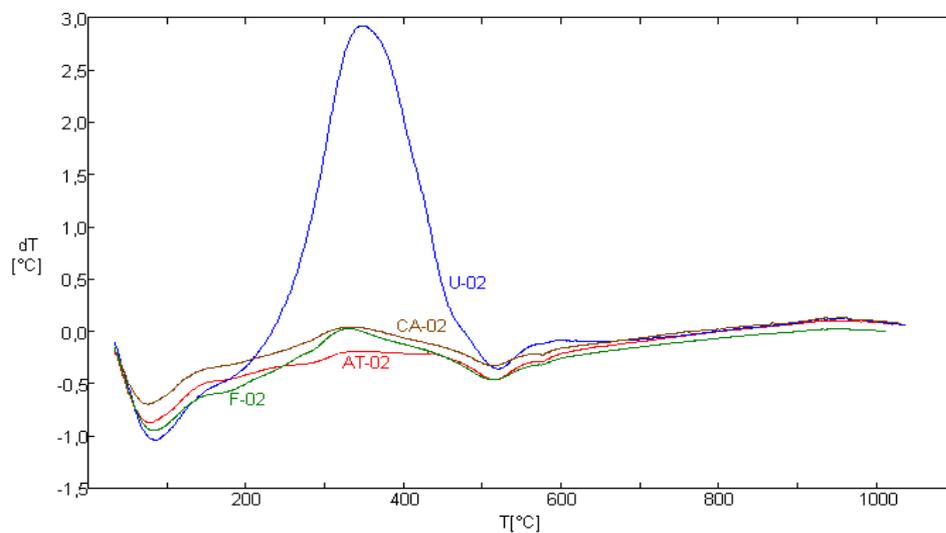


Figura 4.8 – Termogramas de Análise Térmica Diferencial (DTA) das amostras: Amapá Telhas 02 (AT-02), Calandrini 02 (CA-02), Fortaleza 02 (F-02), União 02 (U-02).

As amostras do nível 3 (CA-03 e U-03) não mudaram seu comportamento em relação as anteriores. Foi constatado novamente o aparecimento de um pico a 100°C, associado à perda de água. Entre 300°C e 400°C ocorreu combustão da matéria orgânica. Outro ponto comum observado foi a desidroxilação ocorrida entre 500°C até 600°C. Também ocorre formação de mullita a 980°C caracterizado pelo pico exotérmico (Figura 4.9).

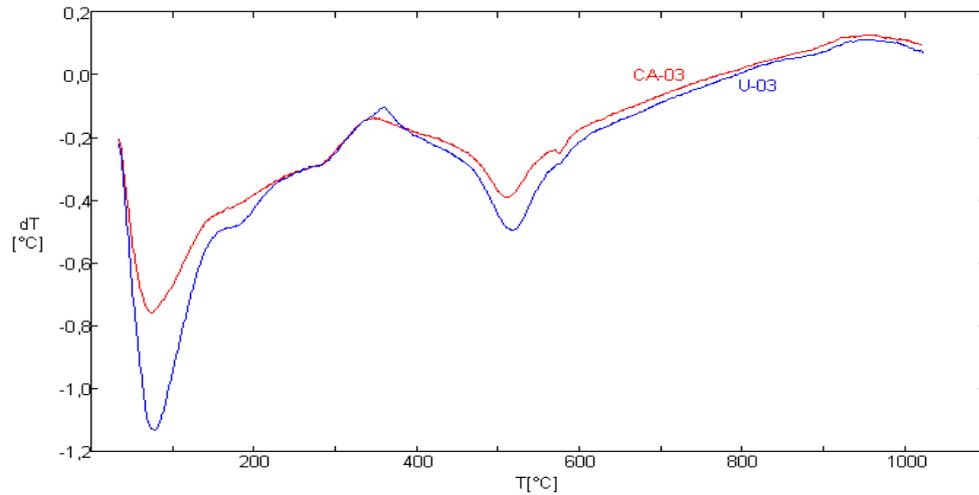


Figura 4.9 – Termogramas das Análises Térmicas Diferenciais (DTA) das amostras Calandrini 03 (CA-03) e União 03 (U-03).

A Figura 4.10 apresenta os termogramas das Análises Térmicas Diferenciais (DTA) das amostras CE-01 e CE-02. Observou-se um pico endotérmico em 50°C, devido à liberação de água "líquida". Na temperatura de 334°C há formação de um pico endotérmico, provavelmente relacionado à transformação da goethita em hematita (MACKENZIE, 1970), nota-se ainda a presença de um pico endotérmico em 535°C, relacionado à desidroxilação da caulinita que é transformada em metacaulinita por ação da temperatura. E por último, um pico exotérmico em 981°C, pertinente à nucleação da mulita.

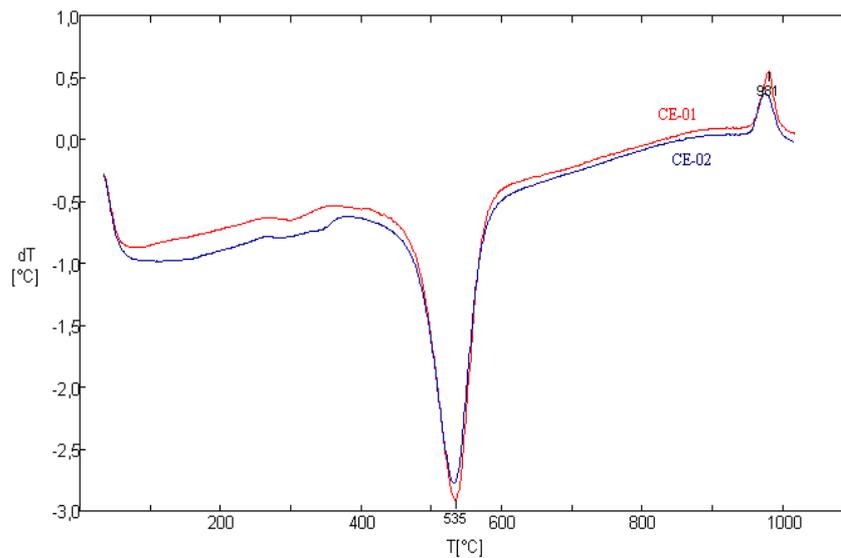


Figura 4.10 – Termogramas das Análises Térmicas Diferenciais (DTA) das amostras Corte de Estrada - 01 (CE-01) e Corte de Estrada-02 (U-03).

4.3.3 – Espectroscopia do Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

Através dos espectros de absorção de infravermelho (Figura 4.11) para as amostras Calandrini 01, Calandrini 02, Amapá Telhas 01, Amapá Telhas 02, Fortaleza 01, Fortaleza 02, Corte de Estrada 01 e 02, há confirmação da presença dos principais minerais (caulinita, quartzo, esmectita) já identificados por difração de raios-X e análises térmicas (DTA/TG).

As bandas de estiramento e deformação dos minerais foram caracterizadas de acordo com Madejová (2003), onde se observam bandas localizadas em 3699, 3648 e 3620 cm^{-1} presentes em todas as amostras, correspondentes aos grupos de OH, ou seja, a presença de água nas argilas, bem como a 916 cm^{-1} cuja relação é devido a deformação da hidroxila. As bandas presentes em 1001, 1034 e 1007 cm^{-1} referem-se a deformação de SiO_2 , enquanto as situadas em 539, 469 e 431 cm^{-1} relacionam-se com a estiramento SiO_2 . Essas vibrações identificadas referem-se à caulinita, observada nos espectros FTIR das amostras AT (01 e 02), CA (01 e 02), U (01 e 02), F (01 e 02) e ausente na CE (01 e 02).

A ocorrência de esmectita está representada pelas bandas situadas entre 533-569 cm^{-1} e 3439-3625 cm^{-1} . A banda correspondente a H_2O livre é observada em duas regiões, entre 3431 cm^{-1} e confirmada em 1633 e 1680 cm^{-1} . E finalmente, a banda corresponde ao quartzo situa-se entre 778 e 798 cm^{-1} . A matéria orgânica é caracterizada pela banda presente a 2929 cm^{-1} e 2871 cm^{-1} .

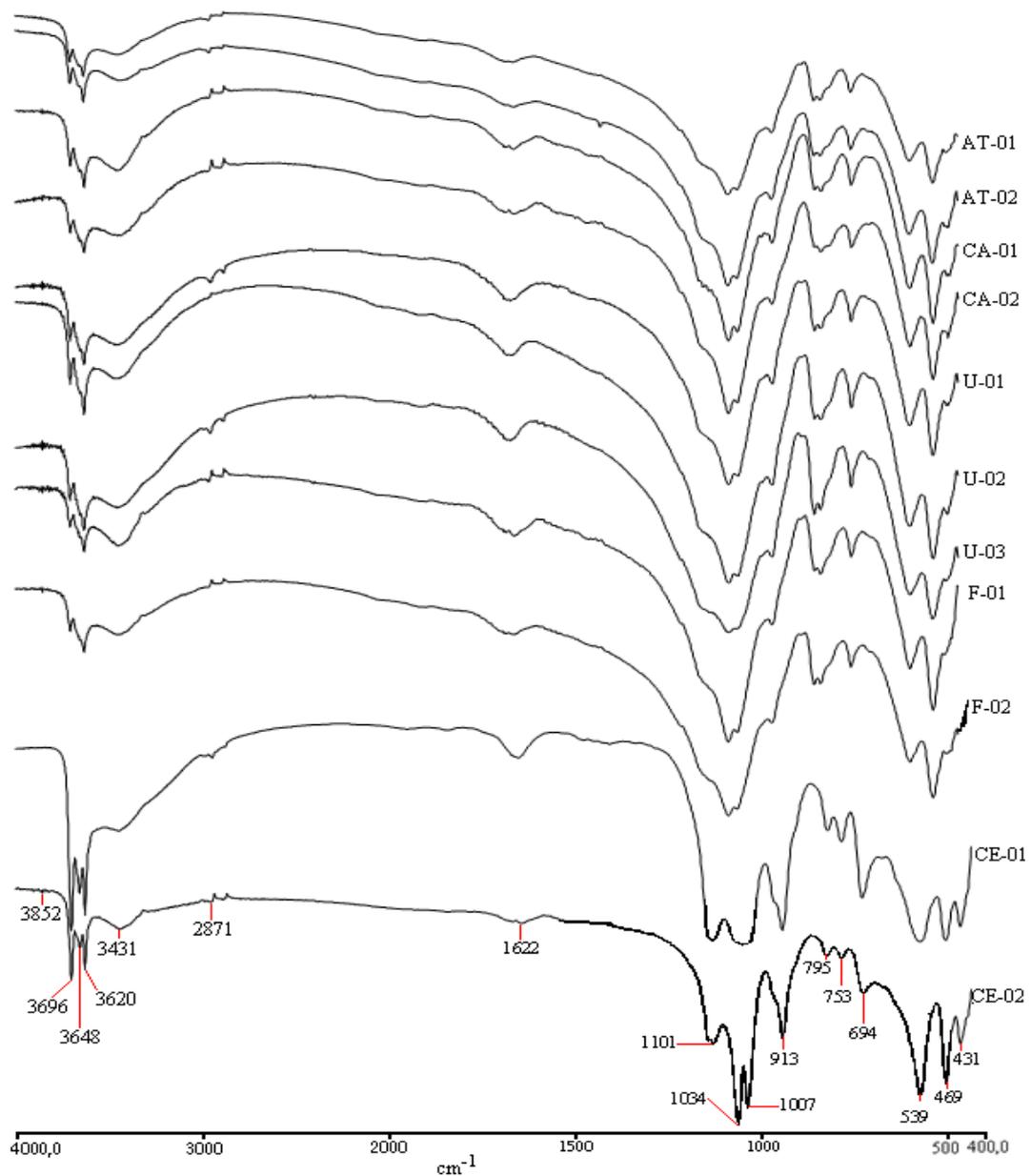


Figura 4.11 – Espectros de Infravermelho Amapá Telhas 01 (AT-01), Amapá Telhas 02 (AT-02), Calandrini 01 (CA-01), Calandrini 02 (CA-02), União 01 (U-03), União 02 (U-02), União 03 (U-03) Fortaleza 01 (F-01), Fortaleza 02 (F-02), Corte de Estrada 01 (CE-01) e Corte de Estrada 02 (CE-02).

4.2 – ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS

A granulometria é uma das características mais importantes dos minerais argilosos e que conduz muitas de suas propriedades. As distribuições granulométricas das amostras estudadas apresentaram os seguintes resultados: O perfil Corte de Estrada a fração silte varia de 16,70%

(CE-01) a 23,97% (CE-02); a fração areia teve proporções entre 47,84% (CE-02) a 23,5% (CE-01); e os intervalos de 35,46% (CE-02) a 52,53% (CE-01).

Em relação aos sedimentos das cerâmicas Calandrini, Amapá Telhas, Fortaleza e União, foram constatados que a fração silte predominou sobre as demais com variações de 83,39% (F-02) a 54,03% (CA-01); verificaram-se porcentagens entre 13,18% (CA-02) e 39,95% (CA-01) para as argilas; e as areias apresentaram intervalos entre 0,64% (F-01) e 11,75% (CA-03).

Com os dados das análises granulométricas foi possível classificar os materiais de interesse conforme o Triângulo de SHEPARD (apud SUGUIO, 1973) (Figura 4.12).

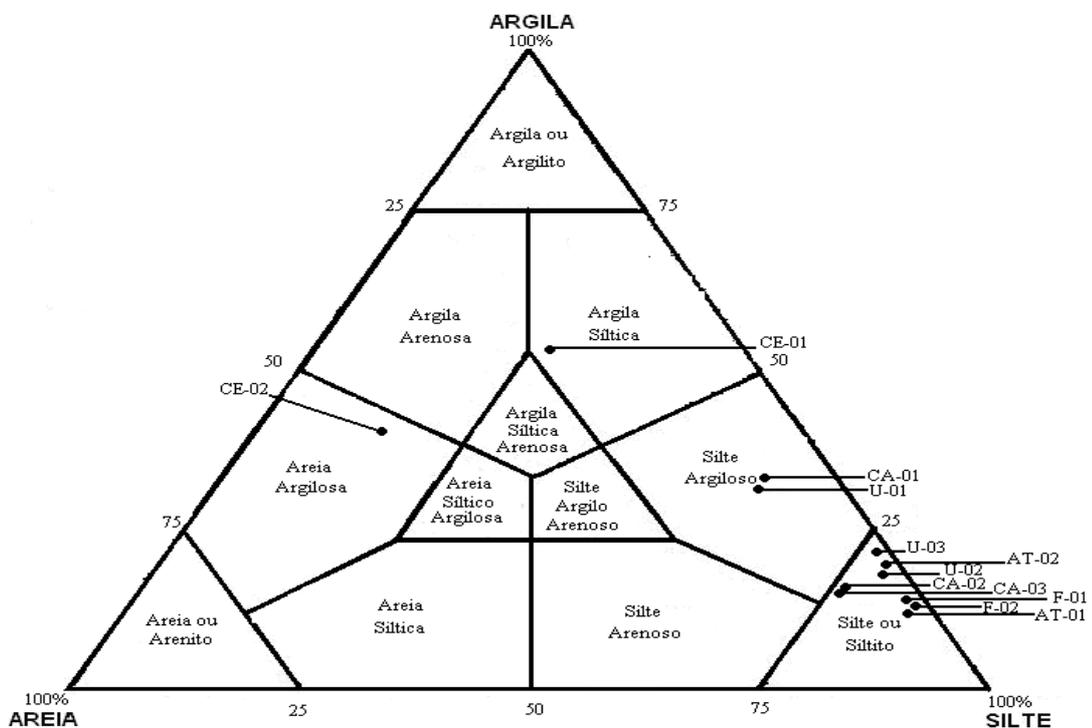


Figura 4.12 – Classificação litológica através da análise granulométrica de acordo com Shepard (apud Suguio, 1973).

De acordo com o Triângulo de Shepard (apud SUGUIO, 1973) (Figura 4.15), as amostras AT-01, AT-02, F-01, F-02, CA-03, CA-02, U-02 e U-03 são compostas em sua maioria de silte ou siltitos. Os materiais U-01 e CA-01 foram denominados de silte-argiloso. Enquanto, CE-01 e CE-02 foram classificadas texturalmente em argilo-siltosa e areno-argilosa, respectivamente.

A análise granulométrica dos cinco perfis estudados mostra que quatro deles (Calandrini, Fortaleza, Amapá Telhas e União) possuem material siltico-argiloso concentrado na base e no

topo há predomínio de silte, em contrapartida, no perfil Corte de Estrada as partículas predominantes são compostas de areia argilosa no topo e argila sílica na base.

4.3 – ANÁLISES QUÍMICAS

Os resultados da análise química dos elementos representativos nas amostras estudadas estão descritos na Tabela 4.1. Os valores da composição química estão condizentes com os resultados obtidos nas análises por difração de raios-X.

Tabela 4.1 – Resultados da análise química dos elementos representativos das amostras.

Amostras	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	TiO ₂	P ₂ O ₅	Perda ao Fogo	Total
CA-03	59,92	27,10	7,05	1,94	1,64	0,35	1,17	1,07	0,08	8,51	100,32
CA-02	62,60	23,05	4,69	2,10	1,73	0,48	1,30	1,28	0,03	3,16	100,42
CA-01	58,51	25,01	3,57	1,78	1,22	0,34	0,85	0,7	0,02	7,39	99,40
U-03	51,37	24,14	7,31	2,10	1,56	0,25	1,14	1,09	0,06	10,45	99,47
U-02	56,92	23,17	5,18	1,86	1,32	0,23	0,98	1,01	0,04	12,91	97,71
U-01	53,98	23,93	4,94	1,94	1,56	0,30	1,24	0,95	0,07	10,96	99,87
F-02	59,73	18,78	5,21	2,22	1,64	0,28	1,20	0,31	0,06	10,20	99,63
F-01	60,35	20,37	3,29	2,34	1,82	0,19	1,15	0,86	0,04	8,70	99,11
AT-02	63,31	26,02	6,05	1,86	1,51	0,07	1,09	0,70	0,06	8,40	100,67
AT-01	53,34	25,94	3,77	2,06	1,60	0,26	1,32	0,86	0,05	11,26	100,44
CE-02	29,94	32,11	23,21	0,12	0,16	0,04	0,05	1,52	0,05	12,88	100,07
CE-01	46,36	35,31	8,70	0,17	0,30	0,06	0,03	0,78	0,05	14,13	102,87

CA – Calandrini; F – Fortaleza; U – União; AT – Amapá Telhas; CE – Corte de Estrada.

As porcentagens de SiO₂ variam de 29,94% (CE-01) a 63,31% (AT-02), e estão associadas, principalmente, ao quartzo e argilominerais. Os resultados para Al₂O₃ foram entre 25,01% (CA-01) e 35,31% (CE-01), estes valores estão relacionados à caulinita.

Os percentuais de 3,29% (F-01) a 23,21% (CE-01) são referentes ao teor de Fe₂O₃ e demonstram que a maior proporção do óxido de ferro aparece nas amostras do perfil Corte de Estrada, valores são associados ao aparecimento dos minerais goethita 2[FeOOH] e hematita Fe₂O₃.

Os valores de TiO₂ foram inferiores a 1%, na maioria das amostras, a presença do mineral anatásio pode justificar as quantidades encontradas.

O teor de CaO na maioria das amostras foi < 1%, enquanto o MgO obteve valores abaixo de 1,15 %. Esses óxidos podem estar associados à presença de esmectita.

Os valores de K₂O em maiores proporções que Na₂O estão ligadas aos feldspatos, esses elementos são importantes no processo de vitrificação por serem fundentes.

A perda ao fogo esta ligada a água e voláteis presente nos minerais, os resultados mostraram que uma maior porcentagem foi encontrada nas amostras CE-01 e CE-02.

Os resultados demonstram que as argilas são compostas basicamente de SiO₂ e Al₂O₃, comparando-se os valores encontrados para com os obtidos por Santos (1989), constatou-se que as argilas estudadas estão dentro dos padrões exigidos para fabricação de cerâmica vermelha, no que se refere a composição química.

A Tabela 4.2 apresenta a média dos valores das análises químicas de cada ponto estudado neste trabalho em comparação com outras argilas do Brasil para cerâmica vermelha pesquisadas por Santos (1989). Nota-se na tabela comparativa abaixo que as amostras possuem valores bem próximos.

Tabela 4.2 – Resultados da média das análises química dos elementos maiores das amostras estudadas comparadas com outras argilas do Brasil.

Amostras	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	TiO ₂	PF
CA*	60,34	25,05	5,10	1,94	1,53	0,39	1,11	1,02	6,35
U*	55,86	22,26	5,30	2,22	1,69	0,22	1,15	0,98	9,58
F*	60,04	19,58	4,25	2,28	1,73	0,24	1,18	0,59	9,45
AT*	54,15	23,66	6,25	1,98	1,44	0,24	1,06	1,05	11,68
CE*	55,45	23,55	5,06	1,90	1,44	0,27	1,11	0,98	11,94
1	66,60	21,70	1,36	traços	traços	traços	0,28	0,46	9,5
2	56,80	21,00	7,62	1,30	traços	traços	0,69	1,32	10,6
3	57,90	23,30	7,61	1,30	0,20	traços	0,10	--	9,4
4	67,90	14,20	6,53	1,05	0,50	traços	1,12	2,00	6,1
5	65,00	18,30	6,12	1,30	0,23	traços	0,49	1,89	6,5
6	60,70	19,50	6,64	0,92	0,25	traços	0,87	2,60	8,4

CA* – Média dos valores da Calandrini; F* – Média dos valores da Fortaleza; U* – Média dos valores da União; AT* – Média dos valores da Amapá Telhas; CE* – Média dos valores da Corte de Estrada; 1 – S.Lamarão, Itu (SP); 2 – Zona B.Jupiá (SP); 3 – S.Prainha, Jupia (SP); 4 – Olaria M.T.Jupia (SP); 5 – Olaria D.O., Jupia (SP); 6 – Pau Preto, Jupia (SP), Fonte: Santos (1975).

4.4 – ENSAIOS TECNOLÓGICOS

Os ensaios tecnológicos das argilas estudadas foram realizados no Laboratório de Tratamento de Amostras do Instituto de Geociências e no Laboratório de Mecânica dos Solos do

Instituto Tecnológico, ambos na UFPA. A metodologia utilizada foi de acordo com Santos (1989).

4.4.1 – Cor

As variações de tonalidades apresentadas pelos materiais nas temperaturas de 110°C, 950°C e 1050°C estão demonstradas na Figura 4.13.

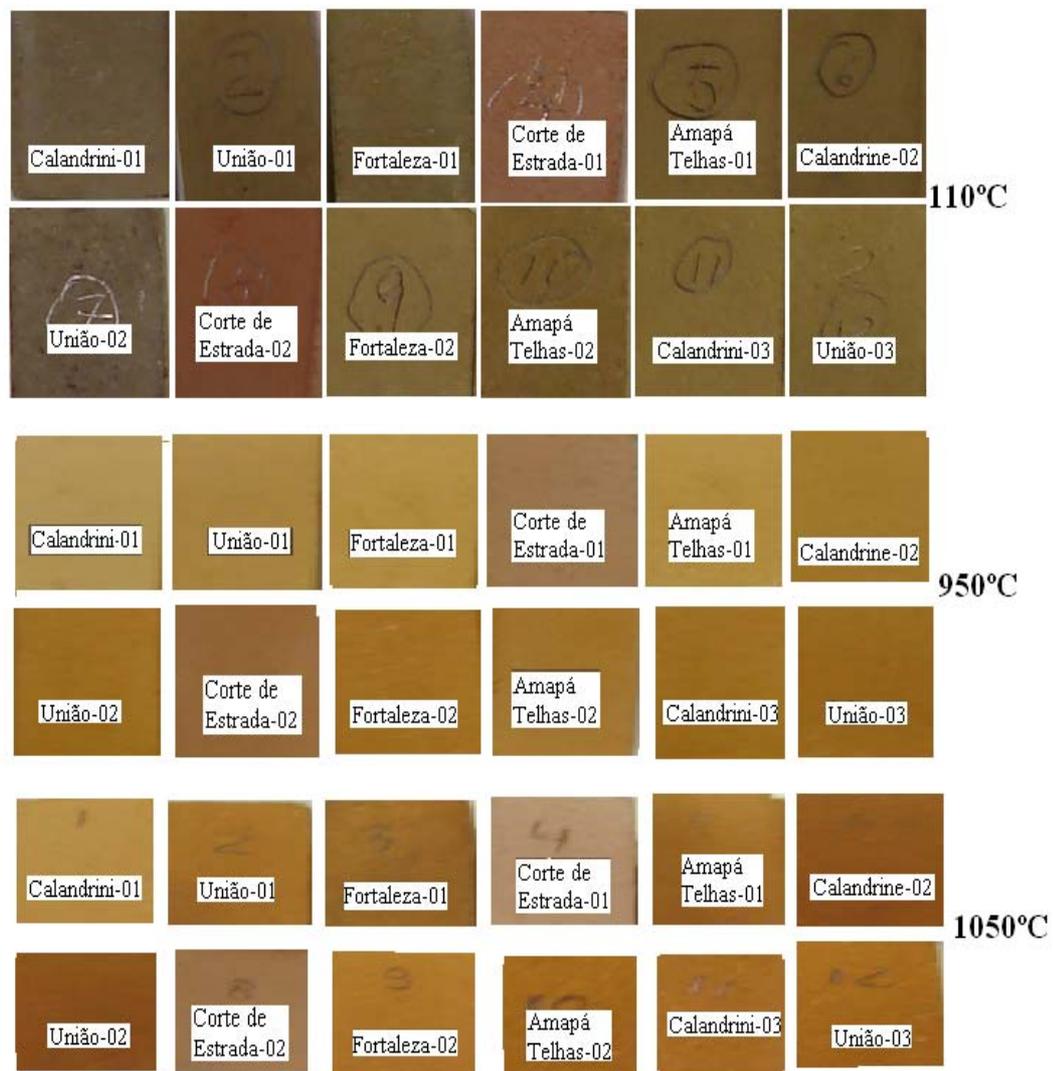


Figura 4.13 – Corpos de provas secos a 110°C, queimados a 950°C e a 1050°C.

Observou-se nas imagens (Figura 4.13) que na secagem a 110°C predominaram as nuances cinza a cinzas-escuros na maioria dos materiais, porém, nos corpos de provas Corte de

Estrada (01 e 02) verificou-se o aparecimento das colorações rósea e vermelha. Após a queima e nas temperaturas de 950°C e 1050°C visualizaram-se as tonalidades creme, róseo e laranja-claro. Estas colorações após a queima estão relacionadas aos teores dos minerais goethita 2[FeOOH] (amarela) e hematita Fe₂O₃ (vermelha) presentes nas argilas. Na Tabela 4.3 estão listados as amostras em correlação com suas cores de acordo com a temperatura de queima.

Tabela 4.3 – Coloração das amostras de acordo com a temperatura.

Amostras	Secagem 110°C	Queima 950°C	Queima 1050°C
Calandrini 03	Cinza	Laranja	Laranja -escuro
Calandrini 02	cinza-escuro	Laranja –avermelhado	Laranja –avermelhado
Calandrini 01	Cinza-escuro	Laranja –claro	Laranja
União 03	Cinza	Laranja	Laranja -escuro
União 02	Cinza	Laranja –avermelhado	Laranja
União 01	Cinza	Laranja –claro	Laranja –avermelhado
Fortaleza 02	Cinza	Laranja	Laranja -escuro
Fortaleza 01	Cinza	Laranja –claro	Laranja –avermelhado
Amapá Telhas 02	Cinza	Laranja	Laranja -escuro
Amapá Telhas 01	Cinza	Creme	Laranja –claro
Corte de Estrada 02	Róseo	Róseo	Róseo
Corte de Estrada 01	Vermelho	Róseo	Róseo

4.4.2 – Retração Linear

Os resultados apresentados na tabela 4.4 mostram que após a secagem a 110°C os corpos de prova pertencentes às cerâmicas Calandrine (01,02 e 03), União (01), Corte de Estrada (01 e 02) não retraíram. Enquanto as amostras União (02 e 03) Amapá Telhas (01 e 02), União (02 e 03) e Fortaleza (02), apresentaram uma variação de retração 0,5% a 0,83%.

A 950 °C apenas as amostras Calandrini (01,02 e 03) não sofreram retração, as demais demonstraram variação nos percentuais de retração, as demais demonstraram variação nos percentuais de retração na faixa de 0,16% a 4%.

Na temperatura de 1050°C todas as amostras sofreram retração

Comparando-se os resultados obtidos nos ensaios de retração linear com os dos autores Santos (1989),Vieira *et al.* (2000) e Betini (2007) nota-se que as amostras em estudo apresentaram valores abaixo aos da referência, este fato pode estar relacionado ao alto teor de quartzo nas amostras, que pode reduzir a retração linear.

Tabela 4.4 – Valores referentes à retração linear, expressa em porcentagem e de acordo com as temperaturas.

Amostras	Retração Linear (%)		
	110°C	950°C	1050°C
Calandrini 03	0	0	1,33
Calandrini 02	0	0	1,66
Calandrini 01	0	0	3,33
União 03	0,57	0,5	5,09
União 02	0,5	1,34	7,03
União 01	0	0,83	5
Fortaleza 02	0,27	0,56	4,74
Fortaleza 01	0	1	5,83
Amapá Telhas 02	0,27	0,16	2,67
Amapá Telhas 01	0,83	0,33	5,88
Corte de Estrada 02	0	4	5,16
Corte de Estrada 01	0	3,66	4,5
Betini (2007), São Miguel do Guamá-PA	3,45	3,77	6,56
Vieira <i>et al</i> (2000), Campos de Goytacazes-RJ	--	2	4
Santos (1989), para cerâmica vermelha.	2,8	4,3	6,5

4.4.3 – Tensão de Ruptura a Flexão

A Tabela 4.5 demonstra os resultados de tensão de ruptura à flexão (TRF) expressos em Kgf/cm², de acordo com as temperaturas 110°C, 950°C e 1050°C. Realizadas em corpos de provas com dimensão 6,0 cm x 2,0 cm x 0,5 cm a 200Kfg/cm².

Tabela 4.5 – Valores referentes à tensão de ruptura a flexão das amostras estudadas.

Amostras	Tensão de Ruptura a Flexão (Kgf/cm ²)		
	110°C	950°C	1050°C
Calandrini 03	19,53	46,44	81,72
Calandrini 02	28,8	37,55	113,2
Calandrini 01	23,74	92,07	195,22
União 03	39,84	141,37	275,08
União 02	43,28	121,56	205,16
União 01	31,32	110,01	290,71
Fortaleza 02	31,61	112,05	247,05
Fortaleza 01	38,39	142,72	311,68
Amapá Telhas 02	32,27	92,3	193,05
Amapá Telhas 01	50	149,27	301,42
Corte de Estrada 02	8,86	34,05	49,39
Corte de Estrada 01	6,19	20,27	29,39

Santos (1989) estabeleceu médias mínimas entre 15 Kgf/cm² a 30 Kgf/cm² para TRF a 110°C e valores entre 20 Kgf/cm² a 65 Kgf/cm² após a queima. De acordo com os valores obtidos nos ensaios dez amostras (U-01, U-02, U-03, F-01, F-02, AT-01, AT-02, CA-01, CA-02, CA-03) mostraram excelentes resistências, porém, os materiais CE (01 e 02) foram reprovados por não atingirem o valor mínimo quando submetidas à secagem de 110°C, inviabilizando suas utilizações para cerâmica vermelha devido não permitirem o manuseamento nem o empilhamento em fornos.

Na resistência à flexão dos materiais estudados, observou-se um aumento da mesma conforme o aumento da temperatura de queima, isto é explicado devido a modificação do arranjo estrutural causando entrelaçamento dos cristais.

4.4.4 – Absorção de Água

A absorção de água em blocos cerâmicos deve ser suficiente para absorver capilarmente parte da água da argamassa de assentamento, aumentando a aderência “argamassa/bloco”, e não muito elevada a fim de evitar a retirada excessiva da água da argamassa que prejudica a hidratação dos compostos de cimento e reduz a resistência da mesma. Em telhas cerâmicas, uma baixa absorção de água é fundamental para aumentar a impermeabilidade da mesma (TAVARES *et al.*, 2002).

Os valores de absorção de água indicam que as amostras sofreram redução com o aumento de temperatura. Este fato está ligado ao grau de sinterização do material, onde há coalescência de partículas de um agregado pulverizado por difusão, realizada por cozimento a uma temperatura elevada, ou seja, os poros diminuem com a elevação da temperatura (CALLISTER, 2002). Comparando-se com os dados utilizados como referência observou-se, na temperatura de 950°C, que as amostras União-02, Amapá Telhas-01, Corte de Estrada 01 e 02 estão acima dos mesmos. A 1050°C apenas a Corte de Estrada 01 e 02 ficaram acima dos descritos na literatura (SANTOS; FUNTAC; VIEIRA *et al.* 1989, 1990, 2000). A Tabela 4.6 é relacionada aos valores referentes à absorção de água das argilas, expressos em porcentagem, de acordo com as temperaturas de queima.

Tabela 4.6 – Tabela relacionada à absorção de água das amostras por suas respectivas temperaturas de queima.

Amostras	Absorção de Água (%)	
	950°C	1050°C
Calandrini 03	16,51	14,76
Calandrini 02	47,37	10,64
Calandrini 01	14,55	8,93
União 03	15,94	8,53
União 02	20,73	8,06
União 01	16,39	6,62
Fortaleza 02	16,43	10,28
Fortaleza 01	13,71	3,59
Amapá Telhas 02	14,83	11,34
Amapá Telhas 01	50,54	5,94
Corte de Estrada 02	22,41	20,44
Corte de Estrada 1	24,78	23,33
Vieira <i>et al.</i> (2000), Campos dos Goytacazes-RJ	19,50	16,50
FUNTAC 1990, argilas do Acre	15,30	10,60
Valores de Santos (1975), para Cerâmica Vermelha	20,20	15,10

4.4.5 – Porosidade Aparente

Os valores de porosidade aparente demonstram que os corpos de prova sofrem redução por causa do aumento de temperatura. O comportamento apresentado nas amostras é semelhante ao da absorção de água, onde ocorreu redução devido ao aumento de temperatura. Podemos observar ainda que os índices de porosidade aparente estão abaixo dos valores máximos encontrados na literatura, onde a faixa descrita é de 36,4% a 33,70% na temperatura de 950°C e de 29,60% a 23,30% para a temperatura de 1050°C (SANTOS; FUNTAC, 1989, 2000). Entretanto, as amostras CE-01, CE-02 e AT-01 apresentaram valores elevados aos da referência para temperatura de 950°C, enquanto a 1050°C foram os materiais CE-01 e CE-02 que apresentaram proporções elevadas. A Tabela 4.7 é referente aos dados de porosidade aparente, expressos em porcentagem, de acordo com as temperaturas de queima.

Tabela 4.7 – Valores referentes à porosidade aparente para as amostras envolvidas no trabalho, nas temperaturas de 950 °C e 1050 °C.

Amostras	Porosidade Aparente (%)	
	950°C	1050°C
Calandrini 03	29,71	27,46
Calandrini 02	67,27	21
Calandrini 01	27,12	17,93
União 03	29,24	17,88
União 02	33,13	14,36
União 01	29,73	13,14
Fortaleza 02	29,33	21,03
Fortaleza 01	23,16	8,1
Amapá Telhas 02	27,6	22,55
Amapá Telhas 01	56,54	12,81
Corte de Estrada 02	41,22	38,98
Corte de Estrada 01	42,60	41,12
FUNTAC 1990, argilas do Acre	33,70	23,30
Valores de Santos (1989), para cerâmica vermelha.	36,40	29,60

4.4.6 – Densidade Aparente

Os valores de densidade aparente apresentados para as amostras variam de 1,68% a 2,02%, na temperatura de 950°C, enquanto a 1050°C a variação da densidade ocorre entre 1,99% e 2,46%. De acordo com Santos (1989) a densidade aparente, para cerâmica vermelha, possui limite máximo de 2,7%, determinando, desta forma, que as argilas pesquisadas no trabalho estão dentro da faixa permitida. Na Tabela 4.8 apresenta-se os resultados da variação da densidade aparente em função da temperatura.

Tabela 4.8 – Valores referentes à densidade aparente, expressos em porcentagem, de acordo com as temperaturas.

Amostras	Densidade Aparente (%)	
	950°C	1050°C
Calandrini 03	1,92	1,99
Calandrini 02	1,54	2,56
Calandrini 01	2,02	2,18
União 03	2	2,31
União 02	1,9	2,14
União 01	2	2,2
Fortaleza 02	1,96	2,26
Fortaleza 01	1,84	2,46
Amapá Telhas 02	2,01	2,15
Amapá Telhas 01	1,24	2,41
Corte de Estrada 02	1,68	2,19
Corte de Estrada 01	1,98	2,03
Valores de Santos (1989), para cerâmica vermelha.	1,81	1,95

4.4.7 – Características Cerâmicas das Amostras Pós-Secagem (110°C) e Queima (950°C e 1050°C), Comparadas com Valores-Limites Obtidos em Laboratório, para Utilização em Indústria de Cerâmica Vermelha.

De acordo com Santos (1989), os parâmetros tensão de ruptura a flexão, absorção de água e cor após a queima são os principais fatores a serem utilizados nos testes onde as argilas são aplicadas para cerâmica vermelha. Com relação à temperatura, os valores mínimos indicados são: para secagem 110°C e para a queima 950°C e 1050°C. Desta forma, com as temperaturas estabelecidas, o uso correto de argilas poderá ser determinado na fabricação de tijolos de alvenaria, tijolos estruturais e telhas. A tabela 4.9 mostra as características cerâmicas no estado cru e após a queima das amostras estudadas, comparando-se os valores medidos com os limites recomendados, determinados em laboratório, para que uma massa cerâmica possa ser usada conforme o produto que se deseja.

Tabela 4.9 – Valores-limites recomendados, determinados em laboratório, para fabricação de produtos para cerâmica vermelha, conforme Santos (1989).

Parâmetros	Tijolos de Alvenaria	Tijolos estruturais	Telhas	Ladrilhos de piso vermelho
Tensão de ruptura a flexão da massa seca a 110°C (mínima)	15 Kgf/cm ²	25 Kgf/cm ²	30 kgf/cm ²	---
Tensão de ruptura a flexão da massa queimada (mínima)	20kgf/cm ²	55Kgf/cm ²	65Kgf/cm ²	---
Absorção de água da massa após a queima (máxima)	---	25%	20%	Abaixo de 1,0%
Cor	Vermelha	Vermelha	Vermelha	Vermelha

A Figura 4.14 mostra a relação entre os valores medidos nas argilas do estudadas com os da referência, segundo Santos (1989), para tensão de ruptura a flexão e demonstram a utilização das amostras de acordo com os resultados.

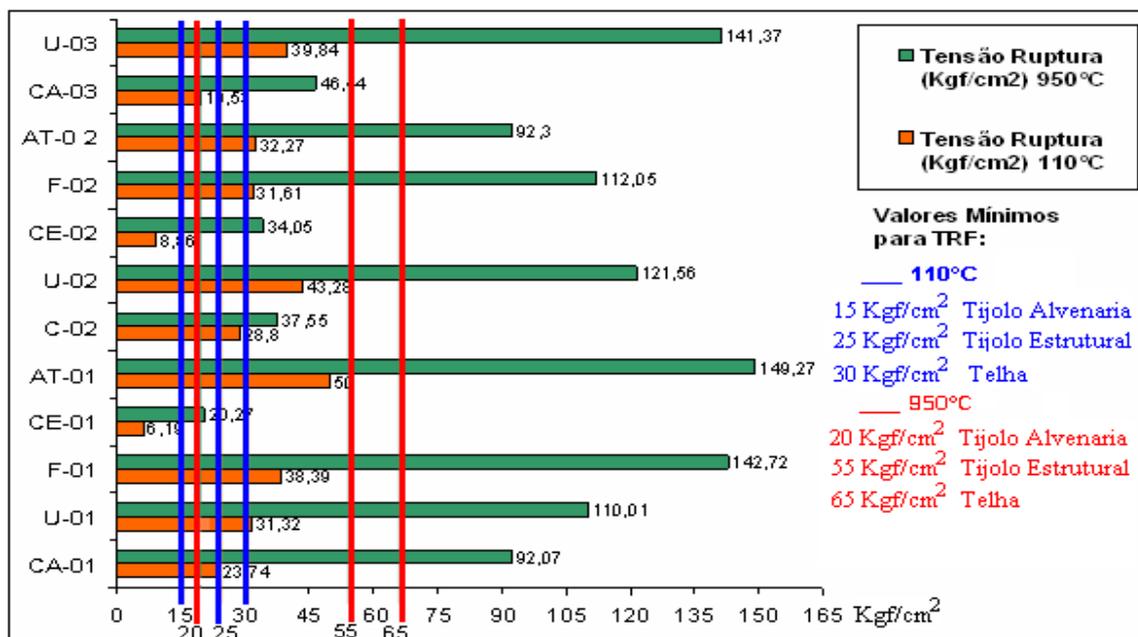


Figura 4.14 – Relação entre os valores medidos para tensão de ruptura à flexão das amostras estudadas e valores-limites recomendados para fabricação de tijolos de alvenaria, estrutural e telhas.

A Figura 4.15 é referente às amostras queimadas a 1050°C, vale ressaltar que estes dados foram obtidos mediante ensaios laboratoriais. Nesta temperatura 10 amostras apresentaram-se dentro dos padrões exigidos para produção de telhas, tijolos estruturais, de alvenaria e telhas.

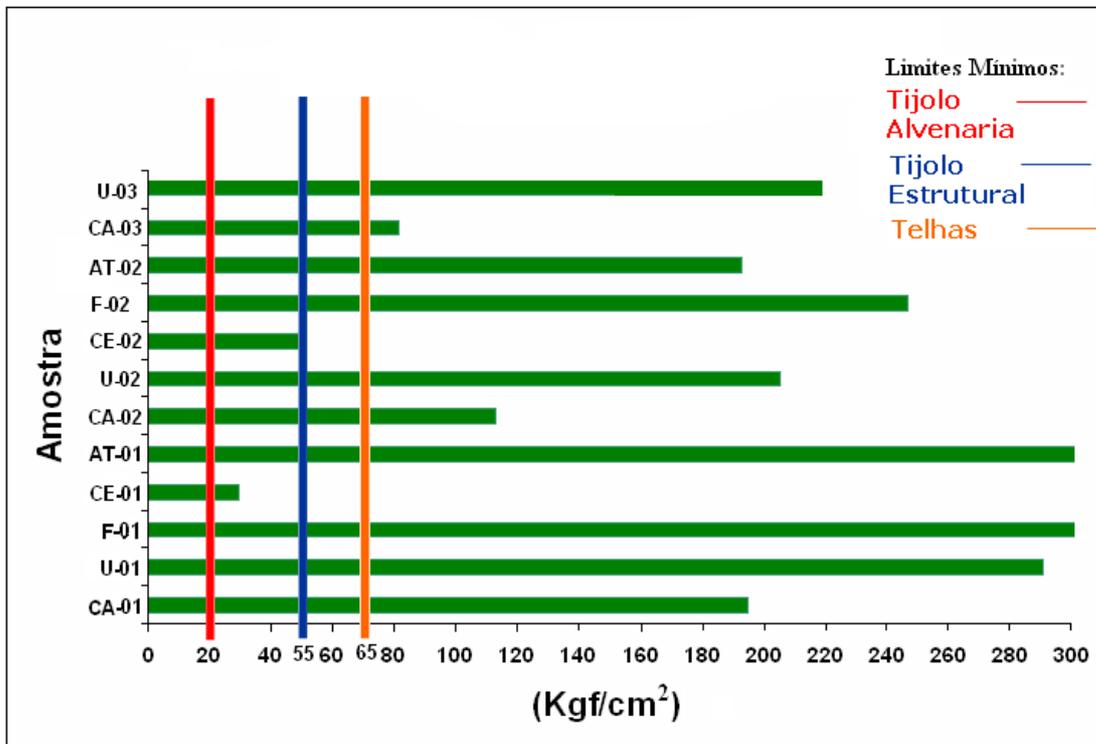


Figura 4.15 – Relação entre os valores medidos para tensão de ruptura à flexão, a 1050°C, das amostras do Amapá e valores-limites recomendados para fabricação de tijolos de alvenaria, estrutural e telhas.

4.4.8 – Limites de Atterberg: Limite de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP) e Índice de Plasticidade (IP)

Para os Limites de Atterberg (LL, LP e IP) observa-se no comportamento das argilas estudadas que os valores dos limites de liquidez variam de 30% a 59%, os limites de plasticidades estão na faixa de 14% a 34%, enquanto os índices de plasticidades situaram-se entre 14% a 28%. Verifica-se que a maioria das amostras são consideradas altamente plásticas, por apresentarem índices de plasticidades superiores a 15%. No entanto, as amostras CA-02, CE-01 e CE-02, apresentaram índice de plasticidade entre 7-15%, logo são consideradas de média plasticidade (ABNT – NBR 7180, 1984). Os Limites de Atterberg (LL, LP e IP) são propriedades tecnológicas importantes para a utilização de argilas no processo industrial para a fabricação de cerâmica vermelha, visto que, a relevância dos três parâmetros está na possibilidade do emprego de diversas técnicas de conformação, inclusive por extrusão, permitindo a obtenção de peças com formas geométricas das mais variadas e com a resistência mecânica a verde adequada para seu

manuseio, pois argila sem uma plasticidade boa não pode ser processada (VIEIRA; MONTEIRO; DUAILIBI FH., 2005). Com base na Tabela 4.10 pode-se observar os resultados dos limites de Atterberg das amostras estudadas; limite de liquidez (LL), limite de plasticidade (LP) e índice de plasticidade (IP).

Tabela 4.10 – Valores referentes aos Limites de Liquidez (LL), Plasticidade (LP) e Índices de Plasticidade (IP), expressos em percentagem.

Amostra	LL(%)	LP(%)	IP(%)
Calandrini 03	44	28	16
Calandrini 02	31	17	14
Calandrini 01	47	21	28
União 03	50	28	21
União 02	46	17	20
União 01	49	27	22
Fortaleza 02	49	30	19
Fortaleza 01	34	14	20
Amapá Telhas 02	38	20	18
Amapá Telhas 01	59	34	25
Corte de Estrada 02	30	20	10
Corte de Estrada 01	50	36	14

A Figura 4.16 proporciona uma relação entre os limites e índices de plasticidades de Atterberg, indicando a região de extrusão nos limites de aceitável a ótima. De acordo com a análise as amostras CA-01, CA-03, U-01, U-03, F-02 e CE-02 estão no campo de extrusão aceitável, enquanto a argila AT-02 localizou-se na área de extrusão ótima, entretanto, encontram-se fora dos campos de extrusão os materiais CA-02, U-02, F-01, AT-01 e CE-01, logo, para serem conformados por este procedimento precisam ser misturadas com as demais para melhorarem suas respectivas trabalhabilidades (VIEIRA *et al.*, 2007).

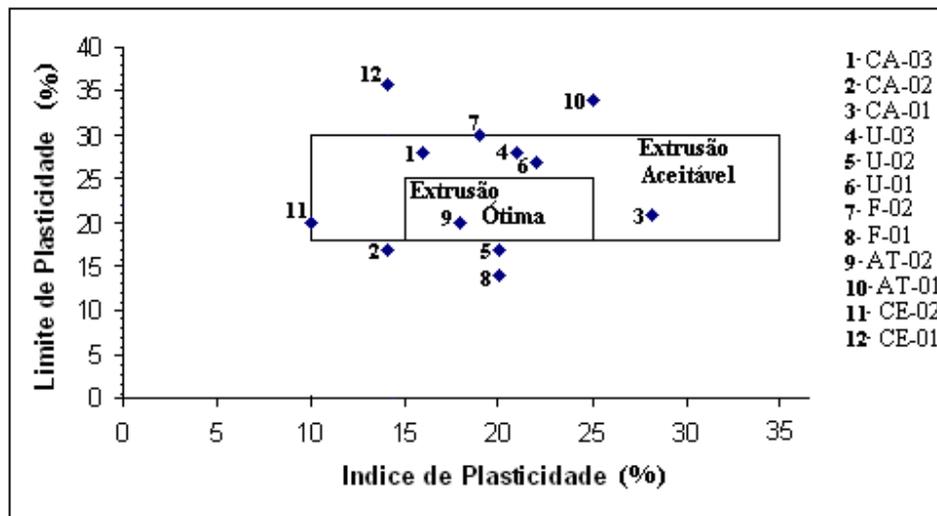


Figura 4.16 – Prognóstico de extrusão através dos limites de Atterberg. Adaptado de VIEIRA *et al.* (2000).

4.5 – RELAÇÃO ENTRE OS ENSAIOS TECNOLÓGICOS, A NATUREZA QUÍMICA E A MINERALOGIA DAS ARGILAS ESTUDADAS.

As reações que dão as argilas propriedades de cerâmica vermelha pós-queima são um conjunto que envolve composição química e mineralógica das mesmas, onde a qualidade dos produtos obtidos será constatada através de ensaios tecnológicos, a correlação entre os três parâmetros é fundamental para a obtenção de materiais seguros e com elevada qualidade.

O tempo e a temperatura de sinterização, com velocidade de aquecimento constante, são as bases fundamentais no processo de transformações das argilas em materiais como tijolos e telhas. A caracterização química e mineralógica, o estudo da variação de cores, absorção de água, retração linear, porosidade aparente, limites de Atterberg, granulometria juntamente com tensão de ruptura a flexão perfazem o grupo de análises e ensaios que caracterizam a argila para utilização na indústria de cerâmica vermelha.

As Figuras (4.17, 4.18, 4.19, 4.20 e 4.21) a seguir são referentes à correlação entre a litologia, análises mineralógicas, químicas e propriedades cerâmicas dos cinco perfis estudados: Amapá Telhas, Calandrini, União, Fortaleza e Corte de Estrada.

Profundidade	Identificação dos Horizontes	Descrição	Mineralogia DRX	Análise Química	Propriedades Cerâmicas
0	SOLO	Matéria orgânica			
1,00m	AT - 02	Silte de coloração amarela	Quartzo Caulinita Ilita Esmectita Goethita	SiO ₂ =63,31% Al ₂ O ₃ =26,02% Fe ₂ O ₃ = 6,05 % K ₂ O+Na ₂ O=3,37 % CaO+MgO= 1,16 %	AA=16,51% TRF=46,44 Kgf/cm ² RLQ=0%
2,00m	AT -01	Silte-argiloso com matéria orgânica, coloração cinza-azulado.	Quartzo Caulinita Ilita Esmectita Goethita	SiO ₂ = 53,34 % Al ₂ O ₃ =25,94 % Fe ₂ O ₃ = 3,77 % K ₂ O+Na ₂ O=3,66 % CaO+MgO= 1,58%	AA= 50,54 % TRF=149,27Kgfc/m ² RLQ=0,33 %

AA-Absorção de água TRF- Tensão de Ruptura à Flexão RLQ- Retração Linear após Queima 950° C

Figura 4.17 – Coluna Litoestratigráfica da cerâmica Amapá Telhas relacionada com as análises mineralógicas (DRX), químicas e propriedades cerâmicas (AA, TRF e RLQ).

Profundidade	Identificação dos Horizontes	Descrição	Mineralogia DRX	Análise Química	Propriedades Cerâmicas
0	SOLO	Matéria orgânica			
1,00 m	CA-03	Silte de coloração amarela	Quartzo Caulinita Ilita Esmectita Goethita	SiO ₂ = 59,92% Al ₂ O ₃ =27,10% Fe ₂ O ₃ = 7,05% K ₂ O+Na ₂ O= 3,58% CaO+MgO= 0,52%	AA=16,51% TRF=46,44 Kgfc/m ² RLQ=0%
2,00 m	CA-02	Silte de coloração cinza-amarelada	Quartzo Caulinita Ilita Esmectita Goethita	SiO ₂ = 62,60 % Al ₂ O ₃ = 23,05 Fe ₂ O ₃ = 4,69% K ₂ O+Na ₂ O=3,83% CaO+MgO=1,78%	AA= 47,37 % TRF=37,55Kgfc/m ² RLQ=0%
3,00 m	CA-01	Silte-argiloso com matéria orgânica, coloração cinza-azulado	Quartzo Caulinita Ilita Esmectita Goethita	SiO ₂ = 58,51 % Al ₂ O ₃ = 25,01 % Fe ₂ O ₃ = 3,57 % K ₂ O+Na ₂ O= 3 % CaO+MgO= 1,19 %	AA= 14,55 % TRF=92,07 Kgfc/m ² RLQ=0%

AA-Absorção de água TRF- Tensão de Ruptura à Flexão RLQ- Retração Linear após Queima 950° C

Figura 4.18 – Coluna Litoestratigráfica da cerâmica Calandrine relacionada com as análises mineralógicas (DRX), químicas e propriedades tecnológicas (AA, TRF e RLQ).

Profundidade	Identificação dos Horizontes	Descrição	Mineralogia DRX	Análise Química	Propriedades Cerâmicas
0	SOLO	Matéria orgânica			
1,00 m	U-03	Silte de coloração amarela	Quartzo Caulinita Ilita Esmectita Goethita	SiO ₂ = 51,37 % Al ₂ O ₃ =24,14% Fe ₂ O ₃ = 7,31% K ₂ O+Na ₂ O=3,66 % CaO+MgO=1,39 %	AA= 15,94 % TRF=141,37 Kgf/cm ² RLQ=0,5 %
2,00 m	U-02	Silte de coloração cinza-amarelada	Quartzo Caulinita Ilita Esmectita Goethita	SiO ₂ = 56,92 % Al ₂ O ₃ =23,17% Fe ₂ O ₃ = 5,18 % K ₂ O+Na ₂ O=3,18 % CaO+MgO= 1,21 %	AA= 20,73 % TRF=121,56 Kgf/cm ² RLQ=1,34 %
3,00 m	U-01	Silte-argiloso com matéria orgânica, coloração cinza-azulado	Quartzo Caulinita Ilita Esmectita Goethita	SiO ₂ =53,98% Al ₂ O ₃ =23,93% Fe ₂ O ₃ = 4,94% K ₂ O+Na ₂ O=3,50% CaO+MgO=1,54%	AA=14,55 % TRF=110,01 Kgf/cm ² RLQ= 0,83 %

AA-Absorçã de água TRF- Tensão de Ruptura à Flexão RLQ- Retração Linear após Queima 950° C

Figura 4.19 – Coluna Litoestratigráfica da cerâmica União relacionada com as análises mineralógicas (DRX), químicas e propriedades tecnológicas (AA, TRF e RLQ).

Profundidade	Identificação dos Horizontes	Descrição	Mineralogia DRX	Análise Química	Propriedades Cerâmicas
0	SOLO	Matéria orgânica			
1,00m	F-02	Silte de coloração amarela	Quartzo Caulinita Ilita Esmectita Goethita	SiO ₂ =59,73 % Al ₂ O ₃ =18,78% Fe ₂ O ₃ = 5,21% K ₂ O+Na ₂ O=3,86% CaO+MgO=1,48 %	AA=16,43 % TRF=112,05 Kgf/cm ² RLQ=0,56 %
	F-01	Silte de coloração cinza-amarelada	Quartzo Caulinita Ilita Esmectita Goethita	SiO ₂ = 60,35 % Al ₂ O ₃ =20,37 % Fe ₂ O ₃ =3,29 % K ₂ O+Na ₂ O=4,16% CaO+MgO= 1,34 %	AA= 13,71 % TRF=142,72 Kgf/cm ² RLQ= 1 %

AA-Absorçã de água TRF- Tensão de Ruptura à Flexão RLQ- Retração Linear após Queima 950° C

Figura 4.20 – Coluna Litoestratigráfica da cerâmica Fortaleza relacionada com as análises mineralógicas (DRX), químicas e propriedades tecnológicas (AA, TRF e RLQ).

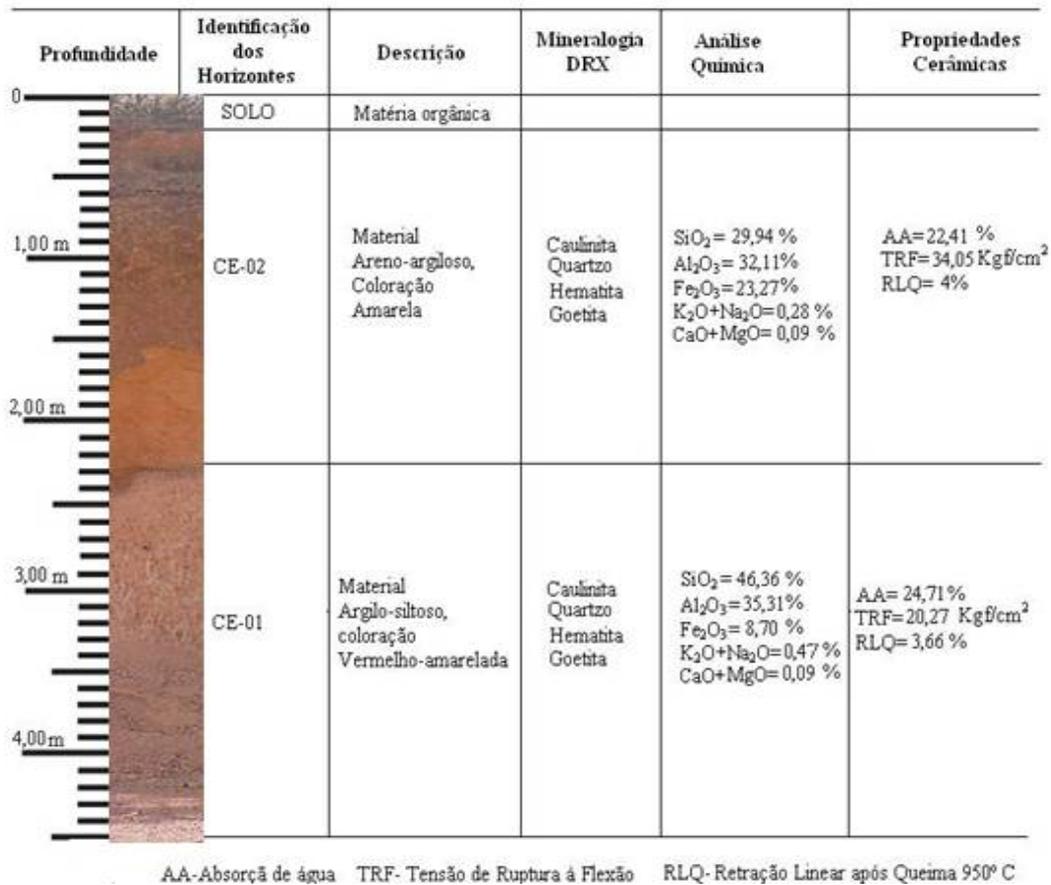


Figura 4.21 – Coluna Litoestratigráfica do Corte de Estrada relacionada com as análises mineralógicas (DRX), químicas e propriedades tecnológicas (AA, TRF e RLQ).

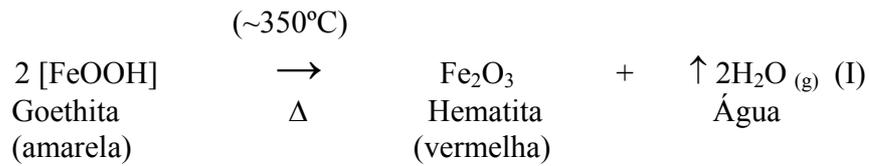
Os minerais encontrados em todos os níveis dos perfis estudados foram: quartzo, caulinita, ilita, esmectita e goethita. A amostra Corte de Estrada foi diferente das demais, pois apresentou na sua composição quartzo, caulinita, hematita e goethita, com predomínio de caulinita.

Os argilominerais servem como fonte de Al₂O₃ e SiO₂. O quartzo presente nas amostras reduz a plasticidade da massa, porém favorece a secagem das peças. Ele é um dos componentes fundamentais das massas para o controle da dilatação e também para ajuste da viscosidade da fase líquida formada durante a queima. O quartzo contribui também para a resistência mecânica das peças após a queima (ANUÁRIO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 2002).

Os álcalis Na₂O e K₂O fazem parte da constituição dos feldspatos e atuam na produção de cerâmica como fundentes, auxiliando no controle do grau de vitrificação do corpo cerâmico que poderá variar de acordo com o teor de sílica (SiO₂) presente na amostra, podem também

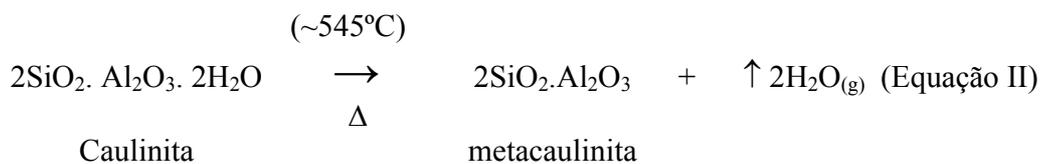
apresentar-se na função de estabilizantes pela presença da alumina (Al_2O_3) (TAVARES; CASTAÑEDA; SOARES, 2005).

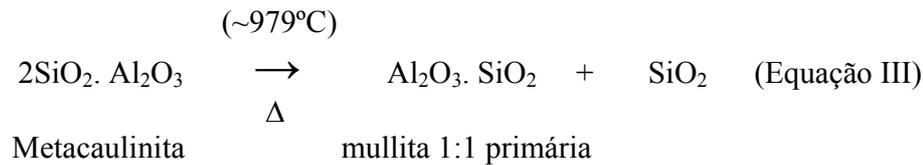
Analisando as diversas cores encontradas nos corpos de provas, após serem queimados a temperaturas de 950°C e 1050°C , observou-se que os tons variaram da coloração amarelada à avermelhada, sendo associadas às proporções dos minerais goethita e hematita, respectivamente. A cor vermelha que caracteriza esses produtos é resultante da oxidação de compostos de ferro presente ou liberado pela argila. A intensidade da cor varia não só em função da quantidade de óxido de ferro, como também da presença de outros minerais e da atmosfera oxidante do tratamento térmico (ANUÁRIO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 2002), a uniformidade da coloração depende da distribuição granulométrica dos compostos de ferro. Quando a goethita é submetida a uma temperatura de aproximadamente de 350°C , ocorre a transformação para o mineral hematita, evidenciada na fórmula química (I) (CARNEIRO, 2003).



Quanto à retração linear (RL), observou-se que os valores encontrados demonstraram que a variação deste parâmetro foi pequena, comparando-se com os dados teóricos para cerâmica vermelha, isto se relaciona ao fato de as argilas analisadas possuírem teores de quartzo livre elevados comprovados através da análise química.

Outro fator relevante para o aumento na resistência das peças pode estar relacionado a presença do argilomineral caulinita, pois este foi diagnosticado em todas as argilas, através da análise de difração de raios-X (DRX). Quando a temperatura de queima passa de 550°C ocorre a transformação de caulinita para metacaulinita, por processo de desidroxilação, na temperatura de aproximadamente 980°C a metacaulinita tem sua estrutura alterada, onde ocorre a nucleação da mulita ou formação do espinélio (MURAT; AKOLEKAR *et al.*, 1992, 1999), mecanismo que consolida o processo de sinterização. As equações químicas (II) e (III) representam as reações envolvidas no processo (CARNEIRO, 2003).





A Tabela 4.11 compara estudos realizados em argilominerais quando submetidos à caracterização de propriedades tecnológicas-cerâmicas com as argilas estudadas neste trabalho, segundo Heystek (1964) citado por Santos (1989).

Tabela 4.11 – Comparação das propriedades cerâmicas das amostras estudadas com argilominerais caracterizados por Heystek (1964) adaptado de Santos (1989).

Amostras	Água de Plasticidade(%)	Retração Linear a 110°C (%)	Tensão de ruptura a flexão (Kgf/cm ²) a 110°C	Retração Linear após a queima (%)
Calandrini 03	9,22	0	19,53	0-1,33
Calandrini 02	6,34	0	28,8	0,29-1,66
Calandrini 01	6,24	0	23,74	0-3,33
União 03	8,8	0,57	39,84	0,5-5,09
União 02	9,5	0,5	43,28	1,34-7,03
União 01	7,88	0	31,32	0,83-5
Fortaleza 02	8,26	0,27	31,61	0,56-4,74
Fortaleza 01	8,14	0	38,39	1-5,83
Amapá Telhas 02	7,2	0,27	32,27	0,16-2,67
Amapá Telhas 01	9,98	0,83	50	0,33-5,88
Corte de Estrada 02	9,09	0	8,86	4-5,16
Corte de Estrada 01	5,65	0	6,19	3,66-4,5
Caulinita*	9-56	3-10	0,7-50	2-17
Montmorilonita*	83-250	12-23	18-58	20
Ílita*	17-39	4-11	15-76	9-15

*segundo Heystek (1964), adaptado de Santos (1989).

De acordo com a tabela notou-se que os valores para água de plasticidade das argilas nas cerâmicas Calandrini (01,02 e 03); União (01,02 e 03); Amapá Telhas (01 e 02) e Fortaleza (01 e 02) estão abaixo do limite detectado para a caulinita. Com relação à retração linear a 110°C, as amostras apresentaram valores abaixo dos utilizados como referência para os argilominerais.

Observa-se que em todo o estudo os valores obtidos estão em concordância com os da caulinita, comprovando desta forma a presença das mesmas nas amostras e sua relevância no que se refere a propriedades tecnológicas.

4.6 – ESPACIALIZAÇÃO DE OCORRÊNCIAS NAS OLARIAS E MAPEAMENTO DAS ZONAS ALAGADAS (RESSACAS).

A Figura 4.22 refere-se à identificação dos pontos estudados, localizados ao longo das bacias hidrográficas do Igarapé da Fortaleza e Rio Matapi, ambos de idade quaternária.

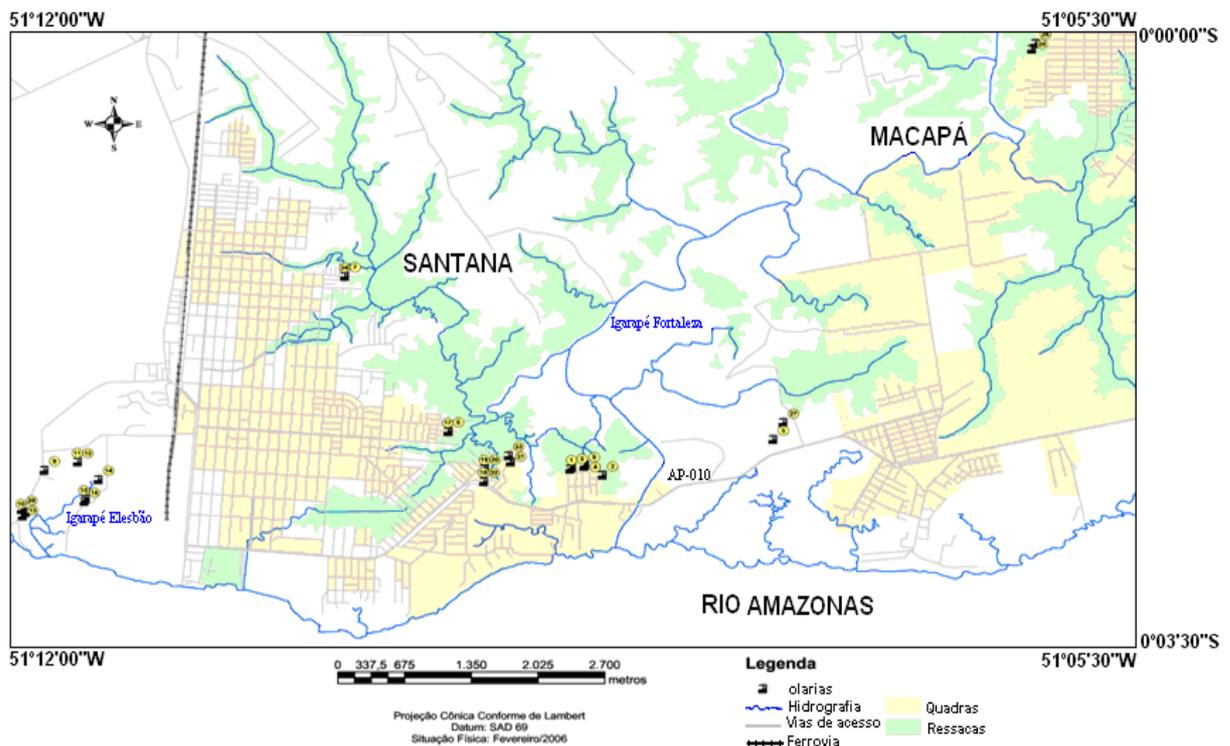


Figura 4.22 – Mapa de localização das cerâmicas.

Através da análise geológica realizada nos perfis localizados nas cerâmicas Calandrini, Amapá Telhas, União e Fortaleza, foram constatadas três litologias diferentes:

- A primeira camada foi localizada no topo dos perfis das cerâmicas Calandrini e União, constituída de silte de coloração amarela apresentando espessuras de 1,00 m a 0,60 m respectivamente;
- A segunda litologia foi observada em todos os locais amostrados, apresentando sedimentos silte de coloração cinza-amarelados de tamanhos diversos com profundidades variando de 1,80m a 0,90m;

- A terceira camada está localizada na base de todos os pontos analisados é formada por silte-argiloso cinza-azulada, com presença de matéria orgânica, sua espessura variando de 0,50 m a 1,30 m.

A coloração das camadas litológicas pode ser devida os minerais presentes e a quantidade de matéria orgânica do local. De acordo com Santos (2004), o ambiente de deposição desta unidade está relacionado a depósitos de canais fluviais antigos, de origem quaternária, colmatados, formados quando há elevação do nível do mar, a qual foi responsável, também, por esculpir falésias, hoje inativas, nas unidades terciárias. A presença de camada orgânica na superfície indica o fechamento por colmatação das drenagens.

Sugio (1999) classificou argilas quaternárias para materiais de construção em dois grupos, onde as utilizadas para cerâmica vermelha são colocadas no segundo grupo, pois este abrange os materiais que devem ser tratados quimicamente, queimados, fundidos ou misturados com outros materiais ou transformados por outro meio até que eles adquiram a capacidade de serem moldados tomando novas formas.

As argilas quaternárias são a variedade que apresenta alta umidade e plasticidade, propiciando boa trabalhabilidade para os processos cerâmicos de conformação plástica, a exemplo dos produtos extrudados, tais como tijolos e telhas, até mesmo para a produção artesanal (olarias) ou com equipamentos de pequeno porte (MOTTA *et al.*, 2004).

As amostras estudadas são provenientes de áreas de ressaca da região pesquisada. O termo “ressaca” é utilizado regionalmente para denominar os vários lagos de várzeas existentes no Estado do Amapá, estes lagos surgem durante o inverno, período estendido de dezembro a junho, as águas destas chuvas alimentam os rios e igarapés que inundam estas áreas. Quando cessam as chuvas, as águas se restringem ao canal principal dos rios formadores e as “ressacas” se transformam em grandes campos (TAKYAMA; SILVA, 2004).

Em 1999 houve a criação da Lei Estadual nº 455, intitulada Lei das Ressacas que diz respeito a delimitação e tombamento das áreas de ressaca localizadas no Estado do Amapá, a lei 455/99 impõe limitações ao uso destas áreas e também ao seu entorno (TAKYAMA; SILVA, 2004). Diante deste impedimento fica explícito que as áreas exploradas pelas indústrias oleiro-cerâmicas são finitas e não tem como sofrerem expansão, pois a lei estadual não permite. Uma área que poderia futuramente servir como alternativa seria o Município de Mazagão, mas

necessitaria que fossem realizados estudos profundos da mesma para avaliação de suas potencialidades para cerâmica vermelha.

5 – ASPECTOS GERAIS DAS INDÚSTRIAS LOCAIS

O setor oleiro amapaense é composto por 40 empresas de grande e pequeno porte, deste total 29 empreendimentos se concentram na área de estudo. Neste capítulo pretende-se mostrar o funcionamento da rede de arranjos produtivos locais, com a identificação de entraves técnicos e tecnológicos. A seguir são descritas as principais características do processo produtivo de cerâmicas vermelhas na área de estudo, os dados são baseados em diagnósticos locais.

5.1 – ÁREAS DE EXTRAÇÃO

Todas as olarias extraem argila de locais que são alagados periodicamente, conhecidos popularmente como ressacas. Essas áreas ficam concentradas nas margens de rios e igarapés como o Elesbão e o da Fortaleza, onde existem muitas olarias. As lavras estão quase sempre próximas às olarias e nestas não existe a mínima gestão racional sobre o terreno ou áreas de extração, desfavorecendo, desta forma, uma retirada ordenada ou posterior utilização das cavas, estas produzidas no momento da extração das argilas. O estudo prévio geológico é o maior entrave encontrado, pois, todas estas empresas não sabem o volume, a qualidade e a disposição das argilas. A Figura 5.1 demonstra um exemplo de campo natural em área de ressaca.



Figura 5.1 – Campos naturais (ressacas).

5.2 – PROCESSO PRODUTIVO

As maiorias das empresas têm dificuldades nas diversas fases de produção, desde a extração da matéria-prima até o depósito do produto acabado. Os equipamentos utilizados nas olarias são antigos e construídos de forma artesanal, apresentando baixa operosidade com manutenção precária, este fato causa prejuízo na fabricação. A Figura 5.2 exemplifica as etapas realizadas na produção de tijolos e telhas.

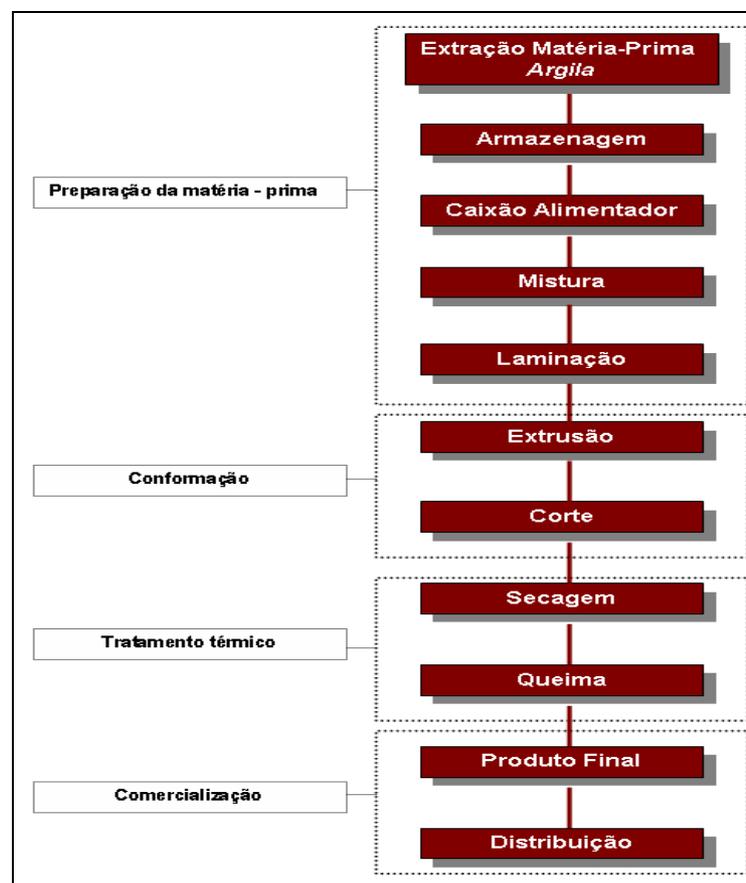


Figura 5.2 – Fluxograma do processo produtivo.

5.2.1 – Extração e Estocagem da Matéria-Prima

A extração da matéria-prima ocorre próximo da área do empreendimento, sendo realizada de duas formas: com o uso de máquinas retroescavadeiras (Figura 5.3-a) e de maneira rudimentar, com a utilização de pá (Figura 5.3-b). Apenas 17,24% das empresas

empregam máquinas para extração, desta porcentagem uma pequena parte possui maquinário próprio as demais (olarias menores) fazem rodízio com uma retroscavadeira pertencente a cooperativa dos oleiros. O material argiloso é retirado no verão, devido às chuvas inundarem as cavas no período chuvoso.



Figura 5.3 – Extração da matéria-prima: (A) com retroscavadeira e (B) manualmente com auxílio de pá.

Segundo Zandonadi & Ioshimoto (1991) o sazonalamento consiste na estocagem de argila a céu aberto em períodos de tempo que variam de seis meses a dois anos. A exposição do material extraído às intempéries o que provoca a lavagem de sais solúveis, e o alívio de tensões nos blocos de argilas, o que melhora sua plasticidade e homogeneiza a distribuição de umidade. As argilas são depositadas em camadas nos pátios das indústrias, onde a espessura e alternância das camadas dependem dos tipos de argilas e das propriedades desejadas da mistura final.

Este processo é executado por 72, 41% das empresas, dura de 06 a 12 meses, com o intuito de garantir matéria-prima para o período chuvoso, as menores empresas não realizam o sazonalamento pela falta de espaço físico, logo, no inverno praticamente param a produção. A Figura 5.4, mostra exemplos de locais onde as argilas são sazonaladas.



Figura 5.4 – Local de sazonalamento.

5.2.2 – Caixa Alimentador

A finalidade do caixa alimentador é receber a argila e abastecer as outras máquinas existentes no processo de conformação através de esteiras. Nesta etapa também é adicionada água para dar melhor plasticidade à matéria-prima (Figura 5.5).



Figura 5.5 – Equipamentos das olarias: (A) Caixa alimentador; (B) Caixa alimentador; (C) Laminador; (D) Esteira.

5.2.3 – Preparação de Massa

A preparação da argila para indústria de cerâmica vermelha influi na obtenção de produtos cerâmicos com qualidade. A argila bem preparada facilita o processo de fabricação, reduz custos, desgastes de equipamentos e desperdícios.

O preparo da argila na região consiste em desmanchar os torrões em que se apresenta quando colocada no caixa alimentador. Para isto, a maioria das olarias utiliza os laminadores que dá forma de lâmina com aproximadamente, 4 mm de espessura. Em seguida são levadas para extrusão.

5.2.4 – Extrusão

É o processo pelo qual através da passagem de massa plástica pastosa por uma abertura da máquina que possui uma boquilha/molde se dá forma a um produto cerâmico.

O equipamento utilizado para extrusão é chamado de maromba (extrusora) que se caracteriza de acordo com sua capacidade, formas de boquilhas e câmara de vácuo. São máquinas feitas para trabalhar sob as mais diversas condições e atender a todos os tipos de fabricação cerâmica, permitindo alta produção.

5.2.5 – Cortadores

Ao sair da boquilha, a massa é transportada sobre os rolos, constituídos de material plástico duro, até os cortadores. O corte é feito por fios de aço, esticados em quadro móvel, espaçados de acordo com a medida requerida.

5.3 – PROCESSOS TÉRMICOS ENVOLVIDOS NA PRODUÇÃO

O tratamento térmico é um processo de grande importância na produção de tijolos e telhas, quando bem realizado reduz a porcentagem de perdas. Esta técnica é subdividida em duas etapas: secagem e queima. Uma peça cerâmica que tenha sido conformada hidroplasticamente ou através de uma fundição por suspensão retém uma porosidade significativa e também possui uma resistência que é insuficiente para a maioria das aplicações práticas, além do mais, ela pode conter ainda algum líquido (água por exemplo), que foi adicionado para auxiliar na operação de conformação. Esse líquido é removido em um processo de secagem; a densidade e a resistência são melhoradas como resultado de um tratamento térmico de alta temperatura ou de um procedimento de cozimento (queimado). Um corpo que tenha sido conformado, mas que não tenha sido cozido, é conhecido como “a verde”.

5.3.1 – Secagem

Segundo Norton 1973, o processo de secagem é uma operação importante na fabricação de muitos produtos cerâmicos, devido uma exigência do mercado, que deseja uma secagem mais rápida possível, por causa de tal procedimento há uma retração diferencial de tal ordem que produz trincamentos. O movimento do ar tem duas finalidades nesta fase de produção: fornecer calor à peça cerâmica como compensação para o resfriamento por evaporação e eliminar o vapor de água formado. A água evaporada de uma peça cerâmica pela secagem deve originar-se, principalmente, do interior da peça através de canais finos interconectados.

Na medida em que um corpo cerâmico à base de argila é seco, ocorre contração do seu volume. Nos estágios iniciais do processo de secagem, as partículas de argila estão virtualmente envolvidas, separadas uma das outras por uma fina película de água. Com o progresso da secagem e a remoção da água, a separação interpartículas diminui o que é manifestado na forma de volume. Durante a secagem, torna-se crítico controlar a taxa de remoção da água. A secagem nas regiões internas de um corpo é realizada através da difusão das moléculas de água para a superfície, onde ocorre a evaporação Callister (2002).

A secagem é o processo no qual se remove o líquido do material conformado, fase em que ele perde a maior parte da água livre, adquirindo assim maior resistência mecânica, tornando-se apto para o processo de cozimento (queima). Geralmente a temperatura máxima de secagem não pode exceder a 110°C.

5.3.1.1 – Tipos de Secadores

Na indústria cerâmica do Amapá são utilizados dois tipos de processos de secagem, o natural e o artificial. O primeiro procedimento é utilizado quando a empresa possui uma produção baixa. A secagem natural é utilizada por 89,65% das olarias no local, é feita em prateleiras de madeira que muitas vezes ficam curvadas, com o peso dos tijolos, ocasionando deformações na geometria das peças, sendo que durante o período da estação chuvosas a secagem é bem mais demorada e com uma queda de produção. A disposição das prateleiras não permite uma circulação de ar adequada (Figura 5.6), estas prateleiras são abrigadas em galpões sem paredes para circulação de ar (Figura 5.7).



Figura 5.6 – Prateleiras para secagem natural.



Figura 5.7 – Galpões que servem de abrigos para as prateleiras na secagem natural.

A secagem artificial pode ser feita através do insuflamento de ar quente no ambiente. Neste caso, tal qual na secagem natural, os produtos são empilhados sobre o piso ou em prateleiras, com a diferença que no ambiente é introduzido ar quente, em geral, recuperado dos fornos, obtendo-se assim uma secagem mais rápida, se comparada à secagem natural. Apenas 10,35% das empresas utilizam estufas (Figura 5.8). Esta tecnologia é realizada com aproveitamento do calor oriundo de fornos (Figura 5.9). Os gases quentes são extraídos dos fornos por meio de exaustores e introduzidos nas secadeiras, cujo aquecimento é controlado manualmente. As vantagens da secagem artificial sobre a natural são as seguintes: proporcionar

melhor controle do processo de secagem; independência racional do sistema; possibilidade de melhor programação da produção; perdas mínimas de produtos manufaturados.



Figura 5.8 – Secagem artificial de telhas.

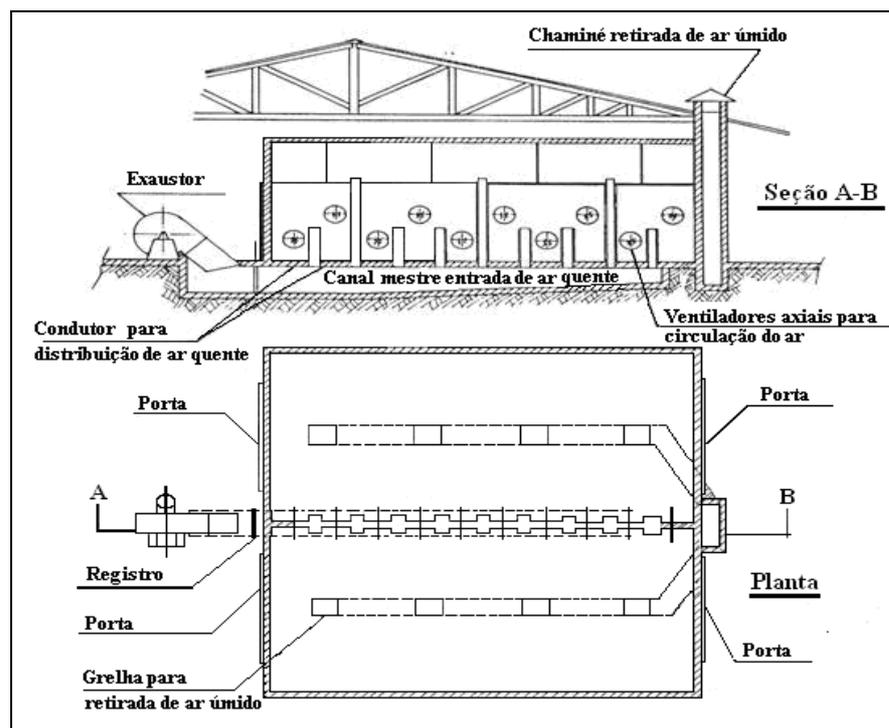


Figura 5.9 – Desenho esquemático de estufas artificiais.

5.3.2 – Queima

Na operação de queima, conhecida também por sinterização, os produtos adquirem suas propriedades finais, sendo de fundamental importância na fabricação dos produtos cerâmicos. Da eficiência desta etapa depende o desenvolvimento das propriedades finais destes produtos, as quais incluem seu brilho, cor, porosidade, estabilidade dimensional, resistência à flexão, a altas temperaturas, à água, ao ataque de agentes químicos, e outros (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA, 2004).

É imprescindível, o projeto e a instalação correta dos fornos, a fim de garantir uma combustão eficiente. Em função do tipo de produto, o ciclo de queima pode variar de alguns minutos até vários dias. Durante esse tratamento ocorre uma série de transformações em função dos componentes da massa, tais como: perda de massa, desenvolvimento de novas fases cristalinas, formação de fase vítrea e a soldagem dos grãos. Desta forma, em função do tratamento térmico e das características das diferentes matérias-primas, são obtidos produtos para as diversas aplicações. As reações provocadas nas várias etapas do ciclo de queima constituem a base das seguintes conversões físicas e químicas, desenvolvidas através das temperaturas que as amostras são submetidas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA, 2004):

- Até 100°C: eliminação da água livre não eliminada totalmente na secagem;
- Aproximadamente 200°C: elimina-se a água coloidal, que permanece intercalada entre as pequenas partículas de argila;
- De 350°C a 650°C: combustão das substâncias orgânicas contidas na argila;
- De 450°C a 650°C: decomposição da argila com liberação de vapor;
- Acima de 700°C: reações químicas da sílica com a alumina, formando silicoaluminatos complexos que dão ao corpo cerâmico suas características de dureza, estabilidade, resistência física e química;
- De 800°C a 950°C: carbonatos se decompõem e liberam CO₂;
- Acima de 1000°C: os silico-aluminatos que estão em forma vítrea começam amolecer, assimilando as partículas menores e menos fundentes, dando ao corpo maior dureza, compatibilidade e impermeabilidade.

De acordo com Roman (1993), a temperatura ideal de queima está entre 900°C e 1000°C. É necessário um controle rígido de aquecimento até atingir a temperatura máxima desejada para

evitar o aparecimento de defeitos ou inutilização do produto. Normalmente o tempo necessário é de 10-30 horas para o aquecimento (730°C a 870°C), 6-8 horas de temperatura máxima (900°C a 1000°C) e 6-25 horas para o resfriamento.

5.3.2.1 – Tipos de Fornos

Os modelos mais utilizados na região de estudo foram:

a) Fornos Tipo Caieira – Forno típico, tradicional construído de forma artesanal, bastante usado nas pequenas e médias empresas industriais. É de construção simples e aquecido a lenha. Sua eficiência de produção é muito baixa, aproximadamente 1/3 da produção é perdida, ocasionando em peças mal cozidas ou muito cozidas. O rendimento térmico é mínimo e o aquecimento inicial é muito demorado. As chamas não possuem percurso dirigido dentro do forno. A Figura 5.10 demonstra um exemplo de forno caieira local.



Figura 5.10 – Forno tipo caieira da Cerâmica União.

b) Fornos de Abóboda – São reversíveis com tiragem por baixo e chama invertida, as indústrias locais de grande porte utilizam este modelo de forno. São construídos com tijolos comuns e fornalhas ao longo de muros perimétricos. Os produtos da combustão sobem até a abóbada e pela regulagem da chaminé são aspirados passando através de uma “grelha” construída com tijolos, que formam o piso do forno. A desvantagem desse tipo de forno consiste no elevado consumo de combustível. A diferença de temperatura entre a parte inferior do forno e a abóboda pode atingir 200°C, por isso, são necessários cuidados no processo de tratamento térmico. O piso deve ser construído com aberturas e canais que permitem a passagem da umidade que se forma durante o período inicial da queima. No período final do tratamento térmico, necessita-se controlar o calor das camadas mais baixas para que não seja retirado rapidamente pela tiragem da chaminé antes de completar o período de aquecimento das peças e do processo das reações químicas. Sob o piso dos fornos é construído o crivo com tijolos comuns e canais subterrâneos que interligam o forno à chaminé e aos secadores. As chaminés são feitas em alvenaria, com altura que varia de 15 a 30 m. As figuras 5.11 (A e B) exemplificam este tipo de forno.



Figura 5.11 – Fornos de Abóboda: A) Imagem externa do forno, B) Imagem interna do forno de abóboda.

c) Forno Túnel – Apenas a cerâmica Amapá Telhas utiliza este tipo de forno. Construído na forma de um grande retângulo, formando uma longa galeria retilínea com altura e largura relativamente pequenas, e comprimento em torno de 140 metros. Com portas nas extremidades, os materiais crus são lentamente transportados por vagonetas sobre trilhos, impulsionado por um sistema propulsor, localizado na entrada do forno. Em intervalos regulares, introduz-se uma vagoneta com material queimado. A velocidade de queima é constante, exceto nos intervalos de entrada do material. A queima é feita na zona de pré-aquecimento e na zona de queima onde estão situadas a câmara de combustão e a zona de resfriamento.

Por meio de um exaustor, o produto da combustão é retirado através dos canais de tiragem que vão da zona de queima até, aproximadamente, três metros antes da entrada do forno. O funcionamento da tiragem é contrário ao sentido da marcha do forno. Ao longo dos canais, os gases vão esfriando. Figura 5.12 mostra vagoneta e entrada do forno de túnel.



Figura 5.12 – Vagoneta e entrada do forno de túnel.

5.3.3 – Produção Local

Os principais produtos de cerâmica vermelha fabricados no Amapá são tijolos para alvenaria, telhas tipo plan e colonial. A produção anual oleiro-cerâmica é dividida em: 53.070 milheiros de tijolos para alvenaria (6 furos) 88% da produção, telhas do tipo plan com 5.736 milheiros 10% e a colonial com 948 milheiros 2% (SETEC 2006). Devido à ausência de padronização dos produtos segundo as normas da ABNT a competitividade fica comprometida. Figura 5.13 apresenta um gráfico do percentual da produção de cerâmica local.

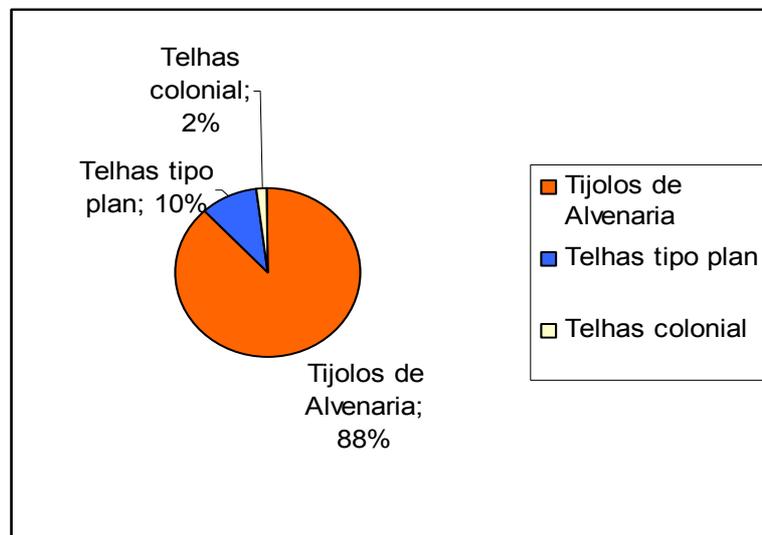


Figura 5.13 – Percentual de produção local adaptado de SETEC 2006.

6 – CONCLUSÕES

Os resultados obtidos por difração de raios-X demonstram que as cinco amostras estudadas possuem predominância dos minerais quartzo, caulinita e ilita, nos horizontes superiores, e em proporções menores esmectita, nas amostras Calandrini, Amapá Telhas, União e Fortaleza. O perfil Corte de Estrada apresentou predominância de quartzo e caulinita. Pode-se constatar a presença de óxido e hidróxido de ferro, que se associam a formação de goethita e hematita confirmada na análise química, e apresentam-se em maior proporção nas camadas superiores. A presença dos referidos minerais também pode ser confirmada através das análises térmicas (DTA/TG), espectroscopia na região do infravermelho (espectros FTIR) e composição química.

A análise granulométrica dos cinco perfis estudados mostra que quatro deles (Calandrini, Fortaleza, Amapá Telhas e União) possuem material síltico-argiloso concentrado na base e no topo há predomínio de silte, em contrapartida, no perfil Corte de Estrada as partículas predominantes são compostas de areia argilosa no topo e argila síltica na base.

Os ensaios tecnológicos das amostras, através das cores de queima indicam que elas podem ser utilizadas na indústria de cerâmica vermelha. Na retração linear, os corpos de provas pertencentes às cerâmicas Calandrini (01,02 e 03), União (01), Fortaleza (01), Corte de Estrada (01 e 02) não retraíram a 110°C. Enquanto as amostras União (02 e 03), Amapá Telhas (01 e 02), União (02, 03) e Fortaleza (02), apresentaram alterações significativas com relação à retração linear. Na temperatura de 950°C, novamente os materiais da cerâmica calandrini (01,02 e 03) não proporcionaram mudança nesta propriedade, já os restantes revelaram valores significativos. Houve um aumento de todos os valores de retração a 1050°C.

Com relação à tensão de ruptura a flexão (TRF), os corpos de provas apresentaram maior resistência com o aumento da temperatura. Absorção de água, porosidade aparente sofrem uma redução com o aumento da temperatura.

Os parâmetros de Atterberg demonstram que as amostras CA-01, CA-03, U-01, U-03, F-02 e CE-02 estão no campo de extrusão aceitável, enquanto a argila AT-02 localizou-se na área de extrusão ótima, entretanto, encontram-se fora dos campos de extrusão os materiais CA-02, U-02, F-01, AT-01 e CE-01.

Foram identificados três horizontes de sedimentos constituídos por silte de coloração amarelada, silte de coloração cinza-amarelado e silte-argiloso cinza-azulado. A segunda litologia foi observada em todos os locais amostrados. No perfil corte de estrada observaram-se dois tipos de materiais, o areno-argiloso de coloração laranja avermelhada e o sedimento argilo-siltoso de coloração vermelha.

As áreas exploradas pelas indústrias oleiro-cerâmicas possuem recursos finitos e não tem como sofrerem expansão, pois a lei estadual nº 455/99 que protege as áreas de “ressacas” não permite, porém uma possível alternativa poderia ser a utilização do Município de Mazagão, mas haveria a necessidade da realização de profundos estudos da mesma para avaliação de suas potencialidades para cerâmica vermelha.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABNT – NBR 6459, Solo - **Determinação do Limite de Liquidez**. Rio de Janeiro, 1984.

ABNT – NBR 7180, Solo- **Determinação do Limite de Plasticidade**. Rio de Janeiro, 1984.

AKOLEKAR, D.; CHAFFEE, A.; HOWE, R. F. **The transformation of kaolin to low-silica X zeolite, Zeolites**. Amsterdam, v.19, n.5.6, p. 359-365, 1999.

ALMEIDA, F. F. M. de; HASUI, Y. **O Pré-Cambriano do Brasil**. Editora Edgar Blücher. São Paulo, 1984. p. 1-5.

ARANTES, J. L. G.; DAMASCENO, B. C.; KREBS, A. S. J. **Projeto Argila – Belém**. MME. DNPM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Belém Pará, 1972

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. **Anuário Brasileiro de Cerâmica “ABCeram”** 2002. São Paulo: ABC, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. **Anuário Brasileiro de Cerâmica “ABCeram”** 2004. São Paulo: ABC, 2004.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. 5ª edição. Rio de Janeiro-RJ. LTC- Livros Técnicos e Científicos. Editora AS, 1994.935p.

BETINI, D. G. **Inovação de Tecnologia de Produtos de Cerâmica Vermelha com Uso de Chamote em São Miguel do Guamá**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto de Tecnologia - UFPA, Belém-PA, 2007, 110 p.

CAMPOS, L. F. A.; MACEDO R. S.; KIYOHARA P. K.; FERREIRA, H.C. **Características de Plasticidade de Argilas para Uso em Cerâmica Vermelha ou Estrutural**. Revista Cerâmica. Volume 45, n.295. São Paulo, ago./out. 1999.

CARNEIRO, B. S. **O Caulim Duro da Região do Rio Capim, Pará - Mineralogia, Geoquímica, e Avaliação das Propriedades Cerâmicas**. Dissertação de Mestrado, Centro de Geociência-UFPA Belém-PA, 2003. 85p.

COSTA, M. L. **Aspectos Geológicos dos Lateritos da Amazônia.** Revista Brasileira de Geociências. Volume 21 (2) 1991, pág.146-159.

DUTRA R. P. S.; PONTES L. R. A. **Obtenção e Análise de Cerâmicas porosas com a Incorporação de Produtos Orgânicos ao Corpo Cerâmico.** Revista Cerâmica, v.48, n.308. São Paulo, out./dez. 2002.

FLORES S. M. P. **Aproveitamento do Rejeito de Caulim na Produção de Alumina para Cerâmica e Sílica de Baixa Granulometria.** Tese de Doutorado, Centro de Geociências-UFPA, Belém-PA, 191 pág. 2000.

FUNTAC. **Diagnóstico das Indústrias de Rio Branco,** Rio Branco-AC, 1990. 53p.

GOMES, C. F. **Argilas o que São e para que Servem.** Lisboa: Fundação Cal Gulbenkian, 1988. 457p.

JORDÃO, M. A. P.; ZANDONADI, A. R. **Informações Técnicas do Anuário Brasileiro de Cerâmica.** Associação Brasileira de Cerâmica, São Paulo 2002. p 24-64.

LIMA, M.I.C. de; BEZERRA, P.E.L.; ARAÚJO, H.J.T. **Sistematização da geologia do Estado do Amapá.** Congresso Brasileiro de Geologia da Amazônia, V.3, Belém Anais da Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo Norte, 1991. 610 p.

MACKENZIE, R. C. 1970. **Differential Thermal Analysis.** Academ. Press. Inc. Voll.

MADEJOVA, J. **FTIR Techniques in Clay Mineral Studies.** Vibrational Spectroscopy, V.31, Slovak Republic 2003 1-10p.

MENEZES R.R.; FERREIRA; NEVES G.A.; FERREIRA E. C. **Caracterização de Argilas Plásticas do Tipo “ball clay” do Litoral Paraibano.** Revista Cerâmica, v. 49, n.311, São Paulo jul./set. 2003.

NORTON, F H. **Introdução à tecnologia cerâmica.** Edgard Blücher, São Paulo, Inc. 1973.324p.

MOTTA J. F. M.; ZANARDO A.; CABRAL Jr. M. **As Matérias-Primas Cerâmicas. Parte I: O Perfil das Principais Indústrias Cerâmicas e Seus Produtos.** Cerâmica Industrial V.6 n.2, São Paulo, março/abril 2001, p 28-39.

MOTTA J. F.M; ZANARDO A.; CABRAL Jr. M.; TANNO L.C.; CUCHIERATO G. **As Matérias-Primas Plásticas Para a Cerâmica Tradicional: Argilas e Caulins.** Cerâmica Industrial V.9 n.2, São Paulo, março/abril 2004, p 33-46.

MORGADO, A. F. **Caracterização cerâmica de algumas argilas e caulins de Santa Catarina.** Dissertação de Mestrado, São Paulo, 1993.

MOORE, D.M. E R.C. REYNOLDS JR. **X-Ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals.** Oxford University Press, New York, 1997, 378 p.

MURAT, M.; AMOKRANE, A.; BASTIDE, J. P.; MONTANARO, L. **Synthesis of zeolites from thermally activated kaolinite. Some observations on nucleation and growth.** Clay Minerals, vol. 27, p. 119-130, 1992.

PETRUCCI, E. G. R. **Materiais de Construção.** 4ª edição. Porto Alegre- RS. Editora Globo, 1979. 435p.

RADAM. **Levantamento de Recursos Naturais. Departamento da Produção Mineral,** Folha NA/NB 22 Macapá, V.6, Rio de Janeiro. 1974.

SANTOS, P. S. **Tecnologia de Argilas,** V.1, São Paulo, Edgar Blücher, 1989.

SANTOS, V. F. **Diagnóstico Sócio-ambiental Participativo do Setor Costeiro do Estado do Amapá.** Macapá-AP: MMA/GEA/IEPA, 2004.

SECTAM. **Diagnóstico do Setor Oleiro-Cerâmico do Estado do Pará,** Belém-PA, 2002. 88p.

SEICOM. **Setor Oleiro-Cerâmico do Estado do Amapá. Departamento de Recursos Minerais.** Macapá. Amapá. 1999.

SETEC. **Diagnóstico Socioeconômico e Tecnológico do Setor Oleiro-cerâmico do Estado do Amapá** – NGTC/CDT/SETEC Projeto Plataformas Tecnológicas para a Amazônia Legal, Macapá-AP, 2006, 94p.

SHREVE, R. N. & BRINK JR, J. A. **Indústria de Processos Químicos**. 4º Edição Rio de Janeiro-RJ, Editora Guanabara Koogan S.A, 1977, pág. 122 à 137.

SILVA J.B., SILVA M.P.F., CÂNDIDO T.A.V., SOUZA J., NASCIMENTO R.M., GOMES. **Caracterização e Estudo de Formulações de Massas para Cerâmica Vermelha de Argilas Provenientes do Município de Goianinha – RN**. PARTE II: Influência de Isotermas. In: 51º Congresso Brasileiro de Cerâmica, Salvador-BA, 2007.

SOUZA D.J.L. **Caracterização Geológica, Mineralógica, Química e Física do Caulim da Mina RCC-Rio Capim Caulim (PA)**, Dissertação de Mestrado, Centro de Geociências – UFPA, Belém-PA, 2000, 114 p.

SUGUIO, K. **Geologia do Quaternário e Mudanças Ambientais (Passado + Presente = Futuro?)**. Editora Paulo's Comunicações e Artes Gráficas. 366p. São Paulo, 1999.

TAVARES, S. T. de P.; CASTAÑEDA, C.; SOARES, A. C. P. **A Importância da Caracterização Química e Mineralógica do Feldspato para a sua Utilização na Indústria Cerâmica e Vidreira**. Cerâmica Industrial. Vol. 10, no. 04. Jul/Ago 2005.

TAKYAMA, L. R.; SILVA, A. Q. **Caracterização Sedimentológica e Variáveis Ambientais das áreas úmidas Costeiras das Bacias Hidrográficas do Igarapé da Fortaleza e do Rio Curiaú, Municípios de Santana e Macapá-AP**. Diagnóstico de Ressacas do Estado do Amapá: Bacias do Igarapé da Fortaleza e do Rio Curiaú, Macapá-AP:GEA/SETEC/IEPA pag.169-180, 2004.

VIEIRA, C.M.F.; HOLANDA J. N. F. de e PINATTI D. G. **Caracterização de massa cerâmica vermelha utilizada na fabricação de tijolos na região de Campos dos Goytacazes – RJ**. Revista Cerâmica, Vol.46, 2000.

VIEIRA, C. M. F.; MONTEIRO, S. N.; DUAIBI FH., J. **Considerações sobre o Uso da Granulometria como Parâmetro de Controle de uma Argila Sedimentar**. Cerâmica Industrial, vol. 10, no. 1. Jan./Fev. 2005.

ZANDONADI, A. R. & IOSHIMOTO, E. **Cerâmica Vermelha. Curso Internacional de Treinamento em Grupo em Tecnologia Cerâmica.** São Paulo: IPT/ JICA, 1991. 20 p.