

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA- PPGF
MESTRADO EM FÍSICA

KLEBER DANTAS GIRÃO

**ESTUDO SOBRE CONSTANTE DIELÉTRICA RELATIVA E MÓDULO DE
YOUNG DE CERÂMICA DO SISTEMA CAULIM - FELDSPATO SÓDICO -
QUARTZO**

Mossoró, RN

2012

KLEBER DANTAS GIRÃO

**ESTUDO SOBRE CONSTANTE DIELÉTRICA RELATIVA E MÓDULO DE
YOUNG DE CERÂMICA DO SISTEMA CAULIM - FELDSPATO SÓDICO -
QUARTZO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Física da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte / Universidade Federal Rural do Semi-Árido, como requisito parcial à obtenção do título de *Mestre em Física*.

ORIENTADOR: PROF. DR. MARCÍLIO NUNES FREIRE
CO-ORIENTADOR: PROF. DR. IDALMIR DE SOUZA QUEIROZ JÚNIOR

Mossoró, RN

2012

**Catálogo da Publicação na Fonte.
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte.**

Girão, Kleber Dantas

Estudo sobre constante dielétrica relativa e módulo de young de cerâmica do sistema caulim - feldspato sódico - quartzo. / Kleber Dantas Girão. – Mossoro, RN, 2012.

102 f.

Orientador(a): Prof. Dr. Marcílio Nunes Freire

Tese (Mestrado em Física) Universidade do Estado do Rio Grande do Norte. Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Programa de Pós-Graduação em Física.

1. Física - Tese. 2. Massas cerâmicas – Tese. 3. Propriedades mecânicas e elétricas - Tese. I. Freire, Marcílio Nunes II. Universidade do Estado do Rio Grande do Norte. III. Universidade Federal Rural do Semi-Árido.

UERN/BC

CDD 530

KLEBER DANTAS GIRÃO

**ESTUDO SOBRE CONSTANTE DIELÉTRICA RELATIVA E MÓDULO DE
YOUNG DE CERÂMICA DO SISTEMA CAULIM - FELDSPATO SÓDICO -
QUARTZO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Física da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte / Universidade Federal Rural do Semi-Árido, como requisito parcial à obtenção do título de *Mestre em Física* avaliada pela banca composta por:

Aprovado em 24 / 09 / 2012.

Banca Examinadora

Orientador

Dr. Marcílio Nunes Freire
Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA/UERN - PPgF

Co-orientador

Dr. Idalmir de Souza Queiroz Júnior
Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA/UERN - PPgF

Examinador Interno

Dr. José Alzamir Pereira da Costa
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte – UERN - PPgF

Examinador Externo

Dr. George Santos Marinho
Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN/PPGCEM - PPGEM

DEDICATÓRIA

À Deus, nosso criador.

À minha filha, Laís Martins Dantas Girão,
com todo amor.

Ao meu avô Aluísio Carneiro Girão, de quem
tenho muita saudade. (*In memoriam*)

A minha avó, tia e demais familiares.

Aos professores, alunos e funcionários da
Universidade do Estado do Rio Grande do
Norte – UERN, e a todos aqueles que ao
longo de minha vida me ajudaram de alguma
maneira.

AGRADECIMENTOS

- Primeiramente, a Deus, por ter me permitido a vida.
- À minha avó, Rita Irene Bandeira Girão, de quem sempre recebi compreensão e carinho.
- À minha tia, Adília Maria Bandeira Girão, por ter me dado a base necessária para eu seguir em frente.
- À minha esposa Jarine Moreira Brígido Roberto, por me apoiar em todas as minhas decisões.
- Ao meu orientador, Prof. Dr. Marcílio Nunes Freire, por sua participação e suas horas dedicadas para ajudar-me a desenvolver este trabalho.
- Ao meu co-orientador, Prof. Dr. Idalmir de Souza Queiroz Júnior, por sua ajuda e pela disponibilidade de sua sala para estudos.
- Aos membros da banca examinadora: Prof. Dr. José Alzamir Pereira da Costa e Prof. Dr. George Santos Marinho, pela contribuição nas observações sobre o presente trabalho.
- A todos os professores do Programa de Pós-graduação em Física da UERN que contribuíram para minha formação neste mestrado.
- Ao professor Dr. Rodrigo Nogueira de Codes pela ajuda no Laboratório de Ensaio Mecânicos da UFERSA.
- Ao colega Gregory Luid, técnico do laboratório de Energia da UFERSA pela ajuda no Laboratório de Medidas Elétricas e Eletricidade Básica.
- Aos companheiros Vladson Galdino, Júnior Holanda, Magno Costa, Euclides Saraiva, Ozivam Lopes e Raí Macedo, por terem me apoiado e ajudado durante a elaboração deste trabalho.
- A CAPES pelo apoio financeiro.
- A todos os meus amigos que acreditaram e me incentivaram.

“Não é pela força nem pelo teu poder
que tu triunfarás, mas pelo meu espírito,
diz o Senhor todo-Poderoso.”

(Zacarias 4,6)

RESUMO

No presente trabalho teve-se por objetivo principal desenvolver uma massa cerâmica via seca, com matérias-primas do RN, para medir suas propriedades mecânicas e elétricas, e analisar suas correlações. As matérias-primas usadas foram o caulim, o feldspato sódico e o quartzo, nas percentagens de 40, 40 e 20 %, como uma provável composição européia - CE e nas percentagens de 45, 25 e 30 %, como uma provável composição americana - CA. As massas cerâmicas foram caracterizadas por difração de raios-X. Em seguida, foram conformadas 30 amostras por prensagem uniaxial a uma pressão de 50 MPa, 15 para a composição denominada de européia e 15 para a denominada de americana; 5 amostras de cada composição foram sinterizadas nas temperaturas de 1.100 °C, 1.150 °C e 1.200 °C, com permanência de 3 h nas mesmas. Posterior a sinterização cinco corpos de prova de cada composição de partida foram rompidos sob compressão diametral (Ensaio Brasileiro), em máquina universal de ensaios, com velocidade de travessão de 2 mm/min, para determinação do módulo de Young. Outros cinco corpos de prova, também de cada composição de partida foram submetidos à medida de resistência elétrica e capacitância, para determinação da resistividade e constante dielétrica. Utilizou-se a difração de raios-X para determinar as fases formadas pós-sinterização responsáveis pelas propriedades determinadas. Os resultados mostraram que é possível estudar os comportamentos das propriedades mecânicas e elétricas em cerâmicas vítreas do sistema caulim, feldspato sódico e quartzo.

Palavras-chave: Massas cerâmicas. Propriedades mecânicas e elétricas. Correlação.

ABSTRACT

In the present work had as main objective to develop a ceramic dry, with raw materials from the newborns to measure their mechanical and electrical properties, and analyze their correlations. The raw materials used are kaolin, feldspar and quartz sodium, the percentages of 40, 40 and 20 %, as a probable composition european - CE and the percentages of 45, 25 and 30 %, as a probable composition american - CA. The ceramic bodies were characterized by X-ray diffraction. Then, they were conformed 30 samples by uniaxial pressing at a pressure of 50 MPa, 15 to the composition named European and 15 to called American, 5 samples of each composition were sintered at temperatures of 1.100 °C, 1.150 °C and 1.200 °C , with retention of 3 h in the same. Subsequent sintering five specimens of each composition were starting ruptured under diametral compression (Brazilian test) in universal testing machine with speed indent of 2 mm/min to determine the elastic modulus. Five other specimens, also each starting composition underwent measurements of resistance and capacitance, for determining the resistivity and dielectric constant. We used the X-ray diffraction to determine the phases formed after sintering responsible for the properties determined. The results showed that it is possible to study the behavior of mechanical and electrical properties in glass-ceramics system kaolin, sodium feldspar and quartz.

Keywords: Pasta ceramics. Mechanical and electrical properties. Correlation.

LISTA DE FIGURAS

3.1	Estrutura da caulinita.	24
3.2	Estrutura do quartzo- α e do quartzo- β .	26
3.3	Diagrama geral do sistema argila – feldspato – sílica no qual estão marcadas as regiões correspondentes as composições de diversos produtos de cerâmica.	28
3.4	Diagrama geral do sistema argila – feldspato – sílica para vários corpos cerâmicos triaxiais americanos.	28
3.5	Processos físico-químicos importantes para os materiais cerâmicos.	31
3.6	Representação gráfica da absorção de água e da retração linear de uma argila caulínica.	34
3.7	Tensões de tração uniformes devido à carga concentrada.	35
3.8	Curva tensão-deformação em regime elástico.	36
3.9	Representação de capacitores em diagramas.	39
3.10	Gráfico da constante dielétrica pela frequência. Onde: (a) sílica fundida a 100 °C; (b) sílica fundida a 400 °C; (c) AlSiMag A-35 a 150 °C; (d) porcelana de ZrO ₂ e (e) Al ₂ O ₃ .	41
3.11	Fator de dissipação <i>versus</i> temperatura, para uma porcelana eletrotécnica (A) e uma para altas frequências (B).	42
4.1	Fluxograma das etapas desenvolvidas.	43
4.2	Moinho de bolas.	45
4.3	Prensa hidráulica.	46
4.4	Máquina Universal de ensaio EMIC com uma amostra entre os pratos.	50
4.5	Montagem experimental para medição da resistência e da capacitância.	53
4.6	Valores de fatores para o cálculo da incerteza.	54
5.1	Curvas de sinterização das amostras para as temperaturas máximas de 1.100 °C, 1.150 °C e 1.200 °C.	55
5.2	Difração do caulim seco a 110 °C.	56
5.3	Difração do feldspato sódico seco a 110°C.	57
5.4	Difração do quartzo seco a 110°C.	57

5.5	Identificação das fases, da amostra de composição americana e a 1.150 °C.	58
5.6	Difração de raios-X, sinterizadas a 1.100 °C, das amostras: (a) composição européia-CE e, (b) composição americana-CA.	59
5.7	Difração de raios-X, sinterizadas a 1.150 °C, das amostras: (a) composição européia-CE e, (b) composição americana-CA.	60
5.8	Difração de raios-X, sinterizadas a 1.200 °C, das amostras: (a) composição européia-CE e, (b) composição americana-CA.	61
5.9	Gráfico da absorção de água <i>versus</i> temperatura para a composição européia e americana.	65
5.10	Gráfico da retração linear <i>versus</i> temperatura para a composição européia e americana.	67
5.11	Diagrama de gresificação da composição européia.	68
5.12	Diagrama de gresificação da composição americana.	68
5.13	Curvas tensão-deformação para as amostras da composição européia.	70
5.14	Curvas tensão-deformação para as amostras da composição americana.	71
5.15	Gráfico da composição européia e americana para o módulo de Young <i>versus</i> temperatura.	73
5.16	Gráfico da composição européia e americana para a resistividade <i>versus</i> temperatura.	75
5.17	Gráfico da constante dielétrica (k) <i>versus</i> a temperatura e resistividade (ρ) <i>versus</i> a temperatura para amostras na composição européia.	78
5.18	Gráfico da constante dielétrica (k) <i>versus</i> a temperatura e resistividade (ρ) <i>versus</i> a temperatura para amostras na composição americana.	78
5.19	Gráfico da composição européia e americana para a constante dielétrica <i>versus</i> temperatura.	79
5.20	Gráfico da constante dielétrica <i>versus</i> frequência para a composição européia e americana.	80
5.21	Gráfico da constante dielétrica <i>versus</i> temperatura e módulo de Young <i>versus</i> temperatura, para a composição européia e americana.	81
5.22	Gráficos da constante dielétrica <i>versus</i> módulo de Young, para a composição européia e americana.	82
5.23	Gráficos da constante dielétrica <i>versus</i> temperatura e módulo de Young <i>versus</i> temperatura, para a composição européia e americana.	84

5.24 Gráfico com detalhes típicos dos difratogramas das amostras E25 e A25 para $15^\circ \leq 2\theta \leq 35^\circ$.

85

LISTA DE TABELAS

3.1	Classificação de materiais isolantes cerâmicos conforme suas fases cristalinas	23
3.2	Valores típicos para um bom isolador elétrico	29
3.3	Isolantes elétricos de alguns materiais	29
3.4	Características médias de porcelanas para capacitores	30
3.5	Histórico das reações que ocorrem com a temperatura no processo de sinterização de uma massa cerâmica triaxial	31
3.6	Módulo de Young para alguns materiais cerâmicos	36
3.7	Constante dielétrica para alguns materiais	41
4.1	Características das matérias-primas cedidas pela ARMIL	44
4.2	Percentagens dos constituintes das massas cerâmicas utilizadas	45
4.3	Valores de máximo e mínimo	53
5.1	Redução de massa para amostras da composição européia – CE	62
5.2	Redução de massa para amostras da composição americana – CA	63
5.3	Absorção de água das amostras da composição européia – CE	64
5.4	Absorção de água das amostras da composição americana – CA	65
5.5	Retração linear das amostras da composição européia – CE	66
5.6	Retração linear das amostras da composição americana – CA	66
5.7	Módulo de Young das massas de composição européia – CE	72
5.8	Módulo de Young das massas de composição americana – CA	72
5.9	Resistividade das amostras na composição européia – CE	74
5.10	Resistividade das amostras na composição americana – CA	74
5.11	Valores de constante dielétrica (k) e incerteza (C) para a composição européia	76
5.12	Valores de constante dielétrica (k) e incerteza (C) para a composição americana	77

LISTA DE SÍMBOLOS

ρ – Resistividade elétrica, ($\Omega \times m$).

k – Constante dielétrica ou permissividade elétrica relativa.

ϵ_0 – permissividade elétrica absoluta do vácuo, (F/m).

$\text{tg } \delta$ – Fator de perdas ou tangente de perdas.

n – número inteiro de comprimentos de onda;

λ – comprimento de onda do raio-X.

RL – retração linear, (%).

D – densidade, (g/cm^3)

AA – absorção de água, (%).

σ – tensão normal média, (N/m^2).

P – força normal, (N).

C – capacitância, (F).

CE – composição européia.

CA – composição americana.

RM – redução de massa, (%).

σ_{xx} – tensão de tração uniforme na direção-x, (N/m^2).

F – intensidade de força (N).

R – raio do cilindro, (mm).

h – espessura, (mm).

E – módulo de Young, (MPa).

ϵ – deformação (mm/mm).

R – somatório de resistores em série, (Ω).

R_{eq} – resistência dada pela ponte LCR, (Ω).

R_x – resistência das amostras, (Ω).

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO	18
2 – OBJETIVOS	20
2.1 – Geral.....	20
2.2 – Específicos	20
3 – FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA	21
3.1 – Materiais cerâmicos	21
3.2 – Definições da cerâmica	21
3.3 – Propriedades da cerâmica	22
3.4 – Constituintes da cerâmica	24
3.4.1 – Caulim.....	24
3.4.2 – Quartzos.....	25
3.4.3 – Feldspato sódico.....	27
3.5 – Formulação da massa cerâmica	27
3.6 – Porcelana.....	28
3.7 – Sinterização.....	30
3.8 – Caracterização mineralógica	32
3.9 – Caracterização física	32
3.9.1 – Redução de massa (RM)	32
3.9.2 – Retração linear (RL).....	32

3.9.3 – Densidade (D)	33
3.9.4 – Absorção d'água (AA)	33
3.9.5 – Curvas de gresificação	33
3.10 – Caracterização mecânica.....	34
3.10.1 – Tensão normal média	34
3.10.2 – Ensaio de tração por compressão diametral.....	34
3.10.3 – Diagrama tensão-deformação.....	35
3.10.4 – Módulo de Young (E)	35
3.11 – Caracterização elétrica	37
3.11.1 – Resistividade (ρ).....	37
3.11.2 – Capacitância (C).....	37
3.11.3 – Capacitância em capacitor plano.....	38
3.11.4 – Capacitor	39
3.11.5 – Dielétrico.....	40
3.11.6 – Constante dielétrica (k)	40
3.11.7 – Fator de dissipação ($\text{tg } \delta$)	41
4 – MATERIAIS E PROCEDIMENTOS.....	43
4.1 – Procedimentos.....	44
4.2 – Secagem	44
4.3 – Mistura e homogeneização	44
4.4 – Sinterização dos corpos cerâmicos	46

4.5 – Caracterização mineralógica	47
4.5.1 – Difractometria de raios-X	47
4.6 – Caracterização física	48
4.6.1 – Redução de massa (RM)	48
4.6.2 – Retração linear (RL).....	48
4.6.3 – Densidade (D)	49
4.6.4 – Absorção d'água (AA)	49
4.7 – Caracterização mecânica.....	50
4.7.1 – Compressão diametral.....	50
4.7.2 – Módulo de Young (E)	51
4.8 – Caracterização elétrica	52
4.8.1 – Resistividade (ρ).....	52
4.8.2 – Capacitância (C).....	52
5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
5.1 – Sinterização das massas cerâmicas	55
5.2 – Caracterização mineralógica	56
5.2.1 – Difração de raios-X das matérias-primas e composições	56
5.3 – Caracterização física	62
5.3.1 – Redução de massa (RM)	62
5.3.2 – Absorção d'água (AA)	64
5.3.3 – Retração linear (RL).....	65

5.3.4 – Diagramas de gresificação	68
5.4 – Caracterização mecânica.....	70
5.4.1 – Curvas tensão-deformação	70
5.4.2 – Módulo de Young (E)	72
5.5 – Caracterização elétrica	74
5.5.1 – Resistividade (ρ).....	74
5.5.2 – Constante dielétrica (k)	76
6 – CONCLUSÕES	86
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88
ANEXOS	92
ANEXO I – Medidas (diâmetro, altura e massa) antes da sinterização	93
ANEXO II – Medidas (diâmetro, altura e massa) depois da sinterização	95
ANEXO III – Medidas (diâmetro, altura e massa) após imersão em água	97
ANEXO IV – Medidas (diâmetro, altura e massa) secas, após imersão em água	99
ANEXO V – Valores de resistência lidas na Ponte LCR	101
ANEXO VI – Valores de capacitância (C) e fator de perdas ($\text{tg } \delta$), para as composições européia (CE) e americana (CA), nas frequências de 100 Hz, 1 kHz e 10 kHz.	102

1. INTRODUÇÃO

Os materiais dielétricos são importantes e essenciais em todo e qualquer sistema elétrico e, dentre os principais podemos destacar as cerâmicas com estrutura de porcelana, formadas por materiais metálicos e não-metálicos [1].

As características, a composição das matérias-primas e o modo de processamento da cerâmica influenciam nas propriedades físicas finais das cerâmicas, por isso é importante o uso de certas propriedades tecnológicas para controle do processo e da qualidade desse produto, como a escolha das matérias-primas, sua composição etc., com o objetivo de diminuir principalmente os custos da produção [2].

As cerâmicas, cuja estrutura após sinterização em altas temperaturas apresentam-se inteiras ou parcialmente cristalizadas, isto é, os átomos de suas estruturas ficam arranjados de forma simétrica e repetidos, de tal modo que parecem pequenos cristais juntos. As principais fases cristalinas de uma porcelana são o quartzo e a mulita, que conferem aos materiais cerâmicos propriedades físicas como: resistência ao ataque de produtos químicos, resistência mecânica e dureza; possuindo assim ampla aplicabilidade como: isolantes elétricos e na indústria mecânica [3].

As vantagens do uso dos produtos cerâmicos são: durabilidade, versatilidade, fácil limpeza, alta compatibilidade, não propagação de chamas e, principalmente, o de possuir muita disponibilidade [4].

Há diversos tipos de cerâmicas, mas no caso dos dielétricos, a matéria-prima é à base de silicato, que inclui os materiais argilosos. Nas cerâmicas as matérias-primas basicamente usadas são: as argilas, o feldspato e o quartzo. A mudança da quantidade em qualquer uma dessas matérias-primas altera as propriedades da cerâmica [3].

Nos produtos cerâmicos, a porosidade tanto aberta como também a fechada é importante, depende de qual será sua aplicação, a primeira é usada na fabricação de filtros enquanto que a segunda é adequada como materiais isolantes [3].

As cerâmicas dielétricas possuem importantes vantagens em termos de massa, estabilidade térmica e baixo custo de produção em dispositivos eletrônicos, quando comparadas aos polímeros, por exemplo, que degradam com a temperatura e a radiação.

Um parâmetro fundamental na Engenharia dos Materiais é o módulo de Young, pois fornece a rigidez mecânica da cerâmica. Da mesma forma, a rigidez dielétrica

estabelece fisicamente como uma cerâmica, no presente caso, se comporta como barreira de potencial elétrico. Sendo assim, uma correlação entre a rigidez mecânica e a rigidez elétrica pode levar a inferir qualitativamente, de forma comparativa, sobre a magnitude dessas propriedades entre cerâmicas de espécies diferentes.

Como matérias-primas usou-se, no presente trabalho, o sistema triaxial: caulim, feldspato sódico e quartzo, todos do estado do Rio Grande do Norte, que possui esses materiais em abundância e de boa qualidade. As matérias-primas foram cedidas pela empresa ARMIL MINERAÇÃO DO NORDESTE LTDA, situada na cidade de Parelhas.

2. OBJETIVOS

2.1 – GERAL

No presente trabalho teve-se como principal objetivo investigar o comportamento das propriedades mecânicas e elétricas, qualitativamente e quantitativamente, em função da temperatura de sinterização, sobre composições de massas cerâmicas desenvolvidas com matérias-primas do estado do Rio Grande do Norte.

2.2 ESPECÍFICOS

- i. Processar via seca a composição de partida das massas cerâmicas para reduzir o consumo de energia e reduzir o tempo de processamento do corpo cerâmico com a eliminação da etapa de secagem;
- ii. Analisar a sinterização do sistema triaxial através da absorção d'água (porosidade aberta), da retração linear, do módulo de Young e difrações de raios-X;
- iii. Investigar a sensibilidade das variações nas propriedades mensuradas entre as diferentes composições e, numa mesma composição em diferentes temperaturas.
- iv. Analisar a influência das fases mineralógicas formadas, após sinterização, e identificadas por difração de raios-X nas propriedades mensuradas.
- v. Comparação entre a rigidez mecânica e a rigidez elétrica para a composição européia e para a composição americana.
- vi. Estabelecer correlações matemáticas entre propriedades mecânicas e elétricas para a composição européia e para a composição americana.

3. FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA

O uso das cerâmicas vem muito antes de Cristo, em virtude da matéria prima, barro, e sua fácil manipulação, que ao longo do tempo veio cada vez mais sendo usada e aplicada das diversas formas como na construção civil, na indústria, no comércio etc. principalmente após tratamento térmico. É sabido que os chineses, desde o século VII, já trabalhavam e fabricavam a porcelana, e que os ingleses no século seguinte a desenvolveram até se chegar à louça branca [5].

Sabe-se que os estudos da cerâmica evoluíram de tal forma que a mesma é também usada no meio eletroeletrônico como dielétricos [5].

3.1 – Materiais cerâmicos

É uma constituição de elementos metálicos e não-metálicos, dependendo da organização desses elementos em sua estrutura, pode-se ter muitas possibilidades diferentes para sua aplicação. Pode-se classificar os produtos cerâmicos como: porcelanas, telhas, azulejos, pisos, vidros e louças. Dentre as várias propriedades dos materiais cerâmicos têm-se os principais como: alta resistência ao cisalhamento, baixa condutividade elétrica, não dúctil, alta resistência a compressão [6, 7].

3.2 – Definições da cerâmica

Denomina-se de cerâmica a todo produto criado por meio de moldagem, secagem e cozedura de argilas ou de materiais que possuem argilas [5].

As argilas são materiais retirados na natureza, formadas por partículas cristalinas pequenas e constituídas de minerais diferentes, como óxidos de: alumínio, ferro, magnésio, cálcio; e matéria orgânica, daí o nome de argilo-minerais, que quando adicionados de água apresentam propriedades plástica [5].

Os argilo-minerais são uma mistura de substâncias, como as citadas anteriormente, que tem origem nas rochas ígneas como o feldspato, e que sofreram ao longo do tempo intemperismo físico e químico, e que vão se depositando na natureza, podendo numa mesma jazida apresentar características muito diferentes, daí a

importância de se estudar, caracterizando as mesmas para sua implementação na engenharia [5].

Para se entender melhor, as cerâmicas foram classificadas como:

1. Amorfos: grupo das alofanas.
2. Cristalinos:
 - a) De duas camadas:
 - equidimensional: grupo da caulinita;
 - alongada: grupo da haloisita;
 - b) De três camadas:
 - Rede expansiva:
 - equidimensional: grupos de mostomorilonita e da vermiculita;
 - alongada: grupos da sapolita e da montronita.
 - Rede não expansiva: grupo da illita.
 - c) De camadas mistas regulares: grupo da clorita;
 - d) Estruturas em cadeia: grupos da atapulgita, da sepiolita e da paligorsquita [5].

3.3 – Propriedades da cerâmica

As propriedades das cerâmicas dependem de fatores que vão desde sua constituição, sua moldagem, seu cozimento, sua secagem até seu esfriamento final [5].

Já foi demonstrado experimentalmente que as cerâmicas mais resistentes ao desgaste são aquelas que são mais homogêneas, que sofreram tratamento térmico adequado e quanto mais fase vítrea de formou. Na moldagem, quanto menos água usar melhor, pois a cerâmica aumentará sua resistência mecânica, devido a uma maior quantidade de partículas menores que não foram removidas pela água, assim a argila se fundirá melhor, formando mais fase vítrea [5].

Quanto a suas propriedades mecânicas, em muitos aspectos são inferiores as dos metais, mas sua principal desvantagem é uma disposição a se fraturar com pouca absorção de energia [7].

A relação feldspato/quartzo influencia nas propriedades mecânicas e elétricas das cerâmicas, pois quando seu valor é de 0,85, as cerâmicas apresentam melhores resultados quanto a essas propriedades [8].

A identificação da mulita nas fases cristalinas é importante, devido sua importância para a resistência mecânica da porcelana, e é sabido que à medida que a temperatura sobe implica em um crescimento da mulita [3, 9].

A seguir é apresentada na Tabela 3.1 a classificação de materiais isolantes cerâmicos segundo suas fases cristalinas.

Tabela 3.1 – Classificação de materiais isolantes cerâmicos conforme suas fases cristalinas [10].

Nomes	Componentes principais	Composição química	Principais características
Porcelana de isoladores	Argila Caulim Quartzo Feldspato	3 Al ₂ O ₃ 2 SiO ₂	Pequeno coeficiente linear de dilatação
Porcelana de alta frequência	Argila Caulim Bário	3 Al ₂ O ₃ 2 SiO ₂ BaOAl ₂ O ₃ . . 2 SiO ₂	Pequeno coeficiente de dilatação e baixas perdas dielétricas
Ultraporcelana	Argila Caulim	3 Al ₂ O ₃ 2 SiO ₂	Elevada resistência mecânica Baixas perdas dielétricas.
Esteatite	Talco Argila Magnesita	MgO . SiO ₂ e 2 MgO . SiO ₂ e 2 MgO.2Al ₂ O ₃ . . 5 SiO ₂	Elevada resistência mecânica Baixas perdas dielétricas Baixo coeficiente de dilatação
Titanatos	Dióxido de Titânio	TiO ₂	Elevada constante dielétrica Coeficiente de temperatura negativo
	Dióxido de Titânio e Calcita	CaTiO ₃	Elevada constante dielétrica Coeficiente de temperatura negativo
	Titanato de zircônio	TiO ₂ . ZrO ₂	Coeficiente de temperatura praticamente igual a zero
	Titanato de bário	BaO . 4TiO ₂ e BaO . 5TiO ₂	Coeficiente de temperatura praticamente igual a zero
	Titanato de magnésio	Mg TiO ₃	Coeficiente de temperatura positivo próximo a zero

Para aumentar significativamente a resistência mecânica em isoladores cerâmicos substitui-se o quartzo pela alumina, devido a esta possuir maior módulo de Young do que o quartzo [8].

Segundo [11] o módulo de Young máximo de uma porcelana com alto teor de quartzo em sua composição é de 130 MPa, enquanto que para [12] esse valor é de 371 MPa, substituído o quartzo por alumina. Vale ressaltar que, para diferentes autores o módulo de Young varia muito dentre os mesmos [8].

As cerâmicas em temperatura ambiente quase sempre se fraturam antes que qualquer deformação plástica possa ocorrer quando lhe for imposta uma carga de tração [7].

Para se entender melhor esse processo, temos a seguinte explicação:

O processo de fratura frágil consiste da formação e propagação de trincas através da seção reta de material numa direção perpendicular à carga aplicada. Crescimento de trinca em cerâmicas cristalinas é usualmente através dos grãos (isto é, transgranular) e ao longo de planos cristalográficos (ou de clivagem) específicos, planos de alta densidade atômica [7].

3.4 – Constituintes da cerâmica

Dentre os diversos constituintes da cerâmica, destaca-se no presente trabalho uma fundamentação sobre o caulim, o quartzo e o feldspato sódico.

3.4.1 – Caulim

Caulim é uma palavra de origem chinesa, com significado colina-elevada de kao-liang, é uma forma mais pura de argila, basicamente constituída de caulinita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), pó branco, que é um filossilicato, do sub-grupo dos argilo-minerais, mas que ainda pode possuir pequenas quantidades de outros materiais como: areia, óxido de ferro etc. e que é a matéria-prima das porcelanas [5].

A utilização do caulim na composição da porcelana é para dar mais plasticidade. O tamanho de seu cristal primário é muito maior que o da argila, e muito menor que o do feldspato e do quartzo, mas com o aumento de sua percentagem na cerâmica causa alguns problemas de compactação e conseqüentemente diminuição de sua resistência mecânica [13].

A estrutura da caulinita é apresentada na Figura 3.1.

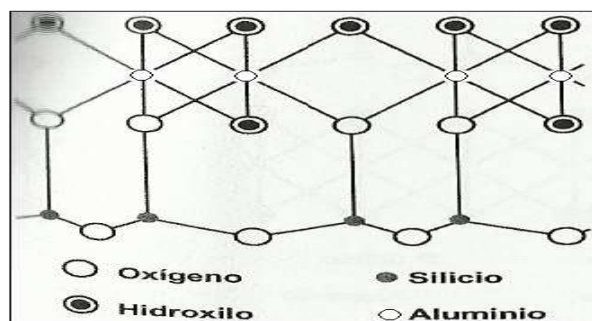


Figura 3.1 - Estrutura da caulinita [7].

Formada por silicatos hidratados de alumínio, como a caulinita, seu principal constituinte, e a haloisita, se funde perto de 1800 °C, sua composição química é usualmente composta por óxidos dos vários elementos, embora presentes em forma mais complicada e às vezes desconhecida.

Dentre algumas de suas propriedades físicas temos;

- a) GRANULOMETRIA – mais grosseira que as demais argilas (menos que 0,2 microns);
- b) DENSIDADE REAL – 2,6 g/cm³ ;
- c) PONTO DE FUSÃO – entre 1.650 a 1.775°C;
- d) RESISTÊNCIA MECÂNICA – mais baixa das demais argilas;
- e) PLASTICIDADE – menos plástico que as demais argilas.

Segundo [14] o caulim possui um largo campo de aplicações industriais, com relação as suas características tecnológicas, devido a:

- a) baixa condutividade térmica e elétrica.
- b) branco ou quase branco (alvura),
- c) quimicamente inerte,
- d) macio e não abrasivo,
- e) reforçador para as aplicações de carga,
- f) capacidade de cobertura quando usado como pigmento.

3.4.2 – Quartzo

Seu nome é de origem incerta, mas acredita-se que vem da palavra alemã "quarz", que por sua vez já é decorrente de origem eslava. Pertence a família dos tectossilicatos e apresenta fórmula química SiO₂ (Óxido de silício), na composição de Si = 46,7 %, O = 53,3 %; normalmente é quase puro.

A estrutura do quartzo- α e do quartzo- β estão representadas na Figura 3.2.

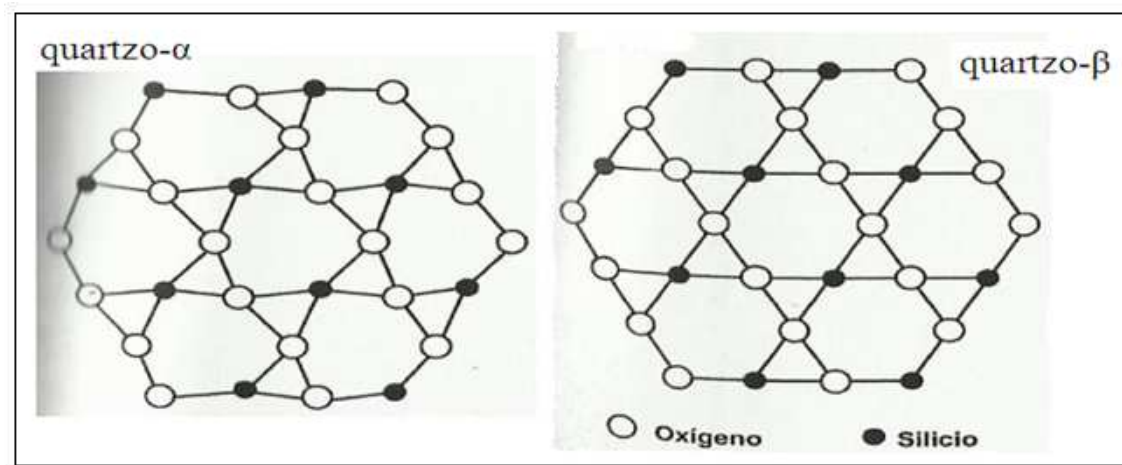


Figura 3.2 - Estrutura do quartzo- α e do quartzo- β [15].

O quartzo é responsável pelo esqueleto da peça de porcelana, na secagem diminui a retração evitando o trincamento da porcelana e, portanto, fazendo com que a mesma não se deforme [8]. Pode ser de origem metamórfica ou sedimentar e geralmente estão associados aos feldspatos e às micas, sendo constituído por granito, arenito e calcário. Podendo também apresentar-se em camadas (ametista).

Dentre as principais características do quartzo, é o segundo mais abundante mineral da Terra, seguindo-se pelos feldspatos, sua estrutura cristalina é trigonal e composta por tetraedros de sílica (dióxido de silício, SiO_2), pertence ao grupo dos tectosilicatos, tem dureza 7 na escala de Mohs, pode ter diversas cores (alocromático), seu peso específico é de $2,65 \text{ g/cm}^3$, sem clivagem e apresenta fratura conchoidal (quebradiço).

Segundo [16] seu emprego nos mais diversificados ramos industriais é diretamente dependente de suas impurezas, defeitos e outras especificações.

Assim, os quartzos menos puros são aplicados nas indústrias de vidro (vidros planos, vasilhames, vidraria especial e vidraria geral) e nas siderúrgicas (aços especiais, ligas especiais) [16].

Dentre seus muitos empregos pode-se citar que: na forma de pó, usam-no na porcelana; na construção civil, como areia, é bastante empregado na argamassa e no concreto e na forma de quartizito e arenito, é usada como pedra de construção e na pavimentação; é usado em equipamentos ópticos, por causa de sua transparência quando

do espectro tanto infravermelho como ultravioleta; na confecção de jóias e bijuterias baratas, em objetos ornamentais, em pequenas esculturas.

3.4.3 – Feldspato sódico

O feldspato sódico ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$) também, como o quartzo, à família dos tectossilicatos. São conhecidos por materiais fundentes, pois tem a função de diminuir a temperatura de formação de fase líquida durante a etapa de sinterização e, quimicamente tem fórmula $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ (Albita).

Sua função na porcelana é a de fundente, ajudando na fase líquida da sinterização [8].

No presente trabalho considerou-se o feldspato sódico, mas é sabido que o feldspato potássico é o fundente mais usado nas porcelanas, pois na sua fusão, o líquido gerado é mais viscoso que o do feldspato sódico [13].

É o material responsável pela diminuição da porosidade das peças cerâmicas, principalmente, para produtos de grés e grés porcelanato, abaixando os índices de absorção de água, e conseqüentemente aumentando os valores de resistência mecânica (carga de ruptura) dos revestimentos cerâmicos.

Em corpos com percentagens maiores de sódio que potássio, a fase vítrea se apresenta a temperaturas mais baixas.

3.5 – Formulação da massa cerâmica

Na formulação da massa cerâmica é preciso ter cuidado com as percentagens a ser usada de cada constituinte, isso vai depender das propriedades finais desejadas para o produto, como as fases requeridas.

A região da composição das matérias-primas da porcelana elétrica européia e americana estão ilustradas, respectivamente, nas Figuras 3.3 e 3.4.

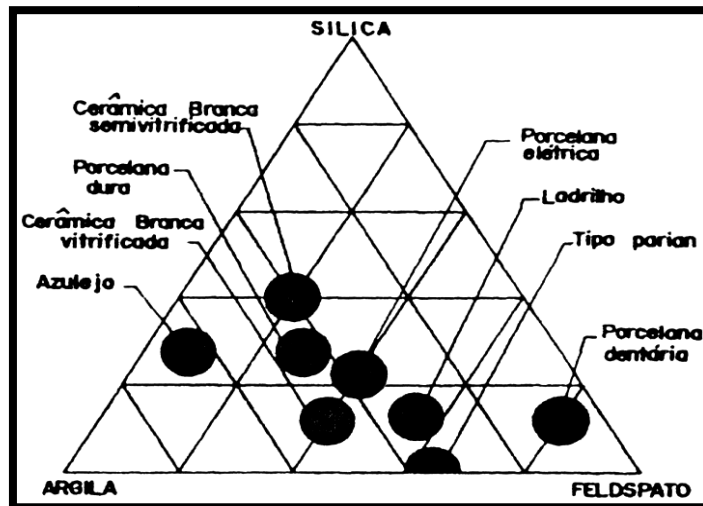


Figura 3.3 – Diagrama geral do sistema argila – feldspato – sílica no qual estão marcadas as regiões correspondentes as composições de diversos produtos de cerâmica [17].

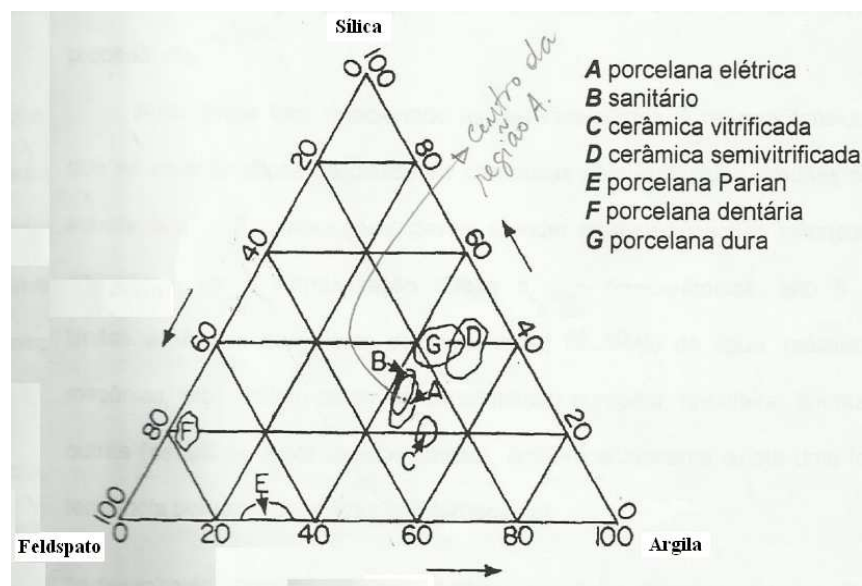


Figura 3.4 – Diagrama geral do sistema argila – feldspato – sílica para vários corpos cerâmicos triaxiais americanos [18].

3.6 – Porcelana

É a mais complexa das cerâmicas, sendo bons isolantes elétricos, assim possuem vasta aplicação na indústria eletro-eletrônica. As porcelanas compostas por caulim, quartzo e feldspato são mais usadas como isoladores elétricos [8].

É sabido que a substituição do quartzo por alumina confere à porcelana maior resistência mecânica e, dessa forma, essas porcelanas são mais usadas como isoladores elétricos de alta tensão. Mas em contrapartida, com a troca do quartzo por alumina eleva a temperatura de sinterização, logo aumenta o custo da porcelana [8].

Para confecção de porcelanas para isoladores de baixa tensão, a composição da argila deve ser entorno de 40 a 60 % de caulim, 20 a 35 % de feldspato e 20 a 30 % de quartzo e sinterizadas entre 1250 °C e 1330 °C e apresentam constante dielétrica entre 5,5 e 7 [8]. Abaixo, na Tabela 3.2, são apresentados valores típicos de um bom isolador elétrico [8].

Tabela 3.2 – Valores típicos para um bom isolador elétrico [8].

Constante dielétrica (k)	≤ 30
Resistividade elétrica (ρ)	$\geq 10^{14}$ ($\Omega \times \text{cm}$)
Fator dissipação ($\text{tg } \delta$)	$\leq 0,001$

A seguir, na Tabela 3.3 são apresentados valores de constante elétrica e resistividade elétrica de alguns materiais que são isolantes elétricos.

Tabela 3.3 – Isolantes elétricos de alguns materiais [19].

MATERIAL	k	ρ ($\Omega \times \text{cm}$)
Porcelana eletrotécnica	6,5	3×10^{14}
Ultraporcelana	6,3 – 7,5	3×10^{14}
Vidro	4 - 10	$10^{11} - 10^{14}$

Segue, conforme Tabela 3.4, valores médios de porcelanas aplicadas como capacitores.

Tabela 3.4 – Características médias de porcelanas para capacitores [10].

Propriedades		Grupo I	Grupo II	Grupo III
Características gerais		Elevada constante dielétrica (k) Elevado coeficiente de temperatura negativo	Baixo coeficiente de temperatura de k	Elevado valor de k
Área de utilização		Microcapacitores, capacitores de compensação, para circuitos, bloqueio, trimmer, de alta tensão e de divisores de tensão	Capacitores de pequena potência	Mini e microcapacitores
Constante dielétrica (k)		50 – 160	12 – 25	1000 – 10000
Resistividade transversal (Ω x cm)	a 100 °C	10^{12} a 10^{13}	10^{13} a 5×10^{13}	10^{11}
	a 300 °C	10^9 a 10^{10}	10^{10} a 10^{11}	5×10^7
Peso específico (g/cm ³)		3,8 a 4	2,9 a 4	5
tg δ em alta freqüência	a 20 °C	0,5 a 2	1 a 4	20 – 70
	a 100 °C	1 a 4	2 a 6	–

3.7 – Sinterização

Após a prensagem dos corpos de prova segue-se a etapa de sinterização. Durante essa sinterização a peça conformada se contrai e experimenta uma redução de porosidade, e conseqüentemente ganho de resistência mecânica [7].

Os principais processos físico-químicos aplicados aos materiais cerâmicos devido à sinterização dos mesmos estão expostos pela Figura 3.5 [15].

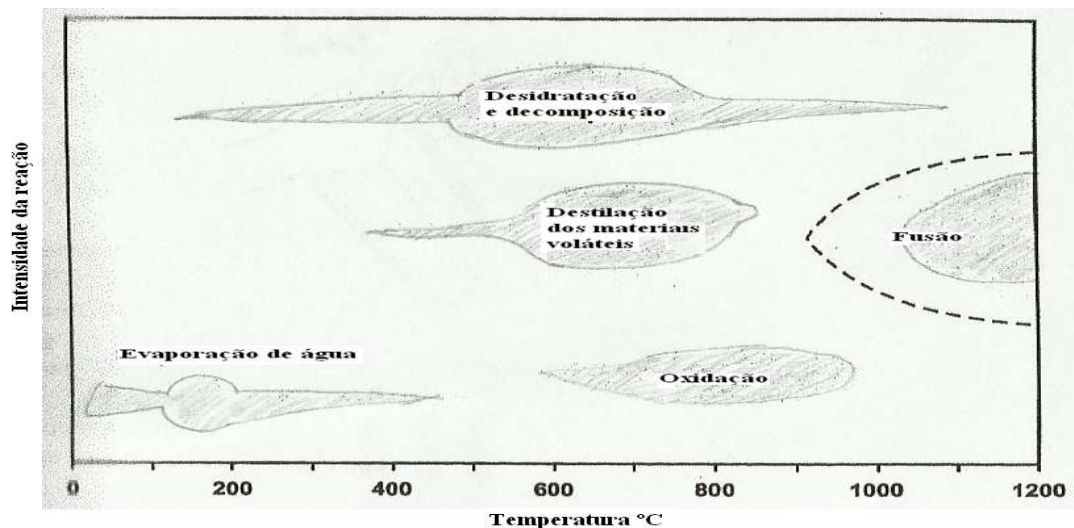


Figura 3.5 – Processos físico-químicos importantes para os materiais cerâmicos [15].

Nesse processo a porcelana passa por muitas reações químicas, devido à temperatura e o tempo que permanecem no forno.

Abaixo, na Tabela 3.5, apresenta-se as principais reações que ocorrem durante a sinterização para uma porcelana.

Tabela 3.5 – Histórico das reações que ocorrem com a temperatura no processo de sinterização de uma massa cerâmica triaxial [15].

Temperatura (°C)	Reações
Acima de 100	Perda da umidade.
100–200	Remoção da água adsorvida
450	Desidroxilação.
≈ 550	Transformação da caulinita em metacaulinita
573	Inversão do quartzo (quartzo α → quartzo β), pequena mudança global de volume.
≈ 980	Formação de espinélio da argila e uma fase amorfa de sílica livre, e início da retração.
≈ 1.000	Formação de mulita primária.
≈ 1.050	Formação de vidro do feldspato sódico, crescimento de mulita, continuação da retração.
≈ 1.000 - 1200	Dissolução do quartzo, pela fase líquida saturada com silício e transformação deste em cristobalita.

Após a sinterização a microestrutura da porcelana triaxial, consiste de grãos grosseiros de quartzo, ou de alumina, aglomerados a finos cristais de mulita devido a formação de uma matriz vítrea [8].

3.8 – Caracterização mineralógica

A caracterização mineralógica foi estabelecida por difração de raios-X, onde esta é dada pela projeção dos raios que passam através de um cristal sobre uma chapa fotográfica e percebendo, após a revelação da chapa, que a imagem apresenta padrões específicos.

Essa caracterização físico-mineralógica ajuda qualitativamente a identificar os minerais argilosos e não-argilosos presentes nas matérias-primas, contribuindo na escolha da massa cerâmica a ser formulada [20].

3.9 – Caracterização física

Nessa caracterização apresenta-se a fundamentação para o entendimento e posterior análise da redução de massa (RM), retração linear (RL), densidade (D), absorção d'água (AA) e curvas de gresificação.

3.9.1 – Redução de massa (RM)

São as pequenas perdas que geralmente ocorrem durante a secagem em estufa a 110 °C, ou durante a sinterização, devido à redução de sua água estrutural e de seu constituinte orgânico [9].

3.9.2 – Retração linear (RL)

É a variação das dimensões lineares que uma determinada amostra sofreu após um processo de secagem ou de sinterização, onde quando o resultado desta variação for positivo é porque o material se retraiu e quando for negativo indica que o mesmo aumentou de tamanho, e que ela é estabelecida em porcentagem [21].

3.9.3 – Densidade (D)

A densidade indica o grau de coesão entre as partículas.

3.9.4 – Absorção d'água (AA)

A capacidade que um corpo-de-prova tem de aumentar sua massa quando absorve água ao seu redor é definida como Absorção d'água.

3.9.5 – Curvas de gresificação

Essa curva é relevante na hora de se avaliar o comportamento térmico dos materiais, estabelecendo assim a melhor temperatura, isto é, a mínima temperatura para uma melhor estabilidade dimensional [22].

Para os materiais cerâmicos essa caracterização é importante, na medida em que ajuda a manter constante a dimensão de suas peças para diferentes temperaturas de sinterização [22].

É importante conhecer, para uma dada peça cerâmica, a sensibilidade térmica da mesma no momento de sua sinterização, pois é sabido que os fornos usados para suas sinterizações variam de temperatura de uma região para outra e também numa mesma região à medida que se prolonga o tempo de sinterização [9].

Também se usa a curva de gresificação como meio de controle de qualidade nas cerâmicas, na medida em que se observa a tolerância de uma composição cerâmica a variações de temperatura e condições de processamento, com isso possibilitando modificá-las conforme se deseja [23].

Abaixo, na Figura 3.6, está representado o gráfico da absorção de água *versus* a retração linear em função da temperatura para uma argila caulínica.

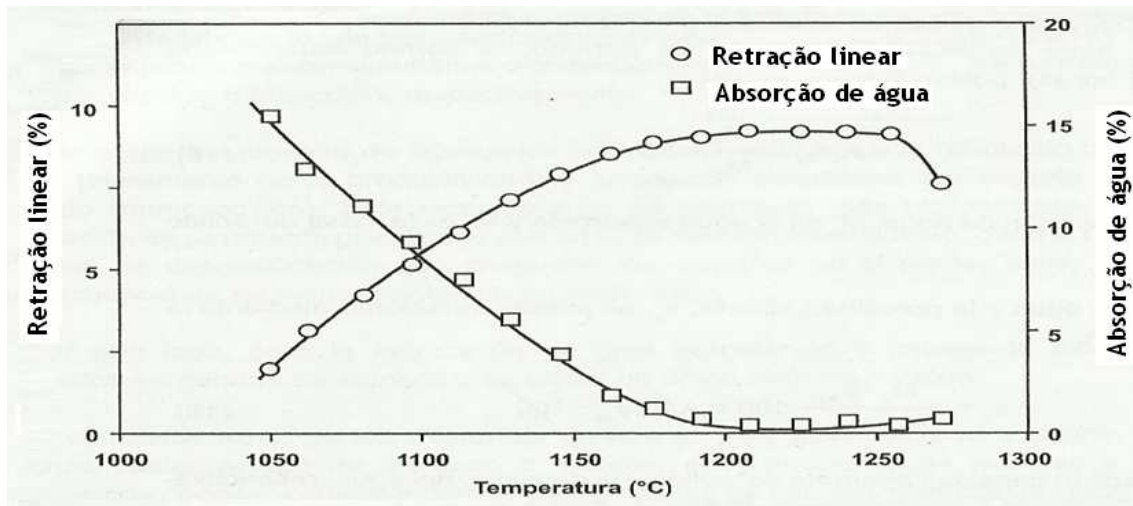


Figura 3.6 - Representação gráfica da absorção de água e da retração linear de uma argila caulínica [15].

3.10 – Caracterização mecânica

Na caracterização mecânica apresenta-se a fundamentação sobre: a tensão normal média, o ensaio de tração por compressão diametral, o diagrama tensão-deformação e o módulo de Young.

3.10.1 – Tensão normal média

É definida como a intensidade de uma força que atua perpendicularmente por unidade de área, então [24]

$$\sigma = \frac{P}{A}, \quad (3.1)$$

sendo:

σ = tensão normal média em qualquer ponto na área da seção transversal, (N/m²);

P = força normal resultante, (N);

A = área da seção transversal, (m²).

3.10.2 – Ensaio de tração por compressão diametral

O ensaio de tração é realizado empiricamente, usado para encontrar a resistência que um material pode suportar sem que o mesmo se deforme excessivamente ou se

rompa quando submetido a uma carga. Esse ensaio é usado principalmente para se determinar a relação entre a tensão e a deformação de materiais usados na engenharia, como metais, cerâmicas, polímeros e compósitos [24].

O ensaio brasileiro de compressão diametral, realizado para se determinar indiretamente a resistência à tração, se baseia na aplicação de duas forças opostas diametralmente e concentradas em um cilindro que gera, ao longo do diâmetro solicitado, tensões de tração uniformes perpendiculares a este diâmetro conforme mostra a Figura 3.7 [25].

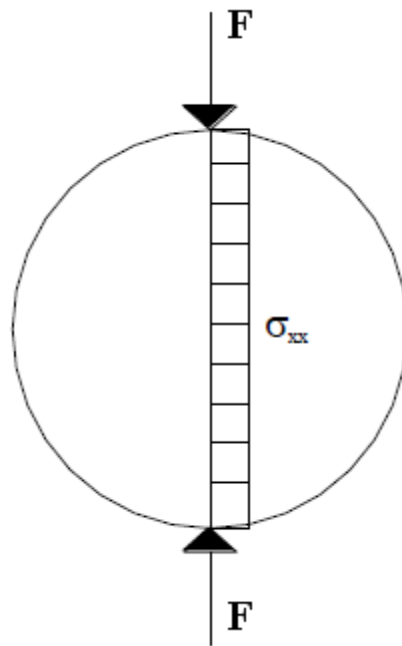


Figura 3.7- Tensões de tração uniformes devido à carga concentrada [25].

3.10.3 – Diagrama tensão-deformação

Diagrama tensão-deformação é a curva resultante da construção do gráfico com os dados do ensaio de tração, onde foram fornecidos valores de tensão e de deformação para determinado corpo de prova [24].

3.10.4 – Módulo de Young (E)

O módulo de Young, ou módulo de elasticidade, representa a constante de proporcionalidade entre a tensão e a deformação em regime elástico. Essa

proporcionalidade foi descoberta, em 1676, pelo cientista inglês Robert Hooke, e é conhecida como lei de Hooke uniaxial, conforme apresentada na Figura 3.8 [24].

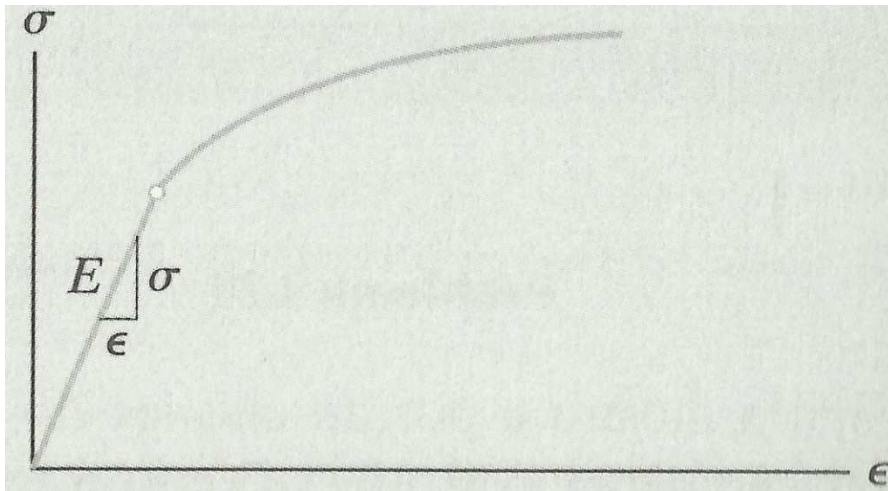


Figura 3.8 – Curva tensão-deformação em regime elástico [24].

O módulo de Young, que é uma propriedade mecânica, indica a rigidez do material, sendo que para a cerâmica a rigidez aumenta com o aumento da temperatura e que para os metais a rigidez diminui com o aumento da temperatura [7].

Seque abaixo valores do módulo de Young de alguns materiais cerâmicos na Tabela 3.6 [26].

Tabela 3.6 – Módulo de Young para alguns materiais cerâmicos [26].

Material cerâmico	Módulo de Young (GPa)
Nitreto de silício (Si_3N_4)	304
Zircônia (ZrO_2)	200
Carbeto de silício (SiC)	430
Alumina (Al_2O_3)	393
Cerâmica vítrea	120
Mulita ($3\text{Al}_2\text{O}_3-2\text{SiO}_2$)	145
Espinélio ($\text{Mg Al}_2\text{O}_3$)	260
Sílica (SiO_2)	73

3.11 – Caracterização elétrica

Nessa caracterização apresenta-se o embasamento teórico sobre: resistividade (ρ), capacitância (C), constante dielétrica (k) e fator de dissipação ($\tan \delta$) para as cerâmicas.

3.11.1 – Resistividade (ρ)

Resistividade (ρ) de um objeto é uma grandeza inerente ao tipo do material que o constitui e que varia com a temperatura. Sua unidade no sistema internacional é o ohm x metro ($\Omega \times m$).

Quando a resistividade de um material for muito grande ele é chamado de isolante e, caso contrário, é conhecido como um material condutor.

As cerâmicas possuem baixa condutividade elétrica devido à imobilidade dos elétrons de suas ligações iônicas e covalentes [1].

Nas cerâmicas, porosidades ou fissuras facilitam a condução [1].

3.11.2 – Capacitância (C)

A capacitância ou capacidade eletrostática de um capacitor é a capacidade que o mesmo tem de armazenar cargas para certa diferença de potencial [27]. Como a carga é diretamente proporcional a diferença de potencial, a relação do módulo da carga no capacitor pela diferença de potencial entre seus dois condutores, que é uma constante, é dada por:

$$C = \frac{q}{V}, \quad (3.2)$$

onde sua unidade no S.I. é o Farad (F), e que um Farad é igual a um Coulomb por Volt, assim:

$$1F = \frac{1C}{1V}$$

A capacitância independe do material condutor que constitui o capacitor, dependendo apenas de sua forma, dimensões e do dielétrico introduzido entre suas

placas [27]. É sabido que a capacitância aumenta quando da inserção de um dielétrico entre os condutores de um capacitor quando em comparação com o mesmo sem o dielétrico [28].

3.11.3 – Capacitância em capacitor plano

A capacitância de um capacitor depende de sua forma, dimensão e do dielétrico entre suas armaduras. A seguir tem-se como fica sua expressão quando o mesmo tiver suas placas: paralelas, planas e iguais, e separadas por um dielétrico [27].

Para um capacitor carregado isolado e sem dielétrico, tem-se um campo elétrico E_o , e em seguida para o mesmo capacitor com um dielétrico inserido entre suas placas, o novo campo elétrico será [29]:

$$E = \frac{E_o}{k} \quad (3.3)$$

Logo a diferença de potencial V num capacitor de placas paralelas separadas por uma distância d é [29]

$$V = Ed = \frac{E_o \cdot d}{k} = \frac{V_o}{k} \quad (3.4)$$

$$\text{sendo: } V = \frac{V_o}{k} \quad (3.5)$$

Assim, a nova capacitância será:

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{Q}{V_o/k} = k \frac{Q}{V_o} \quad (3.6)$$

ou

$$C = kC_o \quad (3.7)$$

$$\text{sendo: } C_o = \frac{Q}{V_o} \quad (3.8)$$

Portanto, a capacitância de um capacitor de placas paralelas separadas por dielétrico de constante k , será

$$C = \frac{k \epsilon_0 A}{d} \quad (3.9)$$

sendo:

C = capacitância (F);

k = constante dielétrica;

d = distância entre os eletrodos condutores (m);

A = área da placa condutora (m^2);

ϵ_0 = permissividade elétrica do vácuo.

A permissividade absoluta do vácuo ϵ_0 , vale $8,85 \times 10^{-12}$ F/m.

3.11.4 – Capacitor

Capacitor é um dispositivo formado por um par de condutores carregados, armaduras, com cargas iguais e de sinais opostos, onde o mesmo é utilizado para armazenar cargas elétricas [27, 29].

Para termos um capacitor basta introduzir um isolante entre dois condutores. Os capacitores podem ser aplicados em: *flash* de máquinas fotográficas, *air bags* automotivos, desfibrilador, marca-passo cardíaco, receptores de rádio e televisão [28, 29].

Em diagramas de circuitos o capacitor é simbolizado por quaisquer das representações, conforme Figura 3.9.

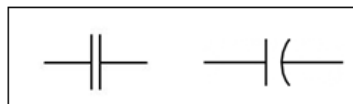


Figura 3.9 – Representação de capacitores em diagramas.

Onde as linhas horizontais representam os condutores e as linhas verticais, retas ou curvas, as placas condutoras ou armaduras [28].

3.11.5 – Dielétrico

Denomina-se dielétrico, ou isolante, qualquer material não-condutor de eletricidade devido não existir cargas elétricas livres no seu interior. Dentre alguns podemos citar: madeira, vidro, ar, cerâmica e papel. Uma característica do dielétrico é que, quando o mesmo é colocado entre dois condutores de um capacitor, a capacitância deste aumenta de um fator k . Esse fator é denominado constante dielétrica do isolante e é a relação entre a capacitância C do capacitor juntamente com o dielétrico pela capacitância C_0 do capacitor a vácuo, conforme Equação 3.7 [29].

Com a mudança da diferença do potencial muda também o campo elétrico entre as armaduras, assim como: $V = Ed$ e $V_0 = E_0d$, o que se verifica na Equação 3.3.

Com o incremento do dielétrico de constante k , o campo elétrico é k vezes menor do que o mesmo a vácuo [29].

Essa prática foi realizada por Michael Faraday, onde ele percebeu que a razão desse aumento se devia à inserção do dielétrico, que enfraquecia o campo elétrico entre as placas. Logo, para certa carga nas placas, a capacitância (Q/V) aumentava enquanto a diferença de potencial diminuía [29].

3.11.6 – Constante dielétrica (k)

A importância das propriedades dielétricas das cerâmicas é devido ao seu emprego como isolantes ou como partes funcionais nos circuitos elétricos.

Segundo [1], conforme representado na Figura 3.10, na medida em que a frequência aumenta a constante dielétrica (que é adimensional) diminui, isto ocorre devido ao deslocamento de íons no campo elétrico.

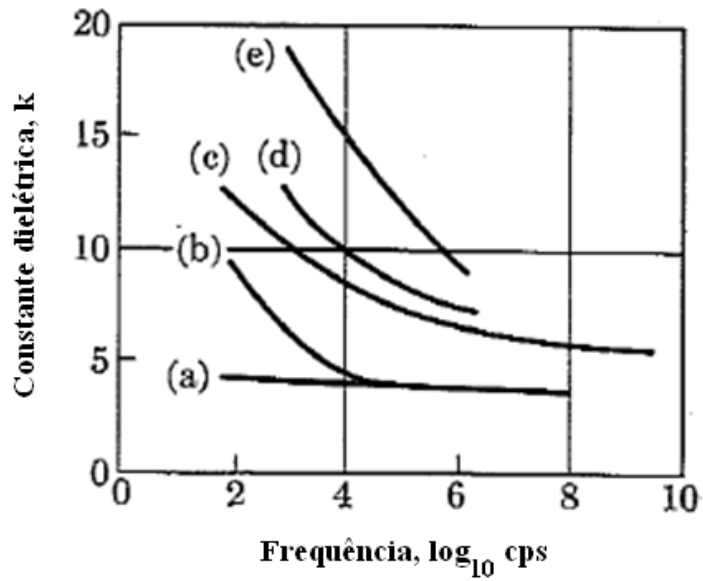


Figura 3.10 – Gráfico da constante dielétrica pela frequência. Onde: (a) sílica fundida a 100 °C; (b) sílica fundida a 400 °C; (c) AlSiMag A-35 a 150 °C; (d) porcelana de ZrO₂ e (e) Al₂O₃ [1].

Tem-se na Tabela 3.7, abaixo, valores de constante dielétrica de alguns materiais.

Tabela 3.7 – Constante dielétrica para alguns materiais [1].

Material	Constante dielétrica k	k usual
Vácuo	1	1
Ar	1,0001	1
Água	78	78
Cerâmica	≥ 10	–
Vidro	4 a 10	8
Mica	6 a 8	6
Papel	2 a 5	3,5
Porcelana	4 a 8	6,5

3.11.7 – Fator de dissipação (tg δ)

O fator de dissipação ou dissipação dielétrica são as dissipações de energia pelo isolante, que se apresentam na forma de energia térmica, devido ao trabalho realizado

no mesmo pela aplicação de um campo externo de determinada orientação instantânea. Essas dissipações ocorrem tanto em corrente contínua como em corrente alternada, pois em qualquer uma das situações circula uma corrente elétrica transversal pelo material [10].

Dissipações superiores às admissíveis implicam em um aquecimento prejudicando o material, alterando suas propriedades. Grandezas como frequência e tensão, entre outras alteram essas dissipações dielétricas [10].

Vale ressaltar que as dissipações dielétricas de qualquer material devem ser determinadas em suas condições de uso e na devida frequência usada, pois ajudará em obter valores reais dessas dissipações [10].

Na Figura 3.11, representam-se as dissipações dielétricas em função da temperatura para dois tipos de cerâmica, uma usada em altas-frequências e outra de uso geral [10].

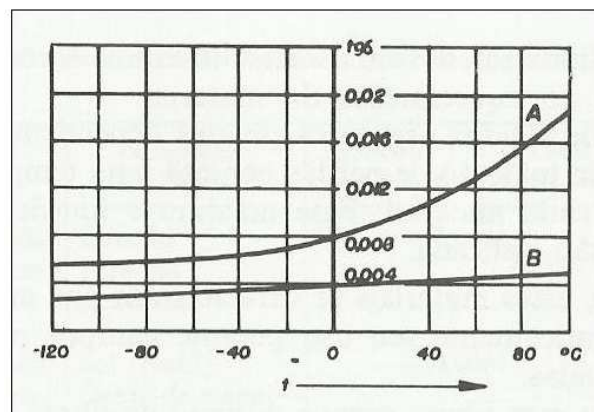


Figura 3.11 – Fator de dissipação *versus* temperatura, para uma porcelana eletrotécnica (A) e uma para altas frequências (B) [10].

Para altas-frequências o fator de perdas aumenta em elevadas temperaturas, isso ocorre principalmente em função da condutividade elétrica [10].

4. MATERIAIS E PROCEDIMENTOS

Neste capítulo mostram-se os materiais e procedimentos para o desenvolvimento do presente trabalho. A Figura 4.1 apresenta o fluxograma das etapas desenvolvidas.

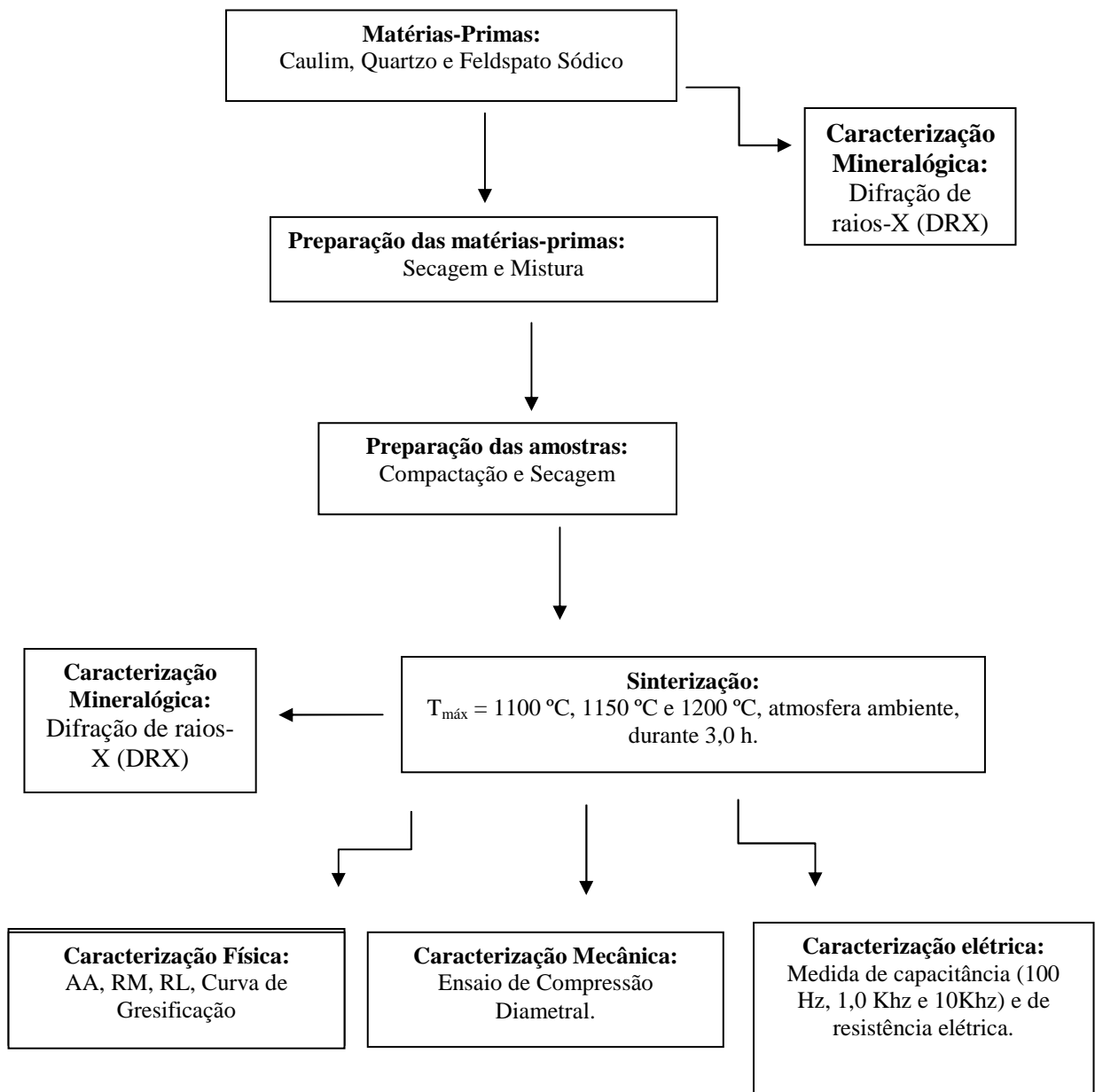


Figura 4.1 – Fluxograma das etapas desenvolvidas.

4.1 – Procedimentos

No presente trabalho foram utilizadas as matérias-primas: caulim, feldspato sódico e quartzo, nas proporções em percentagens de 40, 40 e 20 conforme tipo europeia, e 45, 25 e 30 conforme tipo americano, onde todas foram cedidas pela ARMIL - Mineração do Nordeste, peneiradas a 200 Mesh (abertura livre de 0,074 mm), caracterizadas conforme Tabela 4.1, e conformadas por prensagem uniaxial onde todas as amostras foram submetidas a uma pressão de 50 MPa, sendo que 10 amostras de cada composição foram sinterizadas nas temperaturas de 1100°C, 1150°C e 1200°C, totalizando assim um total de 60 amostras, e em seguida foram caracterizadas por difração de raios-X, retração linear, absorção d'água, densidade, módulo de Young, resistividade elétrica e rigidez dielétrica.

Tabela 4.1 – Características das matérias-primas cedidas pela ARMIL [30].

Produto	Uso	Características
Feldspato sódico (Albita)	Fundentes	Na ₂ O acima de 9%.
Caulim Branco	Usos Diversos	Alvura de 81,9%, com alto teor de Al ₂ O ₃ (35%).
Quartzo	Usos Diversos	Teor de SiO ₂ próximo a 99,7%, super branco.

4.2 – Secagem

De início, a preparação das matérias-primas para caracterização foi feita por meio de secagem a 110 °C numa estufa ODONTOBRAS 1.5, cuja temperatura máxima atinge 300 °C por um período de 24 h.

4.3 – Mistura e homogeneização

No presente trabalho foram preparadas duas misturas. Assim, na formulação das massas cerâmicas, usou-se composição pré-estabelecida da cerâmica elétrica europeia e americana, conforme encontram-se na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Percentagens dos constituintes das massas cerâmicas utilizadas.

Massa Cerâmica	Caulim(%)	Feldspato(%)	Quartzo(%)	Total (%)
EP	40,0	40,0	20,0	100,0
AP	45,0	25,0	30,0	100,0

As massas cerâmicas foram determinadas a partir das composições triaxiais apresentadas nas Figuras 3.3 e 3.4.

Com as formulações definidas e com uma balança digital de marca SHIMADZO, modelo AY220, com capacidade para 220g, mediu-se 12 g de caulim, 12 g de feldspato, e 6 g de quartzo para preparar 30 corpos de prova de 1g cada para composição européia, e mediu-se 13,5 g de caulim, 7,5 g de feldspato, e 9 g de quartzo para preparar 30 corpos de prova de 1g cada para composição americana.

Depois, prepararam-se as massas cerâmicas por mistura/homogeneização num moinho de bolas da marca, SERVITECH, de frequência 1,56 Hz, mostrado na Figura 4.2, no laboratório da UFERSA, onde os pós foram colocados dentro de um jarro no respectivo moinho por 4,5 h e secados novamente a 110 °C por um período de 24 h.



Figura 4.2 - Moinho de bolas.

A conformação das massas cerâmicas, de dimensão 10,20 mm de diâmetro e 7,0 mm de altura, foi feita por prensagem uniaxial de 50 MPa, para todas as 60 amostras numa prensa hidráulica com capacidade para 15 ton, da marca RIBEIRO, conforme Figura 4.3.



Figura 4.3 - Prensa hidráulica.

Após a prensagem de cada amostra, esperou-se por 30 segundos para tirar cada amostra da prensa, para que as mesmas relaxassem. Em seguida os corpos foram depositados em dessecador por 24h para relaxação e alívio de tensões.

Subsequentemente mediu-se o diâmetro, a altura e a massa de cada amostra. Os comprimentos foram medidos com um paquímetro de $\pm 10^{-2}$ mm, conforme anexo I.

Para melhorar o entendimento do presente trabalho, as amostras da composição europeia serão denominadas por E, e as amostras da composição americana serão denominadas por A, bem como para temperatura de 1100 °C será representada pelos números de 1 até 10, para a temperatura de 1150 °C será representada pelos números de 11 até 21, e para a temperatura de 1200 °C será representada pelos números de 21 até 30.

4.4 – Sinterização dos corpos cerâmicos

Do total de 60 (sessenta) amostras 20 (vinte) foram sinterizadas a 1100 °C, sendo que 10 (dez) da composição europeia e 10 (dez) da composição americana, da mesma

forma outras 20 amostras foram sinterizadas a 1150 °C, e as últimas 20 restantes sinterizadas a 1200 °C.

De início, da temperatura ambiente de 26 °C deixou que as amostras fossem até 500 °C ao fluxo máximo de calor lançado pelo forno, de marca JUNG de 1300 °C de temperatura máxima. Em seguida esse fluxo foi controlado, ao passo de 10 °C/min até 600 °C, onde novamente foi ao fluxo máximo da máquina até 800 °C, a partir daqui seguiu até 1000 °C novamente a taxa de 10 °C/min, onde depois foi ao fluxo máximo do forno uma última vez até atingir o máximo de 1100 °C onde permaneceu por um período de 3 h.

O mesmo processo de sinterização ocorreu para as outras 40 (quarenta) amostras, sendo que 20 até o máximo de 1150 °C e as demais 20 ao máximo de 1200 °C, ambas permanecendo no seu máximo por 3 h. As sinterizações estão mostradas na Figura 5.1.

Após as sinterizações e seus respectivos resfriamentos novamente mediu-se as medidas de diâmetro, altura e massa, conforme anexo II, antes de introduzirmos os mesmos no recipiente para fazer o ensaio de absorção d'água.

Depois do resfriamento das amostras após a sinterização, as mesmas foram impressas em recipiente com água destilada, onde permaneceram por um período de 24h. Após esse período, buscou-se eliminar o excesso d'água superficial das amostras com auxílio de uma flanela úmida, sem atritar as amostras. Em seguida foi realizada a medida da massa úmida, conforme anexo III.

Seguindo, após a retirada das medidas, as amostras foram colocadas para secar na estufa a 100 °C por 24 h onde novamente foram medidos o diâmetro, altura e massa para fazer o ensaio de absorção d'água. Os valores se apresentam no anexo IV.

4.5 – Caracterização mineralógica

4.5.1 – Difractometria de raios-X

Para caracterização mineralógica das matérias-primas foi realizado um estudo qualitativo para determinação dos minerais e das fases formadas nas amostras. Foi usado um difratômetro de raios-X, MiniFlexII, Rigaku, com anodo de Cu, com ângulo de varredura 2θ de 5° a 65° para as amostras sinterizadas e de 5° a 85° para as matérias-

primas, e passo de 0,02 graus/s. Os pós foram passados pela peneira de 200 Mesh, onde usou também para a ajudar na identificação das fases o software PDXL.

4.6 – Caracterização física

4.6.1 – Redução de massa (RM)

Essa grandeza foi determinada a partir da relação entre as massas dos corpos cerâmicos, antes e após a sinterização conforme a equação 4.1.

$$RM(\%) = \left| \frac{m_Q - m_S}{m_S} \right| \times 100 \quad (4.1)$$

onde m_Q (em gramas) foi a massa da amostra, medida após a mesma ser submetida ao processo de sinterização; e m_S (em gramas) foi a massa medida antes da sinterização [9].

4.6.2 – Retração linear (RL)

No cálculo da retração linear (RL) das amostras após sinterização, utilizou-se um paquímetro para medir os comprimentos e obteve-se os valores por meio da equação (4.2), onde a retração linear das amostras, em percentual, L_A é o valor do comprimento da amostra antes da sinterização e L_Q é o comprimento da amostra após sinterização [11].

Assim, essa propriedade foi estabelecida de acordo com a norma MB-305 (ABNT) pela expressão:

$$RL(\%) = \left| \frac{L_A - L_Q}{L_Q} \right| \times 100 \quad (4.2)$$

4.6.3 – Densidade (D)

A densidade foi mensurada conforme a equação 4.3 [10]

$$D = \frac{m_s}{V_s} \quad (4.3)$$

Onde

D = densidade ou massa específica

m_s = massa da amostra seca

V_s = volume total da amostra seca

4.6.4 – Absorção d'água (AA)

O ensaio de absorção d'água ocorreu após o processo de sinterização. Inicialmente, realizou-se a limpeza dos corpos cerâmicos com auxílio de um pincel, e secagem em estufa a 110 °C por 24 h. Essa limpeza objetivou eliminar a presença de qualquer resíduo remanescente do meio ambiente que influenciasse na medida da porosidade aberta dos corpos cerâmicos a serem ensaiados. Em seguida os corpos cerâmicos foram colocados em um dessecador para que resfriassem até a temperatura ambiente. Ao atingir a temperatura ambiente, foram medidas as massas secas (m_s) dos corpos cerâmicos em uma balança digital e, a próxima etapa desse ensaio foi a da imersão dos corpos cerâmicos em água destilada à temperatura ambiente de 26 °C, aproximadamente, durante 24 h. Após esse período, os corpos cerâmicos foram retirados da água e, com o auxílio de um tecido (tipo flanela) úmido, dos mesmos foi retirado o excesso de água em suas superfícies, sem que ocorresse a fricção entre os corpos cerâmicos e o tecido, e determinada pela equação 4.4.

$$AA(\%) = \frac{m_U - m_s}{m_s} \times 100 \quad (4.4)$$

onde m_U (em g) é a massa do corpo cerâmico úmido, e m_s (em g) é a massa dessa mesma parte do corpo cerâmico seco medida antes do ensaio de absorção d'água [9].

4.7 – Caracterização mecânica

4.7.1 – Compressão diametral

Seguindo fez-se a ruptura dos corpos-de-prova via compressão diametral (Ensaio Brasileiro) no laboratório de ensaios mecânicos, na UFERSA, para observar o comportamento das amostras a um esforço mecânico observando a determinação da tensão e posterior cálculo do módulo de Young.

O ensaio de compressão diametral foi realizado em uma máquina Universal de ensaio EMIC, de carga máxima de 100 kN, e com velocidade de carregamento do travessão de 2 mm/min, visualizado na Figura 4.4.

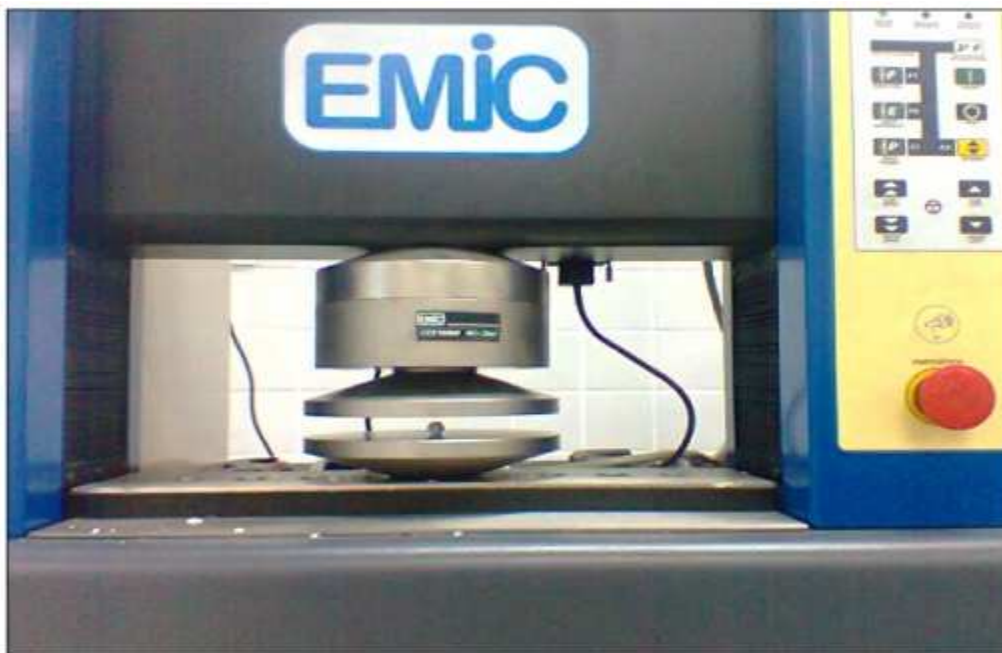


Figura 4.4 – Máquina Universal de ensaio EMIC com uma amostra entre os pratos.

Para o ensaio de compressão deste trabalho foram utilizadas 30 amostras, sendo que destas 15 na composição européia e 15 amostras na composição americana, e dentro destas 15 amostras de cada composição, 5 nas respectivas temperaturas de sinterização de 1100 °C, 1150 °C e 1200 °C.

Após a ruptura dos corpos-de-prova a tensão de tração foi determinada pela seguinte expressão [25, 31].

$$\sigma_{XX} = \frac{2F}{\pi D h} = \frac{F}{\pi R h} \quad (4.5)$$

Onde:

σ_{xx} = tensão de tração uniforme na direção-x (positiva).

F = intensidade da força aplicada.

R = raio do cilindro.

D = diâmetro do cilindro.

h = espessura.

4.7.2 – Módulo de Young (E)

A equação (lei de Hooke) para essa propriedade foi estabelecida conforme apresentada abaixo

$$\sigma = E \varepsilon , \quad (4.6)$$

onde

σ = tensão normal média;

E = módulo de Young;

ε = deformação.

Vale ressaltar que a Equação 4.6 só é válida para a parte reta do diagrama tensão-deformação, conforme Figura 3.9 apresentada na revisão sobre a literatura, isto é, corresponde apenas até o limite de proporcionalidade, e que o módulo de Young representa a inclinação dessa reta.

4.8 – Caracterização elétrica

4.8.1 – Resistividade (ρ)

Para o cálculo da resistividade foi medido primeiro a resistência das amostras, onde foi utilizado um Megôhmetro Digital, modelo MG-3000 de fabricante ICEL Manaus de valores mínimos e máximos (20 Ω – 2000 M Ω) e (250 v – 1000 v) respectivamente, no Laboratório de Medidas elétricas e Eletricidade Básica, na UFERSA, onde foram utilizados os seguintes parâmetros: 200 M Ω – 500 v.

Como os valores apresentados pelas amostras eram superiores ao máximo do megôhmetro, foi utilizado 20 (vinte) resistores, de 10 M Ω cada, associados em série, totalizando assim 196,3 M Ω , devido a todos terem tolerância de 5 % (última faixa dourada), que em seguida foi colocado em paralelo com a amostra para determinação do resistor equivalente, valores no anexo V, e posterior cálculo da resistência da amostra, conforme equação abaixo:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_x} + \frac{1}{R} \quad (4.7)$$

Onde:

R = somatório dos resistores em série

R_{eq} = resistência dada pela ponte LCR

R_x = resistência da amostra

4.8.2 – Capacitância

De início foi utilizado um capacitor cerâmico de 470 pF para aferição da PONTE LCR DE BANCADA, fabricante MINIPA, modelo MXB-821, em temperatura ambiente de 24,3 °C e umidade do ar de 49 %, no Laboratório de Medidas elétricas e Eletricidade Básica, na UFERSA, onde verificou-se que para melhores resultados era deixado-se como parâmetros fixos as escalas de 100 Ω para a impedância e 0,3 V para a tensão. Depois variamos apenas a frequência para se medir a capacitância, apresentadas no anexo VI, e posterior cálculo da constante dielétrica. A fórmula usada para o cálculo da constante dielétrica foi à Equação 3.9.

Os equipamentos utilizados para determinar os parâmetros dielétricos das amostras estão ilustrados na Figura 4.5.

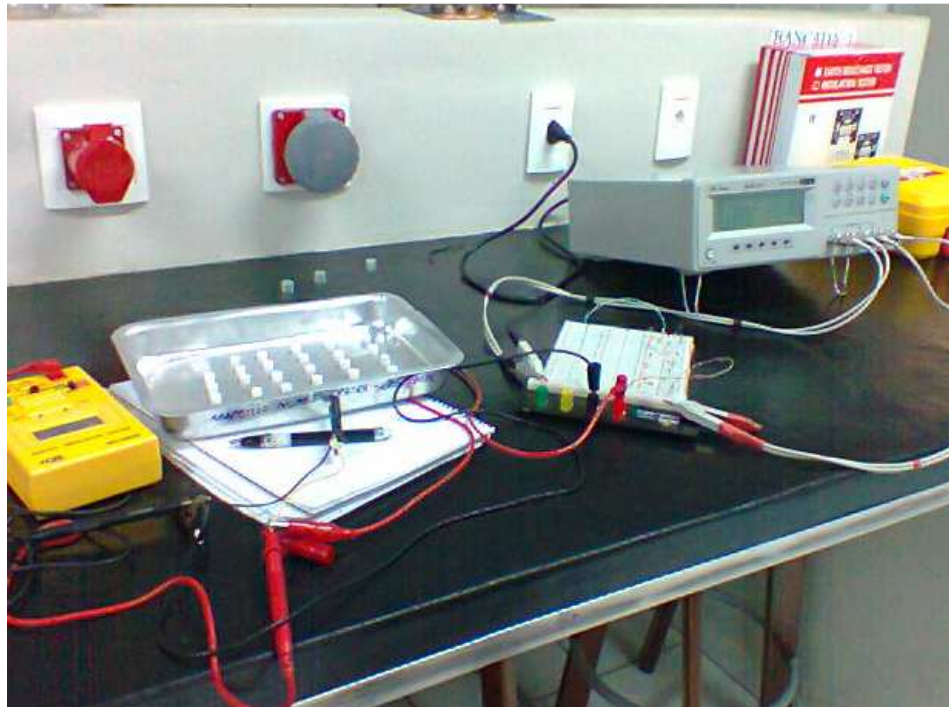


Figura 4.5 - Montagem experimental para medição da resistência e da capacitância.

Para se determinar a incerteza foi usada a expressão abaixo [31].

$$C: 0.1\% (1 + C_x/C_{max} + C_{min}/C_x)(1 + D_x)(1 + k_s + k_v + k_f). \quad (4.8)$$

Onde, na Tabela 4.3, se apresentam valores de máximo e mínimo no cálculo da incerteza para algumas frequências.

Tabela 4.3 – Valores de máximo e mínimo [31].

Parâmetro	Frequência			
	100Hz	120Hz	1kHz	10kHz
Cmax	800µF	667µF	80µF	8µF
Cmin	1500pF	1250pF	150pF	15pF
Lmax	1590H	1325H	159H	15.9H
Lmin	3.2mH	2.6mH	0.32mH	0.032mH
Zmax	1MΩ			
Zmin	1.59Ω			

São dados abaixo valores de fatores, de acordo com cada situação, para serem inseridos na Equação 4.8, conforme apresentado na Figura 4.6.

<p>Fator de Velocidade de Medição k_s</p> <p>Slow: $k_s = 0$; Medium: $k_s = 0$; Fast: $k_s = 10$. (valor usado)</p> <p>Fator de Nível de Tensão de Medição k_v</p> <p>1.0Vrms: $k_v = 0$; 0.3Vrms: $k_v = 1$; (valor usado) 0.1Vrms: $k_v = 4$.</p> <p>Fator de Frequência de Medição k_f</p> <p>100Hz: $k_f = 0$; (valor usado) 120Hz: $k_f = 0$; 1kHz: $k_f = 0$; (valor usado) 10kHz: $k_f = 0.5$; (valor usado)</p>
--

Figura 4.6 – Valores de fatores para o cálculo da incerteza.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 – Sinterização das massas cerâmicas.

Na Figura 5.1 mostram-se as curvas do processo de sinterização das amostras das composições européia e americana nas temperaturas de 1.100 °C, 1.150 °C e 1.200 °C.

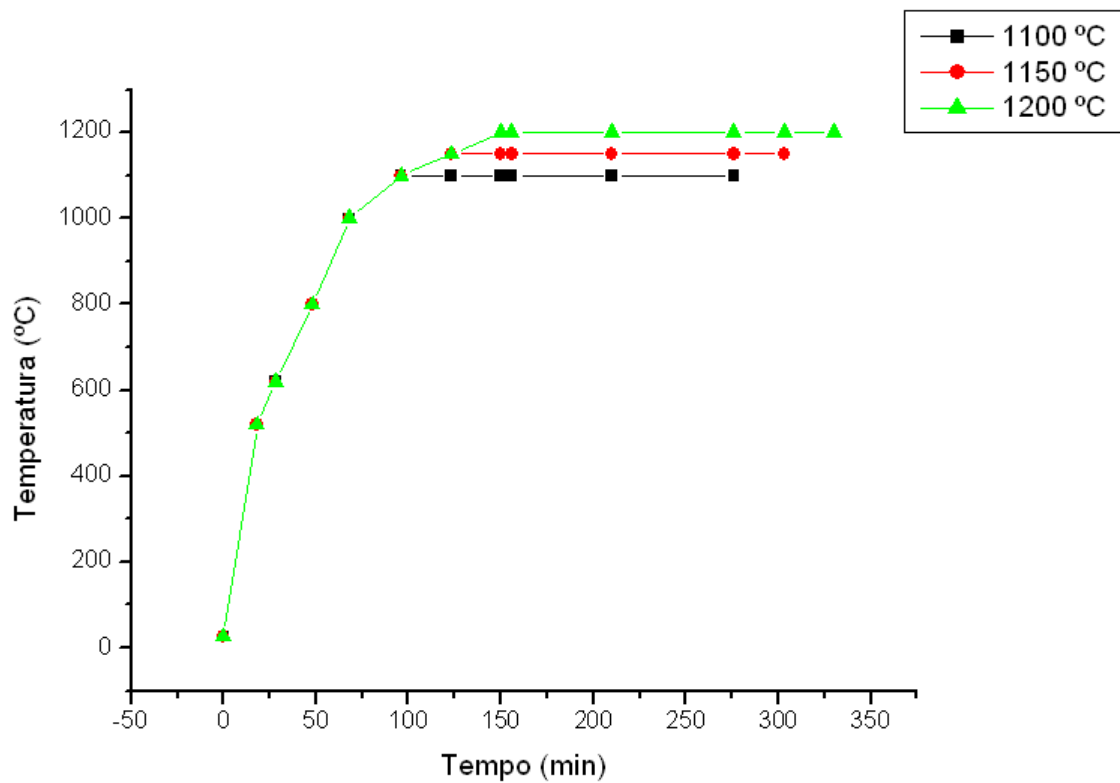


Figura 5.1 – Curvas de sinterização das amostras para as temperaturas máximas de 1.100 °C, 1.150 °C e 1.200 °C.

Pelas curvas, percebe-se que o processo de sinterização das composições nas devidas temperaturas mencionadas foi o mesmo até 1.000 °C.

5.2 – Caracterização mineralógica

5.2.1– Difração de raios-X das matérias-primas e composições

Essa caracterização físico-mineralógica ajuda qualitativamente a identificar os minerais argilosos e não-argilosos presentes nas matérias-primas, contribuindo na escolha da massa cerâmica a ser formulada.

De início, têm-se os difratogramas de raios-X das matérias-primas, caulim, feldspato sódico e quartzo, que são mostrados nas Figuras 5.2, 5.3 e 5.4; seguindo, tem-se os difratogramas das composições européia e americana nas temperaturas de 1.100 °C, 1.150 °C e 1.200 °C, onde se verifica por seus picos as fases cristalinas presentes nos mesmos.

Na Figura 5.2 apresenta-se o difratograma de raios-X do caulim seco a 110 °C. Observa-se que nessa argila, o argilomineral predominante é a caulinita, dado o número de picos característicos presentes no difratograma.

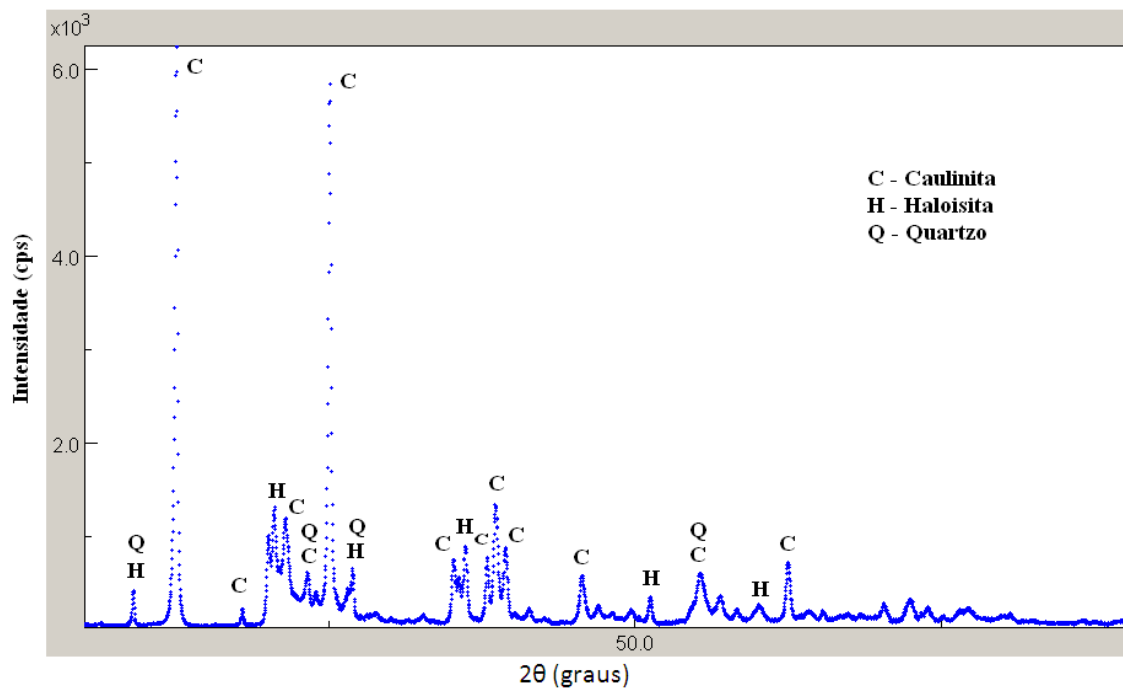


Figura 5.2 - Difração do caulim seco a 110 °C.

Ainda na Figura 5.2 também se pode observar a presença dos minerais haloisita e quartzo.

A Figura 5.3 apresenta o difratograma de raios-X do feldspato sódico a 110 °C.

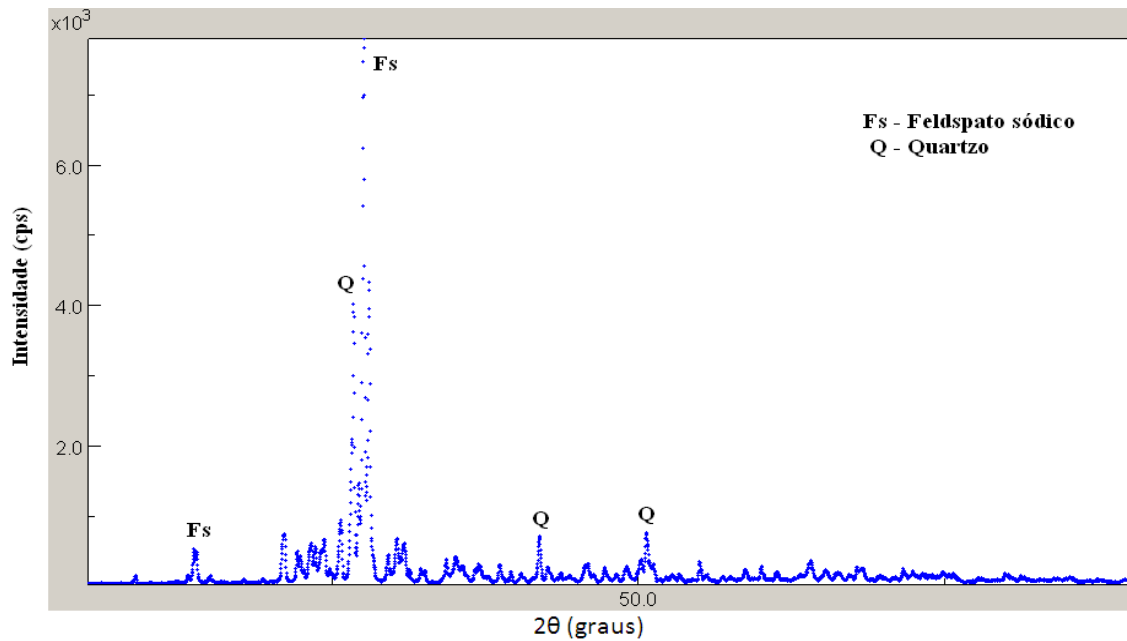


Figura 5.3 - Difração do feldspato sódico seco a 110°C.

Na Figura 5.3 é apresentado o difratograma de raios-X do constituinte feldspato sódico, onde os picos identificados são característicos desse mineral.

A Figura 5.4 apresenta o difratograma de raios-X do quartzo seco a 110 °C.

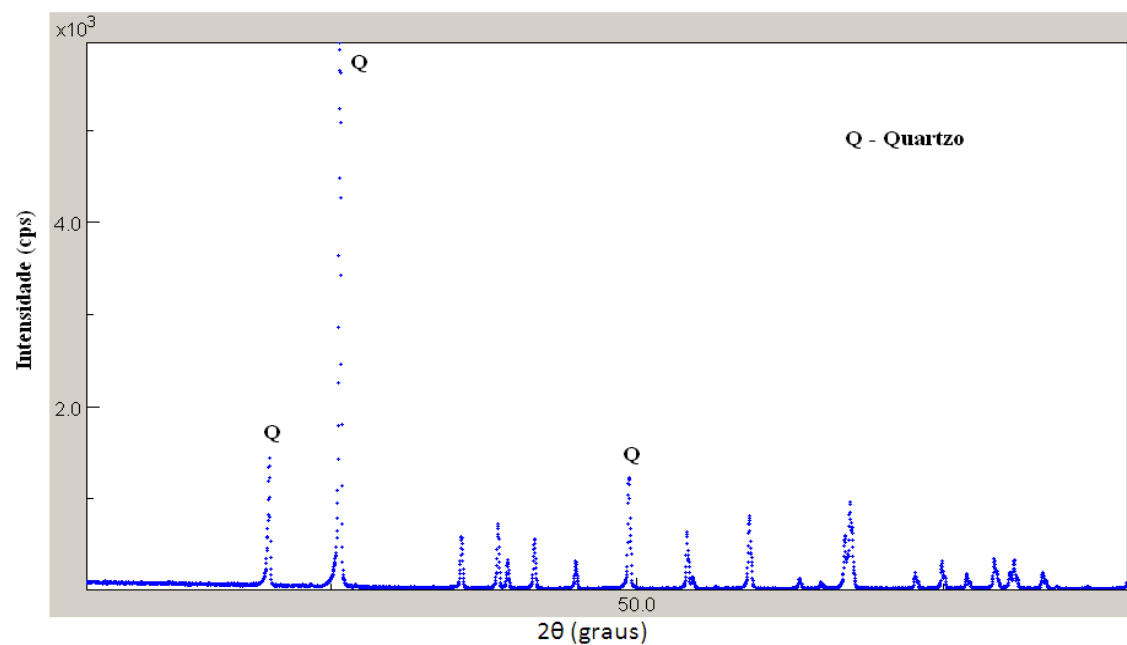


Figura 5.4 - Difração do quartzo seco a 110°C.

Na Figura 5.4 é apresentado o difratograma de raios-X do constituinte quartzo, onde os picos identificados são característicos desse mineral.

A seguir se apresentam as difrações de raios-X, pós-sinterização, das composições européia e americana, mas antes é apresentada na Figura 5.5 a identificação dos picos com suas respectivas fases, da amostra de composição americana a 1.150 °C (escolha aleatória), pois as demais difrações possuem os mesmos picos, com exceção das amostras a 1.100 °C que possuem um pico a mais, provavelmente resquício de metacaulinita que não se transformou totalmente em espinélio.

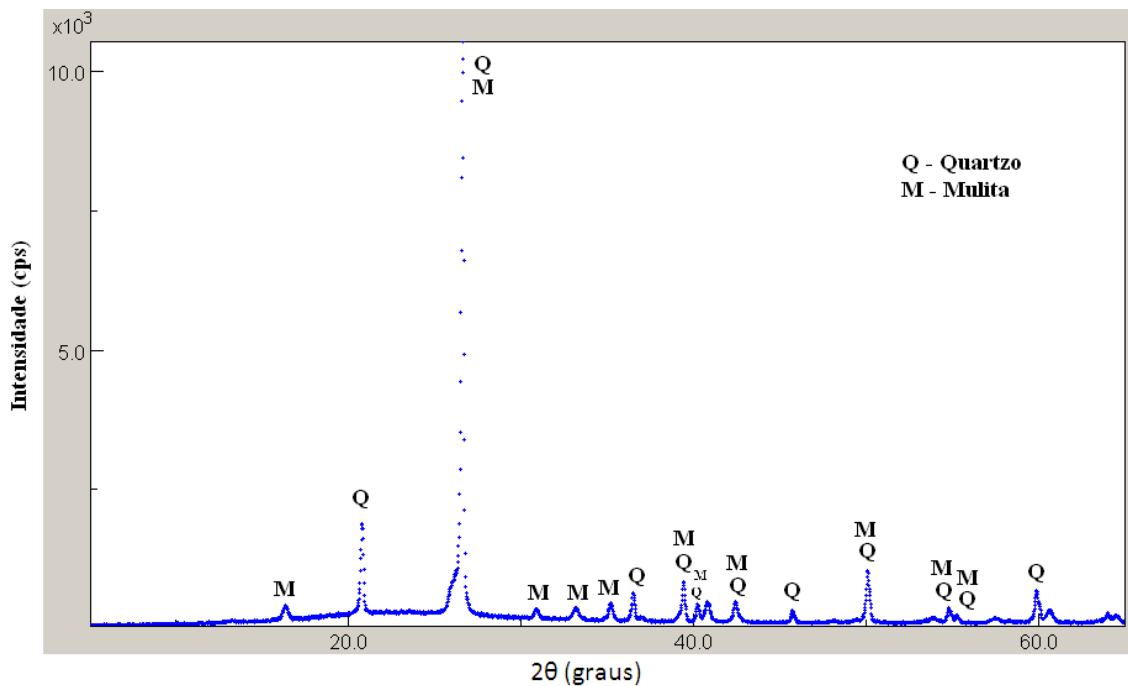


Figura 5.5 – Identificação das fases, da amostra de composição americana e a 1.150 °C.

A Figura 5.6 apresenta as curvas referentes às difrações de raios-X para as cinco amostras, das composições européia e americana, sinterizadas a 1.100 °C.

Percebe-se nos difratogramas apresentados na Figura 5.6 que as intensidades dos picos foi menor na composição americana.

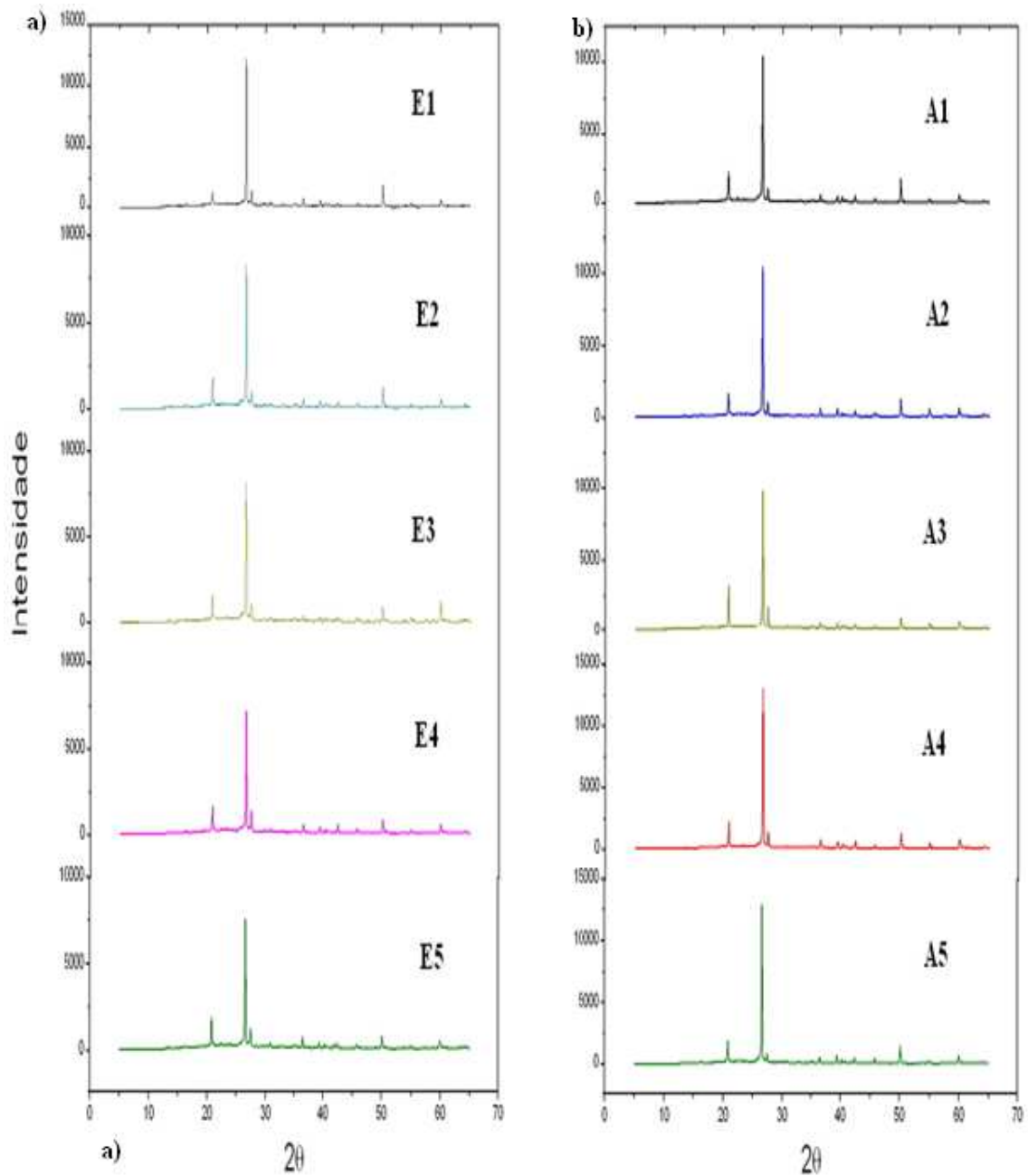


Figura 5.6 – Difração de raios-X, sinterizadas a 1.100 °C, das amostras: (a) composição européia-CE e, (b) composição americana-CA.

Estas difrações, para as composições européia e americana ainda apresentaram o pico de 27,5°, cuja fase é um resquício de espinélio [30].

A Figura 5.7 mostra as difrações das amostras que foram sinterizadas a 1.150 °C.

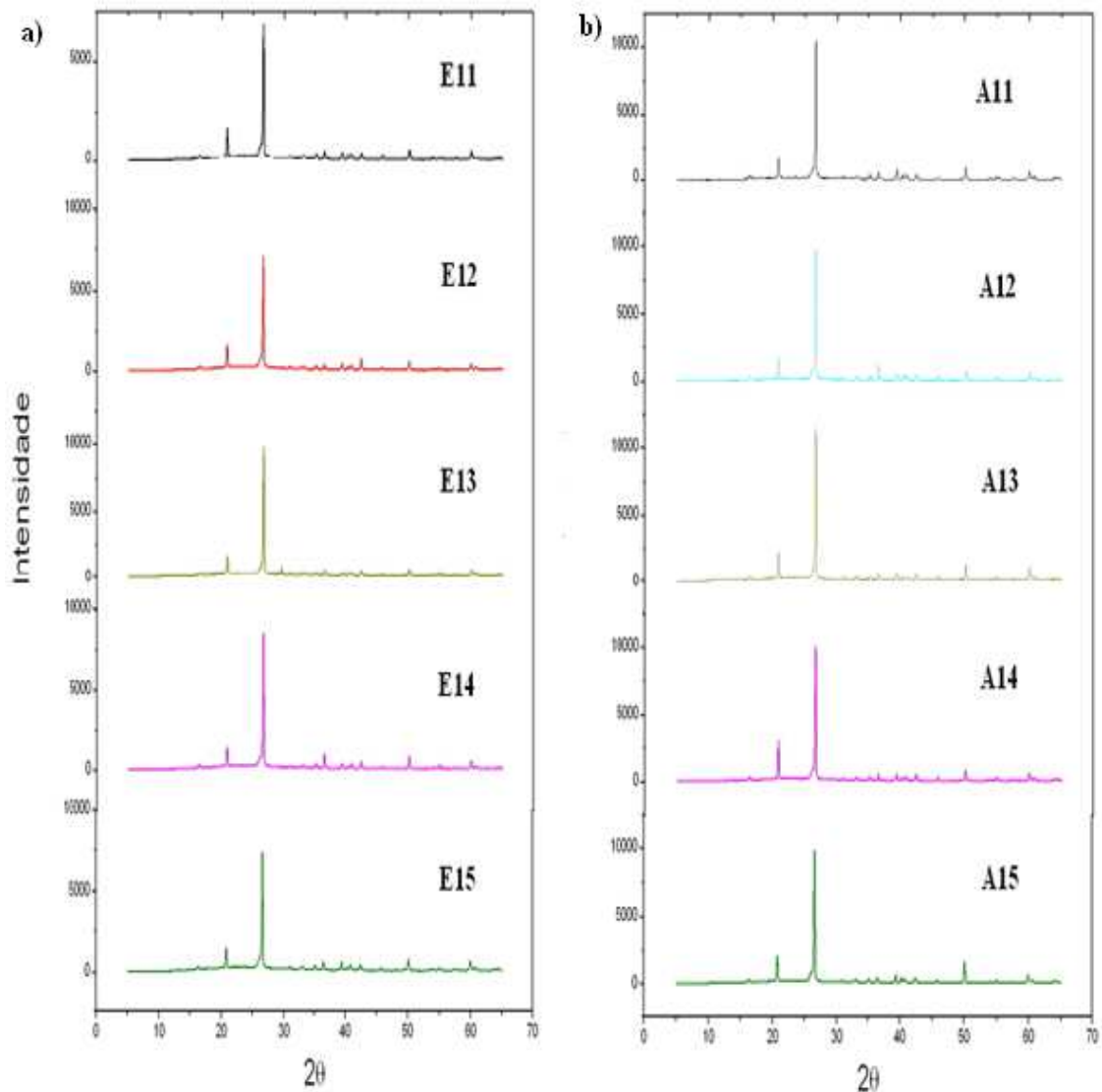


Figura 5.7 – Difração de raios-X, sinterizadas a 1.150 °C, das amostras: (a) composição européia-CE e, (b) composição americana-CA.

Também os picos da composição européia se apresentaram com intensidade um pouco menor do que a composição americana, mas essas intensidades entre as próprias composições se mantiveram relativamente às mesmas para as temperaturas de sinterização a 1.100 °C e 1.150 °C.

A composição européia apresentou entre os ângulos de 17° e 31° um pouco mais de fase amorfa do que a composição americana para esta temperatura.

E por último se apresenta a seguir pela Figura 5.8 as difrações das amostras que foram sinterizadas a 1.200 °C.

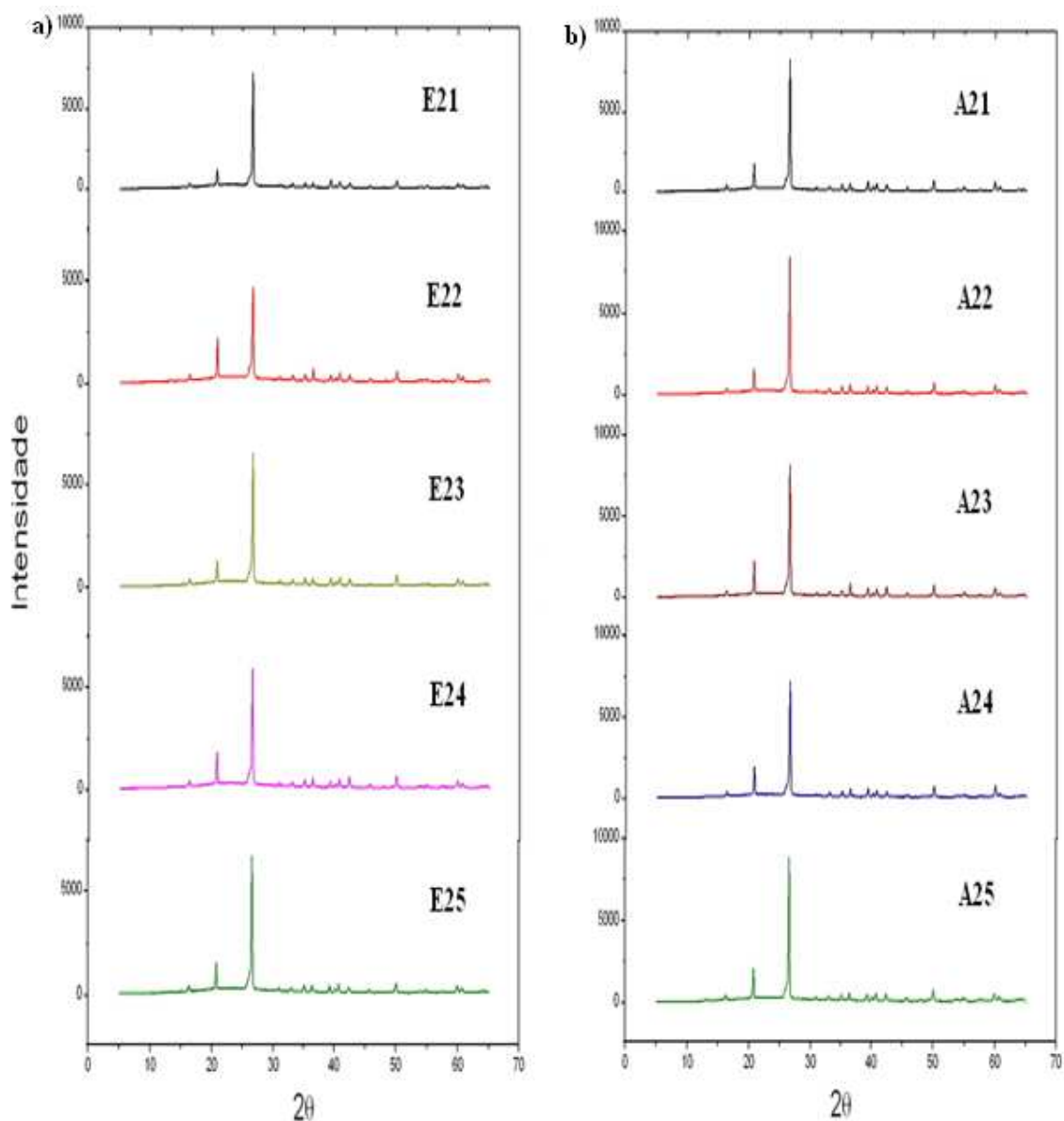


Figura 5.8 – Difração de raios-X, sinterizadas a 1.200 °C, das amostras: (a) composição européia-CE e, (b) composição americana-CA.

Com base nestas últimas difrações, percebe-se que entre as composições européias de 1.150 °C e 1.200 °C, os picos são os mesmos, logo as fases são as mesmas, e que o pico de 27° (mulita) aumentou e o pico de 21° (quartzo) diminuiu.

Já a composição européia com relação à americana para esta mesma temperatura, também se verifica que os picos são os mesmos, mas a fase amorfa da composição européia se apresenta maior do que a americana, e ainda observa-se o pico da mulita em 27° (mulita) e o pico do quartzo em 21° (quartzo) diminuíram.

Todavia para uma mesma composição, à medida que a temperatura aumenta os picos de mulita também aumentam, o que está coerente segundo [3, 9].

5.3 – Caracterização física

5.3.1 – Redução de massa (RM)

Ilustram-se abaixo os resultados de redução de massa das amostras europeia na Tabela 5.1, e americana na Tabela 5.2.

Tabela 5.1 – Redução de massa para amostras da composição europeia - CE.

Amostra	RM (%)	Amostra	RM (%)	Amostra	RM (%)
E1	6,08	E11	6,44	E21	5,93
E2	6,42	E12	6,20	E22	6,13
E3	6,11	E13	6,28	E23	5,75
E4	6,20	E14	6,37	E24	6,05
E5	6,42	E15	6,34	E25	6,24
E6	5,88	E16	6,37	E26	6,05
E7	6,08	E17	6,06	E27	6,11
E8	5,78	E18	5,86	E28	6,22
E9	5,76	E19	6,04	E29	6,28
E10	6,00	E20	6,39	E30	6,02
RM_{médio}	6,07		6,23		6,08
Desvio padrão	0,23		0,19		0,16

Tabela 5.2 – Redução de massa para amostras da composição americana - CA.

Amostra	RM (%)	Amostra	RM (%)	Amostra	RM (%)
A1	6,44	A11	6,71	A21	6,63
A2	6,86	A12	6,92	A22	6,54
A3	6,77	A13	6,69	A23	6,57
A4	6,77	A14	6,56	A24	6,65
A5	6,65	A15	6,65	A25	6,61
A6	6,47	A16	6,76	A26	6,59
A7	6,70	A17	6,59	A27	6,58
A8	6,53	A18	6,61	A28	6,53
A9	6,88	A19	6,91	A29	6,68
A10	6,47	A20	6,77	A30	6,57
RM_{médio}	6,65		6,72		6,60
Desvio padrão	0,17		0,12		0,05

Deve ser claro que as matérias-primas foram secadas em estufa a 110 °C, mesmo assim ocorreram pequenas perdas de massa, que podem estar relacionadas a água estrutural, aquela ligadas nos níveis dos planos basais das estruturas dos minerais utilizados (caulinita e tectossilicatos), assim como algum teor adsorvido durante o manuseio dos corpos de prova, a depender da umidade da atmosfera na qual estavam imersos e de sua capacidade de absorvê-la (possível, mas não determinada).

Deve ser salientado também que a redução de massa, durante a sinterização, está relacionada à combustão de matéria orgânica sempre presente em materiais resultantes de extração mineral, a matéria orgânica é um resíduo inevitável, no máximo podendo ser reduzido a teores traços.

Por fim, deve ser considerado que as reduções de massa determinadas nas Tabelas 5.1 e 5.2 estão diretamente relacionadas às evoluções gasosas (de origem aquosa e de origem orgânica, CO e CO₂), e que essas influenciam na porosidade de todo o volume (bulk), fechada e aberta, do corpo cerâmico.

5.3.2 – Absorção d'água (AA)

Os resultados de absorção de água das amostras estão expostos nas Tabelas 5.3 e 5.4, respectivamente nas composições européia e americana.

Tabela 5.3 - Absorção de água das amostras da composição européia - CE.

Amostra	AA (%)	Amostra	AA (%)	Amostra	AA (%)
E1	17,63	E11	7,47	E21	2,28
E2	17,06	E12	9,42	E22	2,50
E3	18,01	E13	8,65	E23	0,65
E4	17,21	E14	11,82	E24	4,33
E5	17,09	E15	6,15	E25	2,66
E6	16,74	E16	9,42	E26	2,62
E7	17,54	E17	9,27	E27	2,65
E8	17,06	E18	9,05	E28	2,81
E9	17,32	E19	9,30	E29	2,49
E10	17,38	E20	9,79	E30	2,65
AA_{médio}	17,30		9,04		2,56
Desvio padrão	0,36		1,48		0,88

Tabela 5.4 - Absorção de água das amostras da composição americana - CA.

Amostra	AA (%)	Amostra	AA (%)	Amostra	AA (%)
A1	19,13	A11	14,03	A21	7,65
A2	19,47	A12	13,76	A22	7,63
A3	19,12	A13	13,33	A23	8,13
A4	19,14	A14	13,91	A24	8,00
A5	19,28	A15	13,80	A25	7,85
A6	18,64	A16	13,35	A26	7,60
A7	19,15	A17	14,22	A27	7,81
A8	18,34	A18	14,38	A28	7,86
A9	18,85	A19	13,73	A29	7,93
A10	19,60	A20	13,96	A30	7,90
AA_{médio}	19,07		13,85		7,84
Desvio padrão	0,38		0,34		0,17

Conforme esperado, a medida da porosidade aberta, determinada pelo percentual de absorção de água, sofreu redução com o aumento da temperatura, tanto para os corpos de prova (produto final após sinterização) referente às composições de partida denominada de européia, como para aquelas de denominação americana. Deve ser observado que as composições segundo a proposta européia proporcionaram magnitudes de absorção de água menores que proposta americana. Esse comportamento é atribuído ao maior teor de feldspato nas composições de partida, pois esse material formou mais fase líquida na composição européia, no que promoveu maior densificação, que poderá ser verificada mais adiante pela medida da retração linear.

Ilustra-se abaixo na Figura 5.9, o gráfico de absorção de água pela temperatura para as composições européia e americana.

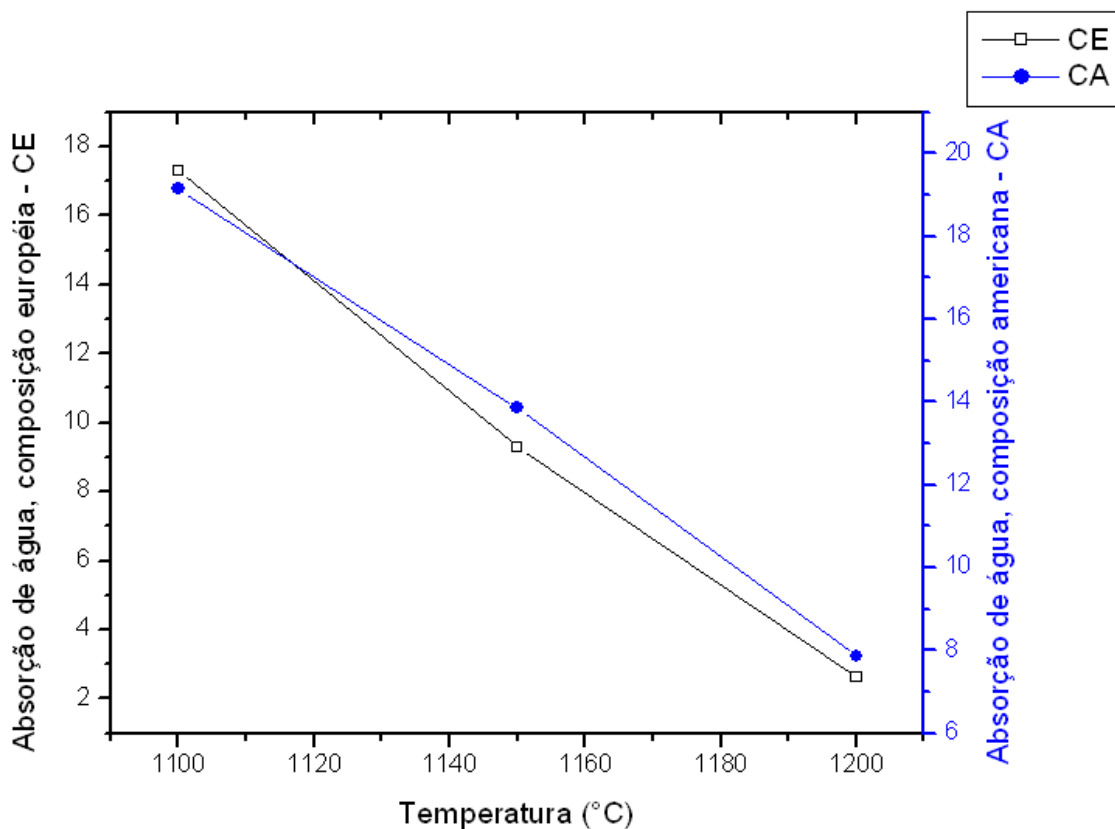


Figura 5.9 – Gráfico da absorção de água *versus* temperatura para a composição européia e americana.

5.3.3 – Retração linear (RL)

Os resultados da retração linear para as composições européia e americana estão ilustrados, respectivamente, nas Tabelas 5.5 e 5.6.

Tabela 5.5 – Retração linear das amostras da composição europeia - CE.

Amostra	RL (%)	Amostra	RL (%)	Amostra	RL (%)
E1	2,00	E11	5,70	E21	10,27
E2	2,00	E12	7,37	E22	10,27
E3	2,51	E13	6,25	E23	10,27
E4	2,00	E14	6,25	E24	10,27
E5	2,00	E15	7,37	E25	10,27
E6	2,00	E16	6,25	E26	9,68
E7	2,00	E17	6,25	E27	10,87
E8	2,51	E18	6,81	E28	10,27
E9	2,00	E19	6,81	E29	9,68
E10	2,00	E20	6,25	E30	10,87
RL_{médio}	2,10		6,53		10,27
Desvio padrão	0,22		0,54		0,40

Tabela 5.6 – Retração linear das amostras da composição americana - CA.

Amostra	RL (%)	Amostra	RL (%)	Amostra	RL (%)
A1	0,49	A11	3,55	A21	7,94
A2	0,99	A12	3,55	A22	6,25
A3	0,99	A13	3,55	A23	7,37
A4	0,99	A14	4,08	A24	6,81
A5	0,99	A15	4,08	A25	6,81
A6	0,49	A16	3,55	A26	7,94
A7	0,99	A17	3,03	A27	6,81
A8	0,49	A18	3,55	A28	7,37
A9	0,99	A19	4,08	A29	7,94
A10	1,49	A20	4,08	A30	6,86
RL_{médio}	0,89		3,71		7,21
Desvio padrão	0,32		0,36		0,59

Conforme foi brevemente antecipado na discussão sobre os resultados da absorção de água, as medidas da retração linear vêm justificar a redução esperada dos valores dessa propriedade com a temperatura. É importante salientar que essa coerência observada com a temperatura está estritamente relacionada com o mecanismo final de sinterização, no resfriamento térmico, de densificação pela solidificação da fase líquida,

que molhou as partículas e às aproximou por tensão superficial. Na etapa do resfriamento, a forma se consolida ocupando menos espaço devido à redução da energia vibracional no volume como um todo.

O gráfico da retração linear da composição européia *versus* temperatura e da composição americana *versus* temperatura está mostrado na Figura 5.10.

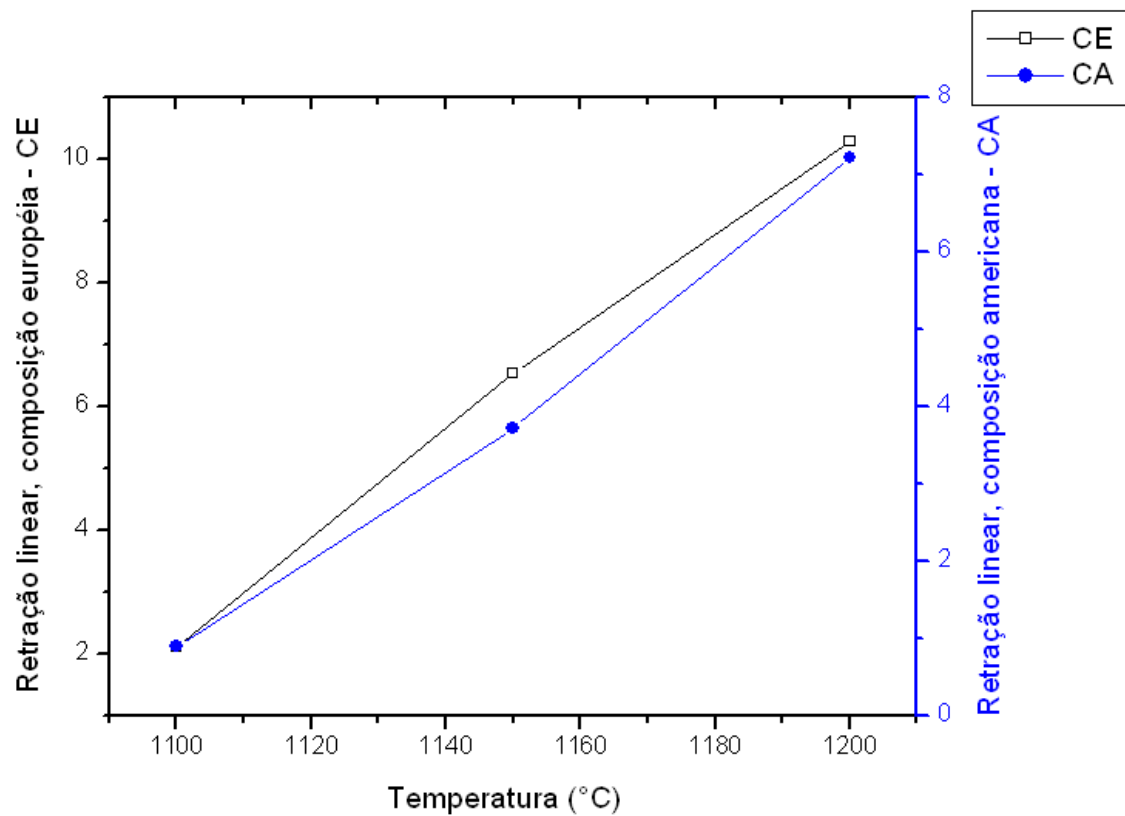


Figura 5.10 – Gráfico da retração linear *versus* temperatura para a composição européia e americana.

5.3.4 – Diagramas de gresificação

Nas Figuras 5.11 e 5.12, representam-se as curvas de gresificação das amostras das composições europeia e americana respectivamente em função da temperatura.

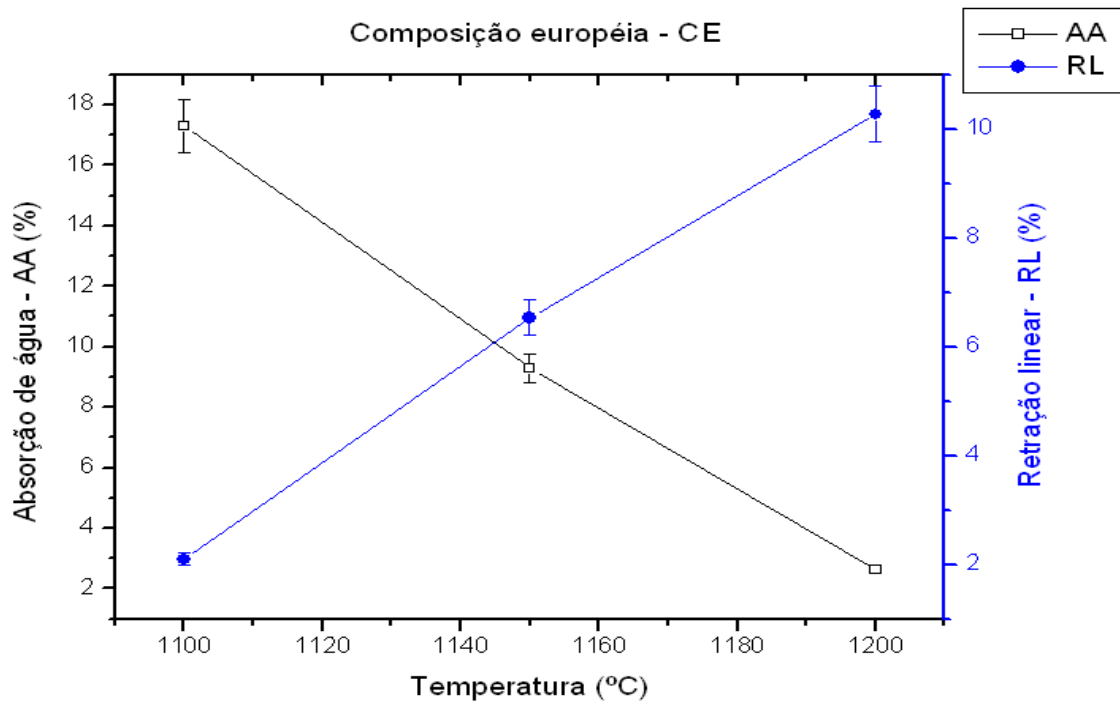


Figura 5.11 – Diagrama de gresificação da composição europeia.

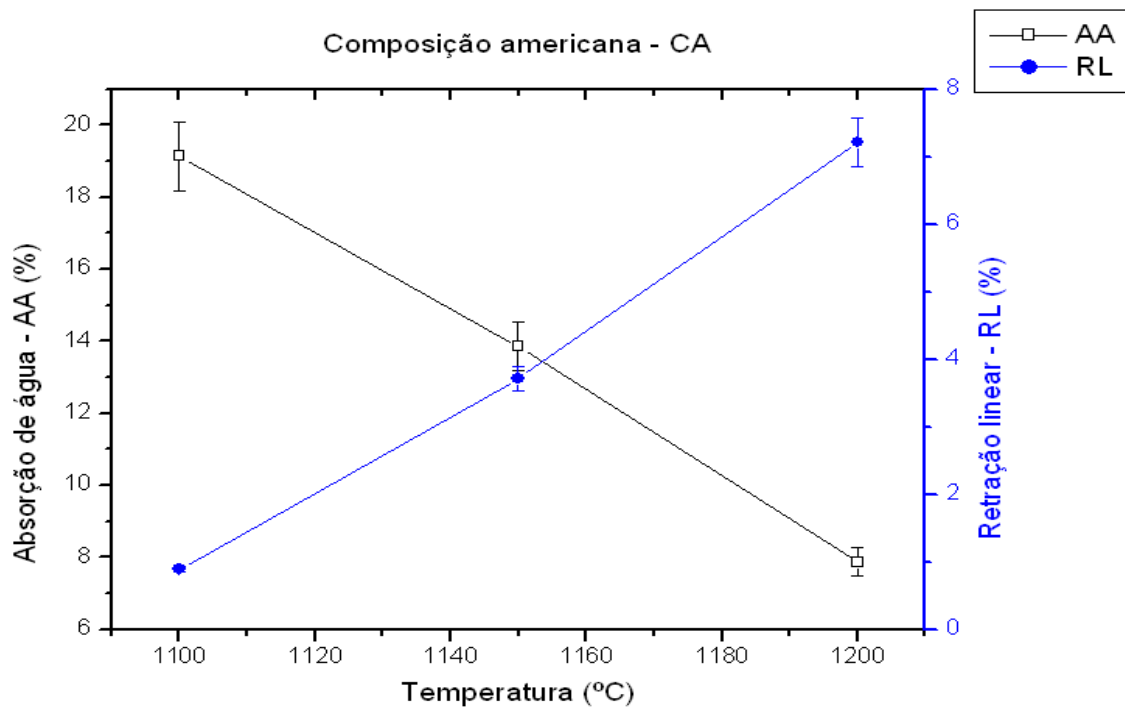


Figura 5.12 – Diagrama de gresificação da composição americana.

As curvas de gresificação estão coerentes conforme [23], uma vez que a absorção de água diminui enquanto a retração linear aumenta com o aumento da temperatura.

Com base ao exposto, na fundamentação, as curvas de gresificação não permitem, neste caso, a determinação da temperatura para menor gasto de energia.

5.4 – Caracterização mecânica

5.4.1 – Curvas tensão-deformação

Tem-se a seguir o resultado apresentando pelas curvas de tensão-deformação para as amostras do presente trabalho.

Na Figura 5.13 mostra-se o gráfico das amostras para a composição européia.

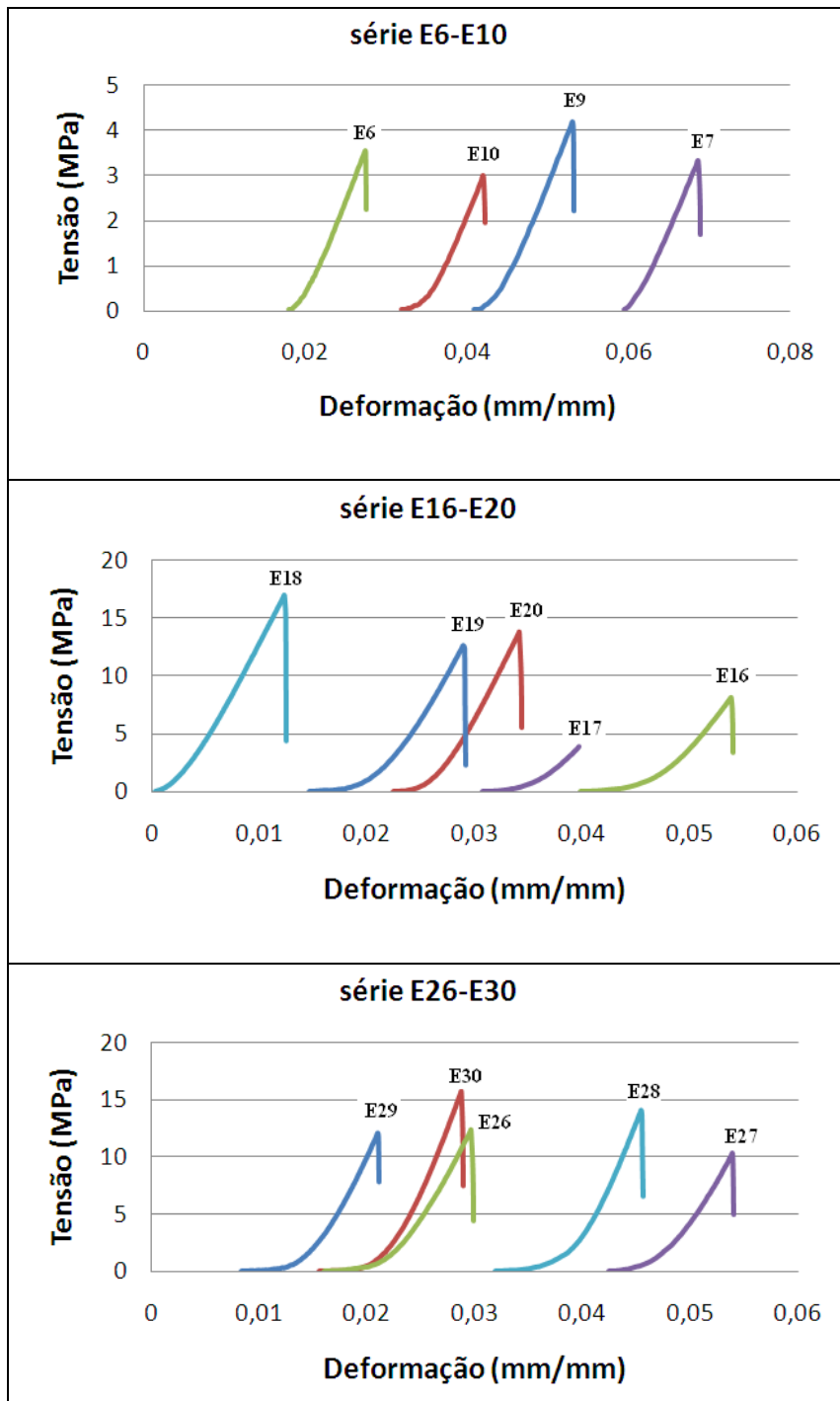


Figura 5.13 - Curvas tensão-deformação para as amostras da composição européia.

Na Figura 5.14 mostra-se o gráfico das amostras para a composição americana.

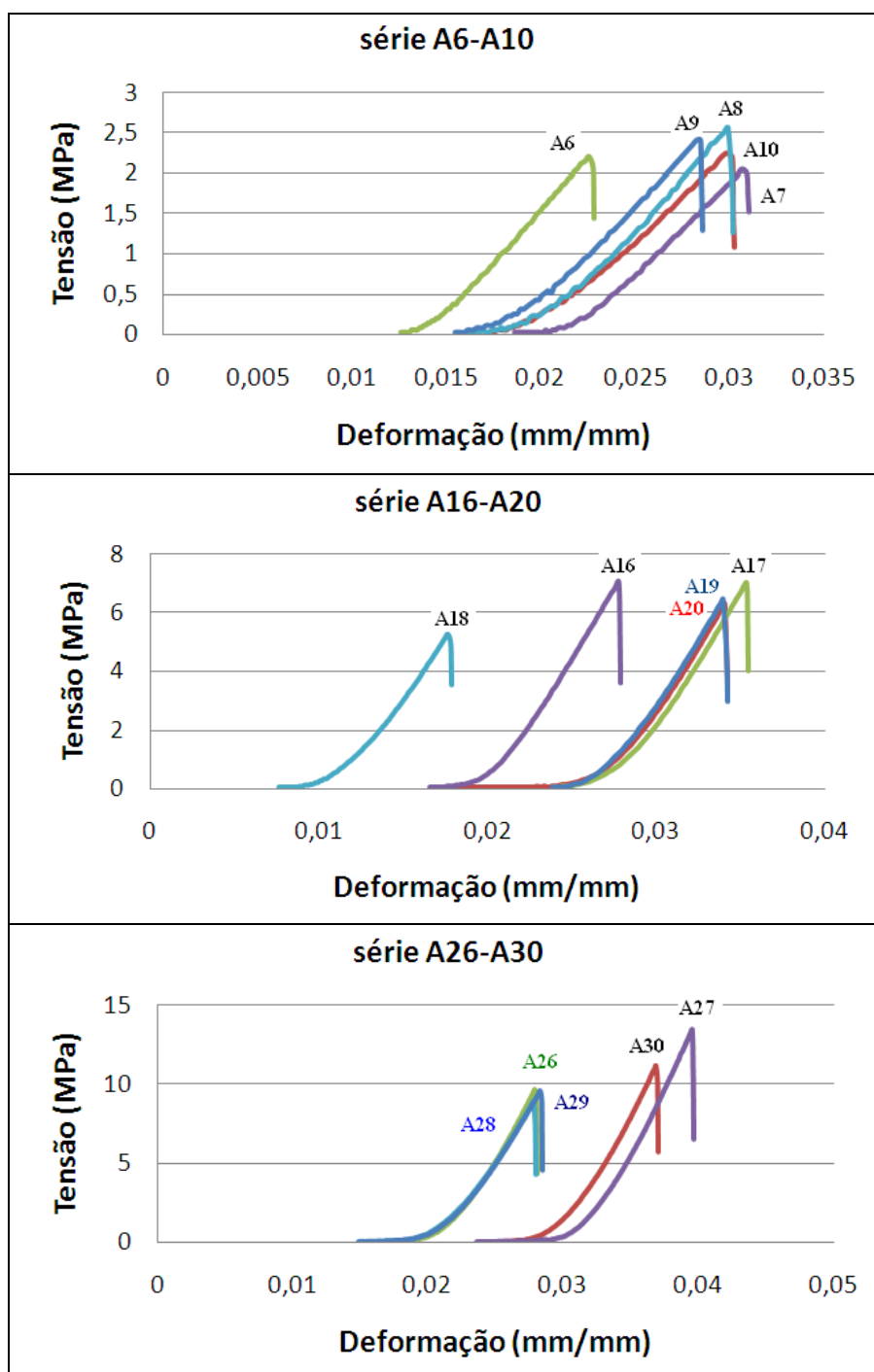


Figura 5.14 - Curvas tensão-deformação para as amostras da composição americana.

Deve-se observar que as curvas mostradas nas Figuras 5.13 e 5.14, à medida que a temperatura de sinterização das amostras aumentou a tensão também aumentou.

Percebe-se também que a composição européia, apresenta melhores propriedades mecânicas, isso devido ao teor de feldspato ser maior em sua composição do que na composição americana.

5.4.2 – Módulo de Young

Da análise e dos cálculos apresentados nas curvas de tensão-deformação, mostrados anteriormente nas Figuras 5.13 e 5.14, apresentam-se abaixo os resultados do módulo de Young das amostras para as composições européia na Tabela 5.7, e americana na Tabela 5.8.

Tabela 5.7 - Módulo de Young das massas de composição européia.

Amostra	E (MPa)	Amostra	E (MPa)	Amostra	E (MPa)
E6	129,2*	E16	150,8	E26	416,1
E7	48,1	E17	96,5	E27	191,4*
E8	---	E18	1383,4*	E28	310,9
E9	78,8	E19	434,2	E29	574,9
E10	70,6	E20	401,8	E30	546,6
E_{MÉDIO}	70,6		276,3		481,4
Desvio padrão	15,9		171,9		122,3

(*) Amostra censurada.

Tabela 5.8 - Módulo de Young das massas de composição americana.

Amostra	E (MPa)	Amostra	E (MPa)	Amostra	E (MPa)
A6	97,9	A16	198,7	A26	343,2
A7	67,3*	A17	254,4	A27	339,8
A8	85,5	A18	298,3	A28	320,2
A9	84,4	A19	190,6	A29	337,6
A10	75,1	A20	185,0*	A30	303,7*
E_{MÉDIO}	85		226,6		338,7
Desvio padrão	9,4		50,6		10,3

(*) Amostra censurada.

Optou-se por censurar resultados com valores muito díspares, maiores ou menores em relação aos demais mensurados.

A média dos resultados do módulo de Young das amostras para as duas composições estão dentro dos valores apresentados segundo [8], mas a composição americana se mostrou mais dentro destes parâmetros.

A composição americana, para temperaturas superiores a 1.150 °C, apresentou números menores do que a composição europeia, isto se deu, segundo [8, 13], por dois motivos: primeiro, a composição americana tem um teor de 5% a mais de caulim, o que já diminui o módulo de Young, e segundo, porque o teor de feldspato da composição europeia é bem maior, o que implica em maiores resultados de resistência mecânica.

A seguir tem-se a representação das composições europeia e americana que relaciona módulo de Young com a temperatura na Figura 5.15.

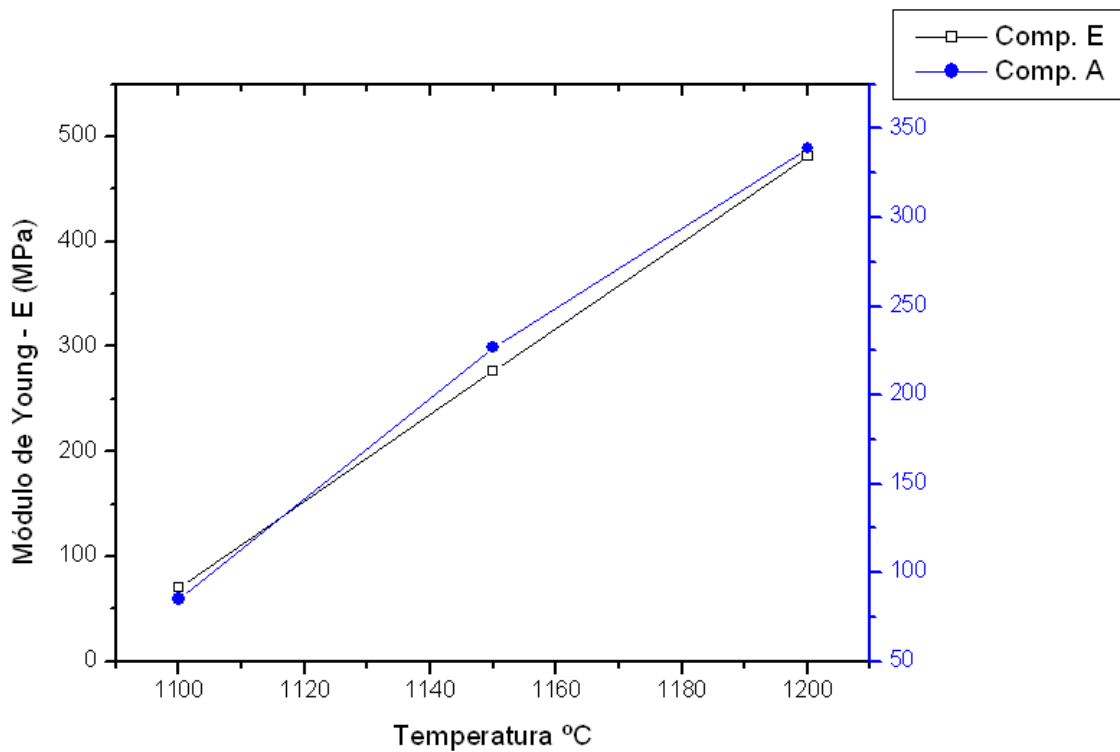


Figura 5.15 – Gráfico da composição europeia e americana para o módulo de Young *versus* temperatura.

Percebe-se a semelhança linear entre os gráficos das composições europeia e americana na Figura 5.15.

5.5 – Caracterização elétrica

5.5.1 – Resistividade (ρ)

O resultado da resistividade (ρ) nas composições europeia e americanas está exposto nas Tabelas 5.9 e 5.10.

Tabela 5.9 – Resistividade das amostras na composição europeia - CE.

Amostra	ρ ($G\Omega \times$ cm)	Amostra	ρ ($G\Omega \times$ cm)	Amostra	ρ ($G\Omega \times$ cm)
E6	2992,6	E16	6170,1	E26	1265,7
E7	2992,6	E17	1891,7	E27	2394,7
E8	3383,6	E18	1621,1	E28	1450,6
E9	2992,6	E19	1395,3	E29	16814,6
E10	2318,5	E20	6216,4	E30	534,11
ρ médio	2992,6		1891,7		1450,6
Desvio padrão	384,5		2502,3		6920,4

Tabela 5.10 – Resistividade das amostras na composição americana – CA.

Amostra	ρ ($G\Omega \times$ cm)	Amostra	ρ ($G\Omega \times$ cm)	Amostra	ρ ($G\Omega \times$ cm)
A6	4309,0	A16	531,55	A26	678,63
A7	2389,0	A17	1143,5	A27	445,92
A8	248,80	A18	1297,3	A28	449,30
A9	614,79	A19	452,65	A29	370,06
A10	1685,9	A20	308,56	A30	482,83
ρ médio	1685,9		531,6		449,3
Desvio padrão	1616,6		426,4		115,7

A ordem de grandeza para as composições europeia e americana apresentadas é de 10^{12} ($\Omega \times$ cm), que se mostra abaixo dos valores apresentados conforme [19], que é da ordem de 10^{14} ($\Omega \times$ cm), mas vale ressaltar que a temperatura de sinterização do presente trabalho teve um máximo de 1.200 °C, enquanto que pela literatura [8] o valor

limite apresentado para essa grandeza é estabelecido entre temperaturas de 1.250 °C e 1.330 C.

Da análise dos resultados ilustrados nas Tabelas 5.9 e 5.10, e conforme [1], percebe-se que para as composições européia e americana, à medida que a temperatura aumentou a resistividade diminuiu, e que para uma mesma temperatura de sinterização, a composição americana apresenta valores menores do que a composição européia, conforme mostrada na Figura 5.16.

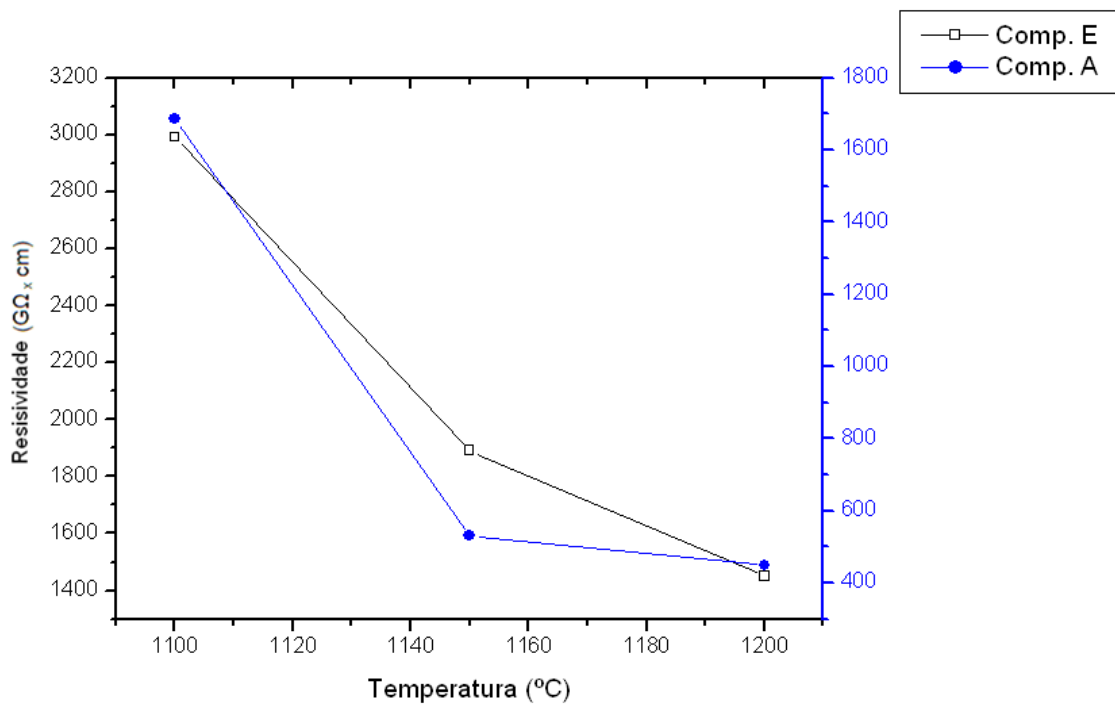


Figura 5.16 - Gráfico da composição européia e americana para a resistividade *versus* temperatura.

Percebe-se pela Figura 5.16 que a composição americana apresenta resistividade menor do que a composição européia, isso porque, segundo [1], a composição americana é mais porosa do que a composição européia.

5.5.2 – Constante dielétrica (k)

Nas Tabelas 5.11 e 5.12, respectivamente para a composição europeia e americana, estão apresentados os valores calculados para a constante dielétrica (k), pela Equação 3.9; e para a incerteza (C) pela Equação 4.8.

Tabela 5.11 – Valores de constante dielétrica (k) e incerteza (C) para a composição europeia.

100Ω	Constante dielétrica (k)					
0,3v	100 Hz		1 kHz		10 kHz	
Amostra	k	C	k	C	k	C
E6	26,14	18010244,0	24,45	1889626,4	3,7	209244,7
E7	26,34	18010395,1	24,43	1889472,4	3,7	209284,4
E8	25,82	18010233,8	24,15	1889472,4	3,7	209264,6
E9	25,67	18009877,3	24,43	1889435,8	3,7	209254,1
E10	26,52	18010182,9	24,86	1889516,4	3,8	209319,4
E16	27,3	18010337,5	25,4	1889575,0	3,9	209137,6
E17	27,3	18010239,3	25,5	1889611,7	3,9	209204,0
E18	26,4	18009967,6	25,1	1889465,1	3,8	209243,6
E19	26,8	18010304,5	25,0	1889435,8	3,8	209163,2
E20	27,4	18010247,9	25,6	1889457,8	3,9	209155,1
E26	28,2	18010279,3	26,3	1889692,4	4,0	209243,6
E27	28,2	18009956,0	26,7	1889479,8	4,1	209272,7
E28	26,7	18009831,2	25,5	1889714,4	3,9	209197,0
E29	28,2	18009957,5	26,7	1889428,5	4,1	209335,8
E30	28,5	18010216,6	26,7	1889582,4	4,1	209263,4

Tabela 5.12 – Valores de constante dielétrica (k) e incerteza (C) para a composição americana.

100Ω	Constante dielétrica (k)					
0,3v	100 Hz		1 kHz		10 kHz	
Amostra	k	C	k	C	k	C
A6	26,0	18010386,4	24,1	1889516,4	3,7	209294,9
A7	25,8	18010256,6	24,1	1889538,4	3,7	209250,6
A8	25,4	18010228,3	23,8	1889670,4	3,6	209259,9
A9	26,2	18010242,4	24,5	1889413,8	3,7	209255,2
A10	26,5	18010348,5	24,7	1889692,4	3,8	209243,6
A16	26,7	18009967,6	25,3	1889501,7	3,9	209238,9
A17	26,3	18010138,4	24,7	1889553,1	3,8	209235,4
A18	26,2	18010062,9	24,7	1889223,5	3,8	209220,3
A19	26,8	18010206,4	25,0	1889282,0	3,8	209248,2
A20	26,5	18010174,3	24,9	1889553,1	3,8	209242,4
A26	27,4	18010314,7	25,5	1889450,5	3,9	208950,8
A27	27,1	18010141,6	25,4	1889531,1	3,9	209215,6
A28	27,2	18010094,8	25,6	1889509,1	3,9	209277,4
A29	27,3	18010302,9	25,4	1889479,8	3,9	209269,2
A30	27,3	18010274,6	25,4	1889435,8	3,9	209247,1

Nas Figuras 5.17 e 5.18, representam-se os gráficos da constante dielétrica (k) *versus* a temperatura e resistividade (ρ) *versus* a temperatura para as amostras nas composições europeia e americana.

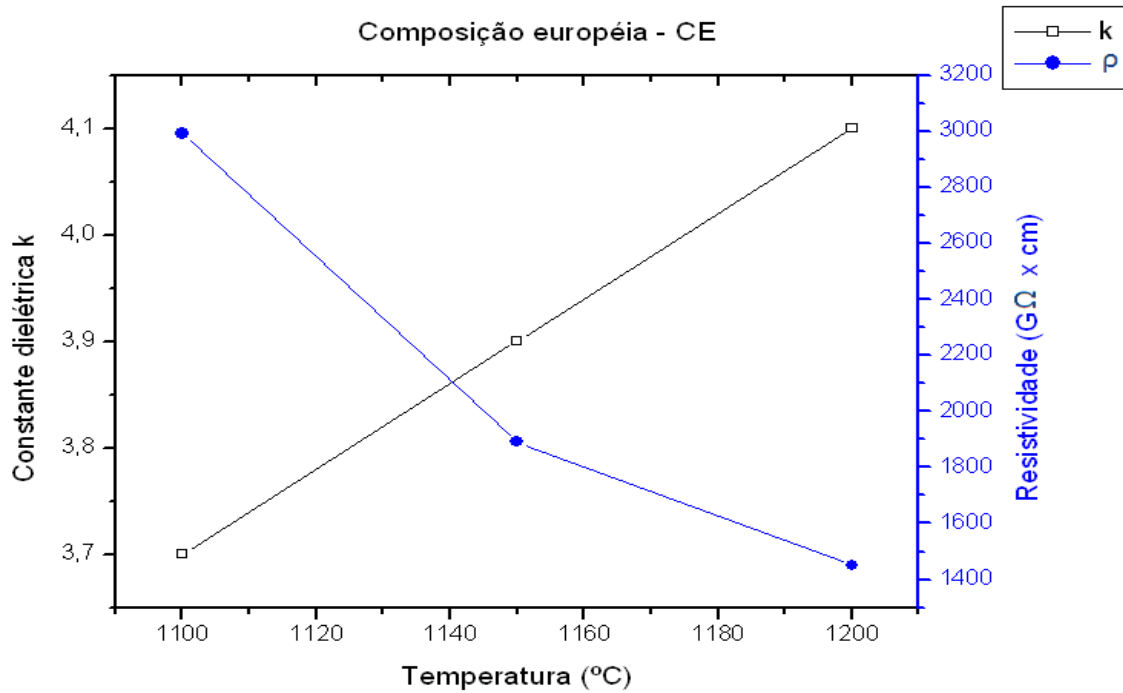


Figura 5.17 – Gráfico da constante dielétrica (k) *versus* a temperatura e resistividade (ρ) *versus* a temperatura para amostras na composição europeia.

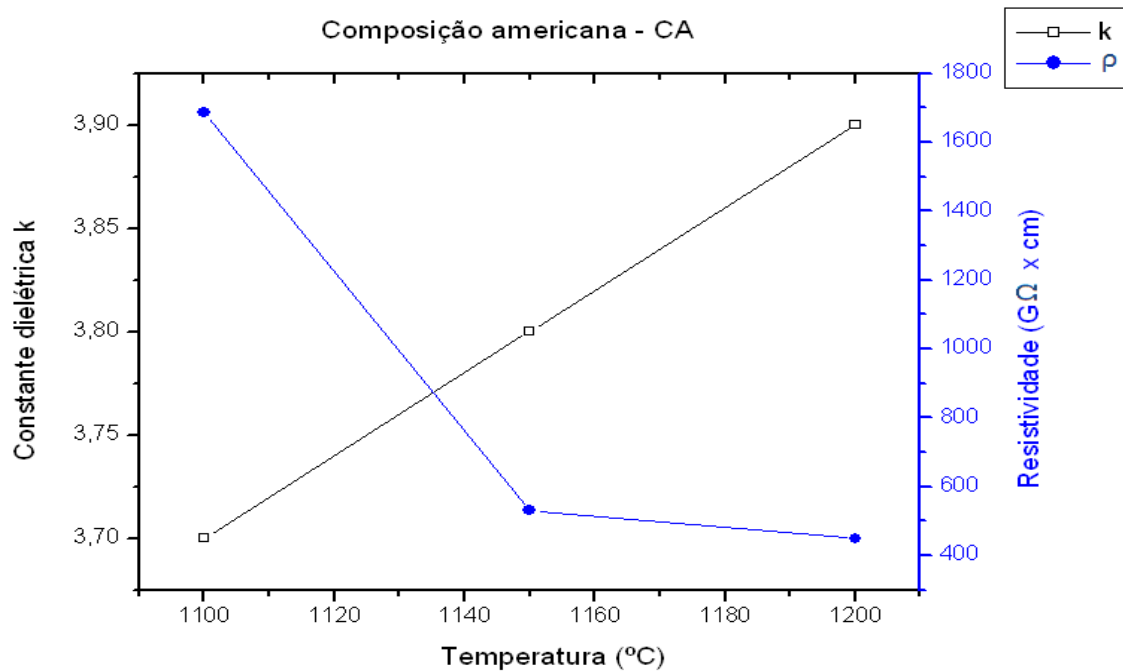


Figura 5.18 – Gráfico da constante dielétrica (k) *versus* a temperatura e resistividade (ρ) *versus* a temperatura para amostras na composição americana.

Percebe-se pelos gráficos das Figuras 5.17 e 5.18, que a resistividade diminuiu com o aumento da temperatura para as composições européia e americana, e que à medida que esta resistividade diminuiu a constante dielétrica aumentou.

Abaixo, na Figura 5.19, está ilustrada a relação da composição européia e americana em função da constante dielétrica (com frequência de 10 kHz) *versus* temperatura.

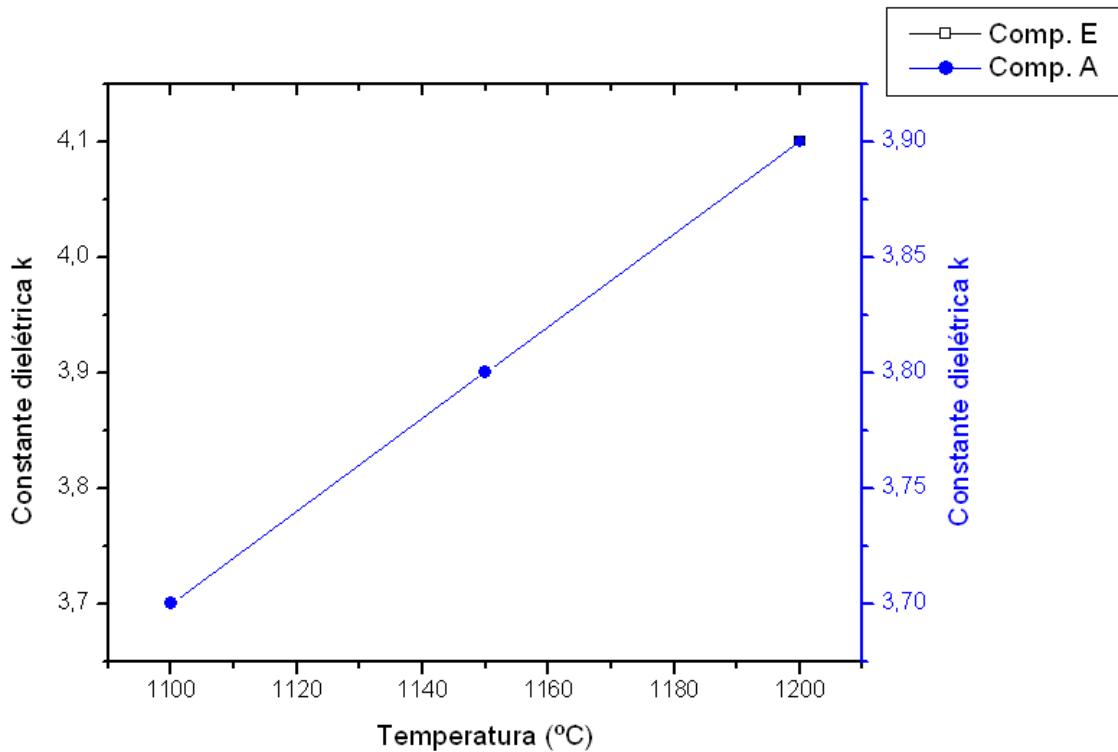


Figura 5.19 – Gráfico da composição européia e americana para a constante dielétrica *versus* temperatura.

Da Figura 5.19, percebemos que para a composição européia e americana, à medida que a temperatura aumentou a constante dielétrica também aumentou.

Percebe-se também semelhante linearidade entre os gráficos entre a composição européia e americana.

Os valores para a constante dielétrica (k) se apresentam muito próximos com os da literatura, conforme [19].

Abaixo, segue o gráfico da constante dielétrica *versus* frequência para a composição européia e americana, respectivamente, dada pela Figura 5.20.

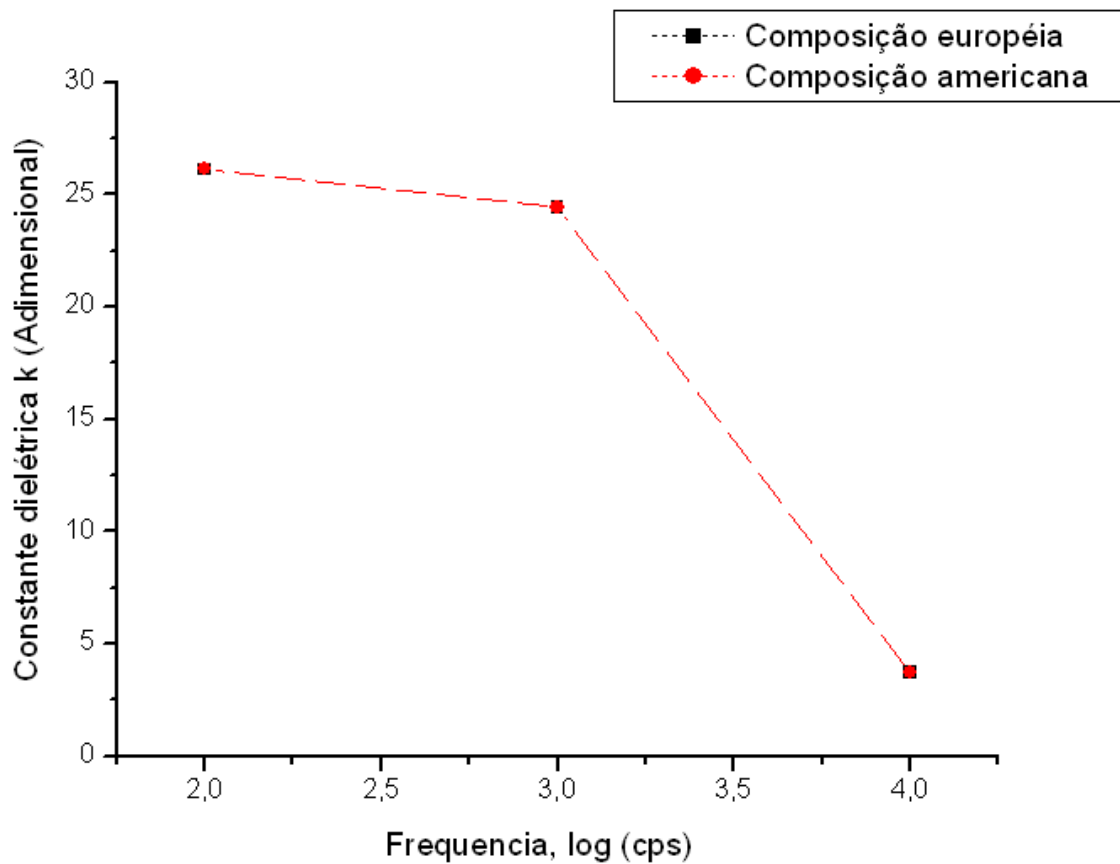


Figura 5.20 - Gráfico da constante dielétrica *versus* frequência para a composição européia e americana.

Da análise do gráfico, percebe-se pela curva, que à medida que a frequência aumenta a constante dielétrica diminui, o que se apresenta coerente segundo [1].

A seguir, têm-se o gráfico da constante dielétrica *versus* temperatura e módulo de Young *versus* temperatura, para a composição européia e americana, conforme Figura 5.21.

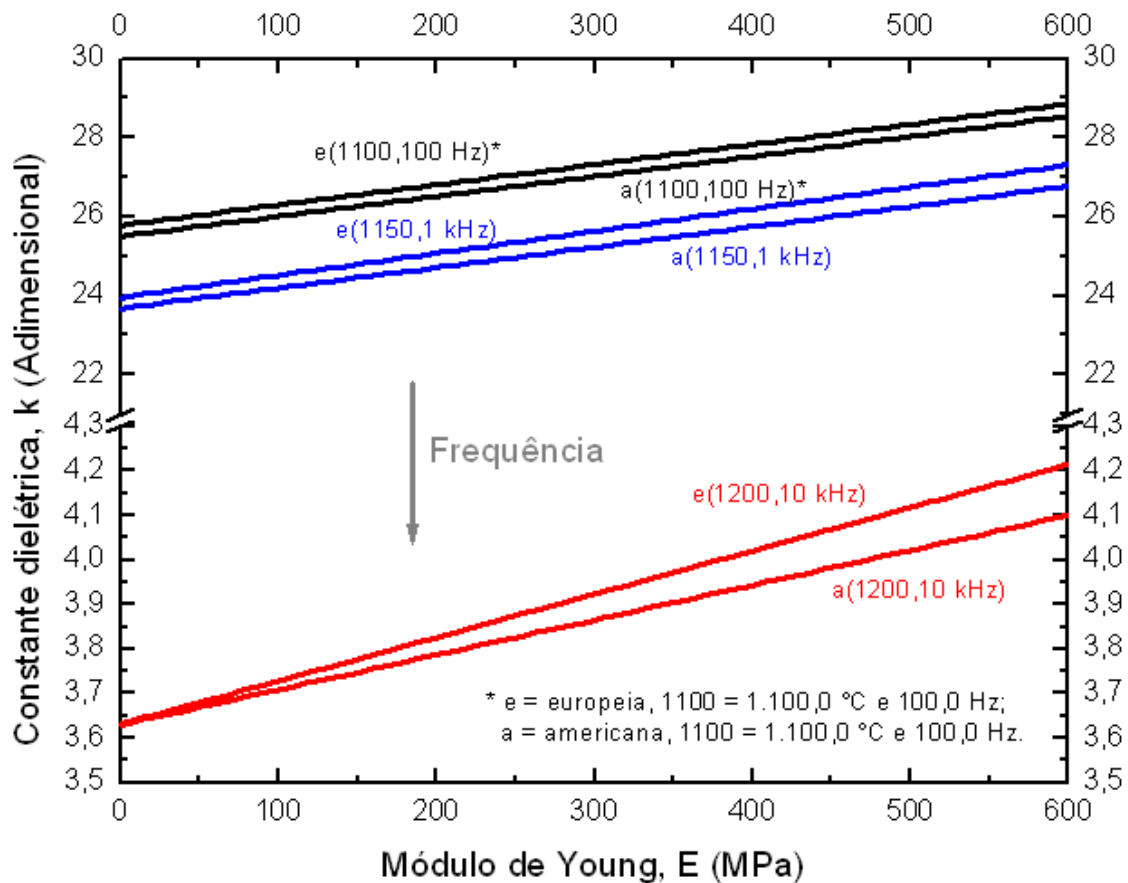


Figura 5.21 - Gráfico da constante dielétrica *versus* temperatura e módulo de Young *versus* temperatura, para a composição européia e americana.

As curvas da Figura 5.21, indicam, de forma similar às da Figura 5.20, a redução da constante dielétrica com o aumento da frequência. Contudo, tanto a constante dielétrica como o módulo de Young aumentam com o aumento da temperatura.

É importante salientar que os conjuntos de duas curvas, apresentados na Figura 5.21, levam a possibilidade de se estabelecer conjuntos (famílias) de curvas, à medida que se altera os teores de componentes de uma massa cerâmica. Dessa forma, pode se estabelecer expressões analíticas que proporcionem determinar a propriedade dielétrica a partir da mecânica. Esses conjuntos de curvas indicam a sensibilidade das propriedades mensuradas a pequenas alterações nas composições de partida, em termos de percentual m massa, assim como com a temperatura de sinterização.

A seguir, na Figura 5.22, tem-se os gráficos da constante dielétrica *versus* módulo de Young, para a composição européia e americana.

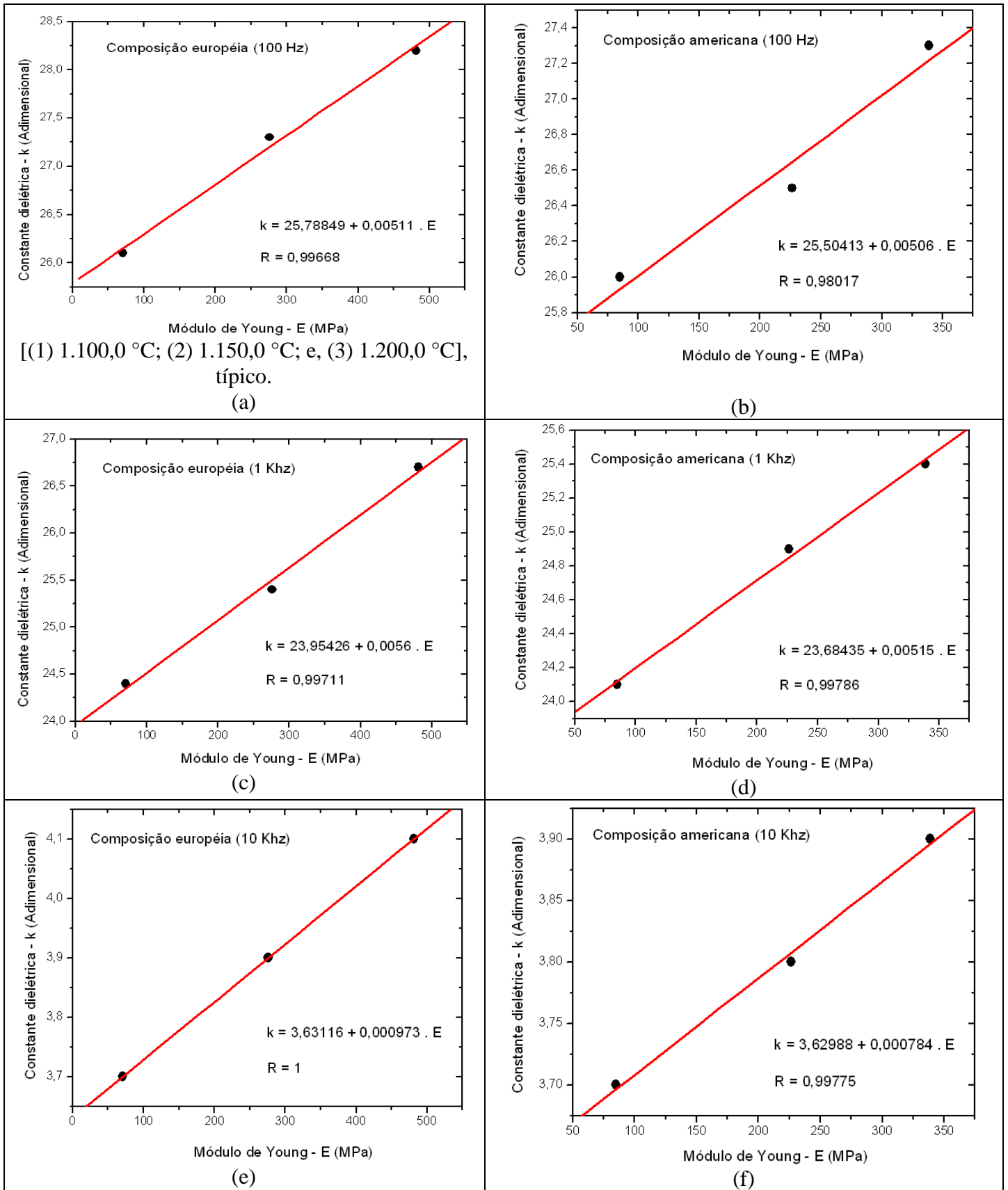


Figura 5.22 - Gráficos da constante dielétrica *versus* módulo de Young, para a composição europeia e americana.

Observando-se as curvas da Figura 5.22 verifica-se uma relação direta entre a constante dielétrica e o módulo de Young. Sendo assim, essas curvas estão muito próximas de uma função linear. Logo, reduzindo os intervalos de temperatura, decerto a relação entre as grandezas mensuradas levará a ajuste linear que permitirá a determinação da expressão analítica da constante dielétrica em função do módulo de Young com grande precisão. No entanto, mesmo com apenas três temperaturas, observa-se que existe uma correlação entre a constante dielétrica e o módulo de Young de intensa aproximação, ou seja, observa-se que os coeficientes de correlação “ r ” estão sempre muito próximos de 1 (um). Em verdade, para a curva da Figura 5.22 (e), tem-se $r = 1$.

Se observado agora os coeficientes angulares das curvas, para os casos de frequências de 100 Hz e 1 kHz, praticamente não se observa diferenças de comportamento, mantendo-se coerência com a elevação da temperatura em cada caso. No entanto, com o aumento da frequência para 10 kHz, o que representa um fator de 10, o coeficiente angular inversamente sofreu uma variação de mesma ordem de grandeza, ainda assim mantendo-se a coerência com a elevação da temperatura. De forma geral, conforme podia ser esperado os valores de k sofreu redução com o aumento da frequência. Analogamente, o crescente incremento de k com E, e ambos com a elevação da temperatura, estão diretamente relacionados com o aumento do teor de fase vítrea. Pois, a temperatura, como catalisador de reações, promove a maior formação da fase mencionada e, ambas estão diretamente relacionadas ao caráter isolante de um material cerâmico, assim como a maiores módulos de Young em relação aos materiais metálicos, por exemplo. Essa análise sobre a temperatura está em pleno acordo com a discussão sobre a Figura 5.21.

As observações assim anteriores da influência da temperatura no incremento das magnitudes das grandezas podem ser bem percebidas pelos comportamentos das curvas da Figura 5.20.

A seguir, têm-se os gráficos da constante dielétrica *versus* temperatura e módulo de Young *versus* temperatura, para a composição européia e americana, conforme Figura 5.23.

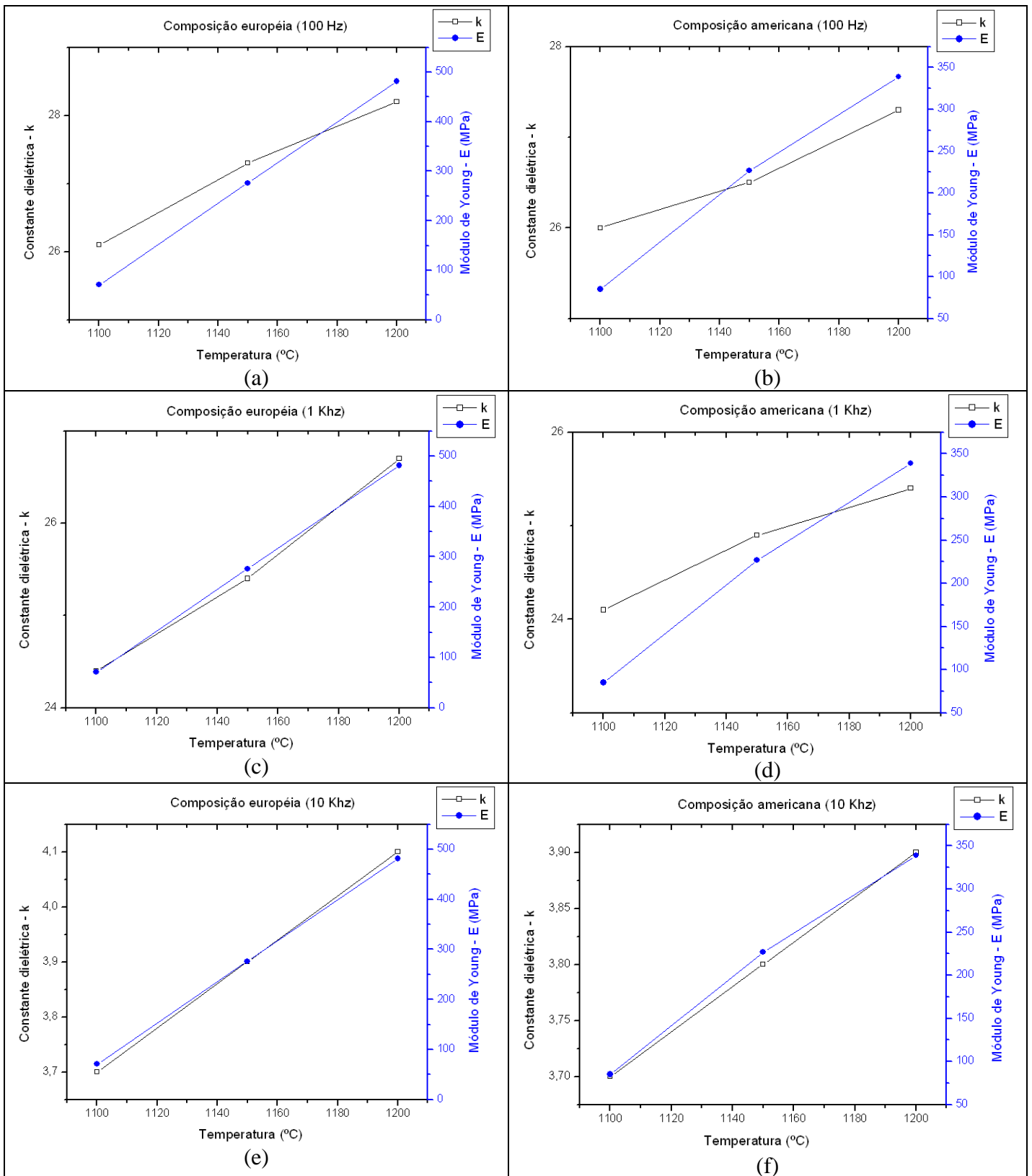


Figura 5.23 - Gráficos da constante dielétrica *versus* temperatura e módulo de Young *versus* temperatura, para a composição europeia e americana.

Observando a Figura 5.23, verifica-se o aumento do módulo de Young e também da constante dielétrica com o aumento da temperatura. Já para a composição européia, o módulo de Young apresenta uma taxa de crescimento entre 1.100 °C e 1.150 °C maior em relação à constante dielétrica. Essa observação pode ser facilmente justificada pela maior variação de feldspato perante as demais matérias-primas, o que tornou a composição européia-CE mais reativa, perante maior teor de fase líquida, onde provavelmente ocorreu maior quantidade de fase vítrea, e que pode ser justificado pela redução da intensidade dos picos com a evolução da temperatura nos difratogramas de raios-X. As demais curvas para diferentes frequências apresentam comportamento similares, e cuja separação entre as mesmas é apenas um efeito de escala.

O maior teor de fase vítrea também pode ser comprovado pelo maior encurvamento das linhas base dos difratogramas de raios-X das composições européias em relação às composições americanas. Essa afirmação pode ser verificada visualmente pelos detalhes típicos dos difratogramas da E25 (composição européia, a 1.200 °C) e A25 (composição americana, a 1.200 °C), para o intervalo de $15^\circ \leq 2\theta \leq 35^\circ$, apresentados na Figura 5.24.

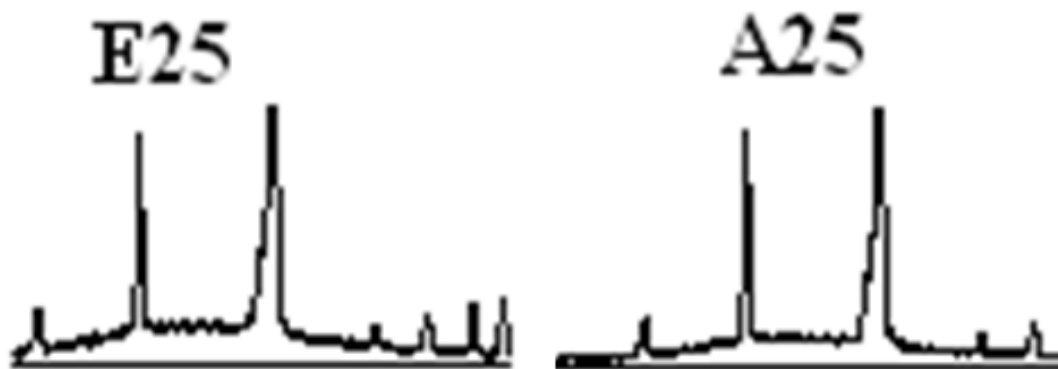


Figura 5.24 - Gráfico com detalhes típicos dos difratogramas das amostras E25 e A25 para $15^\circ \leq 2\theta \leq 35^\circ$.

CONCLUSÕES

Fundamentado nos resultados apresentados, conclui-se que:

- i) Inicialmente pode-se afirmar que os objetivos do presente trabalho foram atingidos, pois foi possível estudar os comportamentos das propriedades mecânicas e elétrica para duas massas cerâmicas diferentes apenas pelos teores de seus constituintes;
- ii) Analogamente ao item (i), observou-se a sensibilidade das propriedades mensuradas às variações dos teores dos constituintes de uma massa cerâmica com caulim, feldspato sódico e quartzo;
- iii) As medidas resultaram em valores bastante confiáveis, apesar do pequeno número de amostras utilizadas ao longo do procedimento, e mesmo havendo a necessidade de censura de resultados, prática comum em estatística;
- iv) Apesar da utilização do processo via seca em comparação com os trabalhos presentes na literatura, onde se conforma com teores de umidade diferentes de nulo, os valores de absorção de água (AA), retração linear (RL), densidade (D) e módulo de Young (E) se apresentaram conforme a literatura.
- v) Deve ser claro que, para temperaturas entorno de 1200 °C deve-se atingir as maiores magnitudes das propriedades medidas, uma vez que ocorre maior formação de fase vítrea. No entanto, com o presente trabalho pretendeu-se apenas um estudo comparativo entre propriedades mecânicas e elétricas.

- vi) Foi de grande importância observar a possibilidade de se estabelecer a constante dielétrica de um material cerâmico como uma função do módulo de Young, ao se manter constante a temperatura de sinterização; logo, é possível escrever

$$k(T) = a + cE(T)$$

sendo k e E dependentes da temperatura (T); a e c constantes e dependentes da composição de partida e, mais especificamente, do teor de feldspato. É importante salientar que, um material cujas propriedades elétricas e mecânicas são regidas por essa relação, sofre influência direta da frequência, o que está em pleno acordo com a literatura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] VAN-VLACK, L. H. **Princípios de Ciência dos Materiais**. Editora Afiliada, 13^a edição, 2000.
- [2] CORREIA S. L.; HOTZA D.; SEGADÃES A. M. **Otimização da resistência mecânica de corpos cerâmicos em função de matérias-primas e restrições de propriedades tecnológicas**. Cerâmica v.51 n.319 São Paulo jul./set. 2005. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-6913200500030>. Acessado em 24 de agosto de 2012.
- [3] SCHULLER, D.; BIANCHI E. C.; AGUIAR P. R. **Influência de defeitos e diferentes processos de fabricação nas propriedades mecânicas finais de cerâmicas**. Cerâmica vol.54 no.332 São Paulo Oct./Dec. 2008. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0366-69132008000400008&script=sci_arttext>. Acessado em 24 de agosto de 2012.
- [4] ANFACER – Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimento, Louças Sanitárias e Congêneres. Disponível em: < <http://www.anfacer.org.br/site/default.aspx?idConteudo=158&n=Vantagens-do-Uso-da-Cer%C3%A2mica> > Acessado em 26 de agosto de 2012.
- [5] BAUER A. FALCÃO. **Materiais de Construção**.V.2. Novos Materiais para Construção Civil; revisão técnica João Fernando Dias. 5^a ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.
- [6] ALVES, JOSÉ DAFICO. **Materiais de construção**. Materiais Cerâmicos 8^a Ed. UFG/editor UCG, Goiânia, 2006.
- [7] CALLISTER, WILLIAM D., **Materials Science and Engineering: An Introduction**. 7^a Edição, New York, John Wiley & Sons, 2007.
- [8] A. L. CHINELATTO; D. P. F. DE SOUZA. **Porcelanas elétricas aluminosas: Parte I, Revisão de literatura**. Cerâmica, v.50, no.313 São Paulo Jan./Mar. 2004. Disponível em: < <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0366-69132004000100010&>>. Acessado em 18 de dezembro de 2011.

- [9] NUNES FREIRE, M. **Uso de matérias-primas argilosas do Estado do Rio de Janeiro em massas cerâmicas para porcelanato: formulação, propriedades físicas e microestrutura.** 2007. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciências de Materiais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, 2007.
- [10] SCHMIDT, WALFREDO. **Materiais elétricos: isolantes e magnéticos.** V.2. 2^a .ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1979.
- [11] MAITI K. N., KUMAR S. SARKAR R. **Phase and microstructure evolution during hydrothermal solidification of clay–quartz mixture with marble dust source of reactive lime.** Ceram. Int. 18, 6 (1992) 403-412. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0955221904005266>>. Acessado em 24 de agosto de 2012.
- [12] KOBAYASHI, Y., OHIRA, O., OHASHI, Y., KATO, E. **Effect of firing temperature on bending strength of porcelains for tableware.** J. Am. Ceram. Soc. 75(7), 1801-1806, 1992. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/24802900/Handbook-of-Ceramics>>. Acessado em 24 de agosto de 2012.
- [13] BATES, R. L. **Industrial Minerals and Rocks.** Dover Publications Inc., Toronto, Canadá, 1969. p242-243.
- [14] DA LUZ, A. B.; DAMASCENO, E. C. **Caulim um Mineral Industrial Importante.** CETM/CNPq, Série Tecnologia Mineral no 65, Rio de Janeiro-RJ, 1993. 29p.
- [15] BARBA, A., BELTRÁN, V., FELÍU, C., GARCÍA, J., GINÉS, F., SÁNCHEZ, E., SANZ, V. **Materias Primas para la Fabricación de Soportes de Baldosas Cerámicas.** 2^a Edición, Instituto de Tecnología Cerámica, Castellón, España, 2002.
- [16] LUZ, A. B.; LINS, F. A. F.; PIQUET, B.; COSTA, M. J.; COELHO, M. J. **Pegmatitos do Nordeste: Diagnóstico sobre o Aproveitamento Racional e Integrado** - Série Rochas e Minerais Industriais, nº 9. CETEM/MCT, Rio de Janeiro, RJ, 2003. p79.

- [17] NORTON, F. H. **Introdução à Tecnologia Cerâmica.** ___ ed. São Paulo, Brasil: Editora Edgard Blücher Ltda, 1973. p. 26.
- [18] MORELLI, MÁRCIO. **Curso formulação de materiais cerâmicos e sua aplicação.** UFSCar/UNESP. São Carlos, 2000.
- [19] KOCHKIN N. I.; CHIRKÉVITCH M. G. **Prontuário de Física Elementar.** Tradução por Marina Kostrítsina. Editora Mir, 1986. Cap. 4, p. 127-140.
- [20] KITTEL, CHARLES. **Introdução à física do estado sólido;** tradução Ronaldo Sérgio de Biasi. Rio de Janeiro: LTC, 2006.
- [21] SILVA, E. C. **Obtenção de uma cerâmica dielétrica a partir de matérias primas do Rio Grande do Norte.** 2010. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.
- [22] SÁNCHEZ-MUÑOZ, L. ET AL. **Seleção de matérias-primas no desenvolvimento de formulações de massas cerâmicas.** Cerâmica, v.48, no.306. São Paulo Jun/2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132002000200010>. Acessado em 27 de agosto de 2012.
- [23] MELCHIADES, F. G., QUINTEIRO, E., BOSCHI, A. O. **A Curva de Gresificação: Parte I. Cerâmica Industrial.** Ago/Dez, 1996. p. 30-31.
- [24] HIBBELER, R. CHARLES. **Resistência dos materiais;** tradução: Arlete Simille Marques. 7 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010. P. 14-63
- [25] FALCÃO, MARCIUS F. B.; SOARES, JORGE B. **Considerações sobre o ensaio de compressão diametral no estudo de materiais de Pavimentação.** XVI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, vI, p. 169-181.

- [26] ASKELAND, DONALD R.; PHULÉ, PRADEEP P. **The science and engineering of materials**. 4.ed. California: Brooks/Cole-Thomson Learning, 2003.
- [27] HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER J. **Fundamentos de Física**. V. 3: Eletromagnetismo. 4ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996.
- [28] YONG, H. D.; FREEDMAN, R. A.; SEARS & ZEMANSKY. **Eletromagnetismo**. Física III. 12ª ed. Pearson Education do Brasil. São Paulo: Addison Wesley, 2009.
- [29] TIPLER PAUL A.; GENE MOSCA. **Física para cientistas e engenheiros**. V. 2: Eletricidade e Magnetismo, Óptica. 6ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.
- [30] ARMIL MINERAÇÃO DO NORDESTE LTDA.. **Rio Grande do Norte. Produção: Produtos.** [2007]. Disponível em: <http://www.armil.com.br/producao_produtos.htm>. Acessado em 27 de agosto de 2012.
- [31] Ponte LCR de Bancada, MXB-821. **Manual de Instruções**. MINIPA ELECTRONICS USA INC.

ANEXOS

Anexo I

- Medidas de diâmetro, altura e massa para as amostras de CE a 1.100 °C, antes da sinterização.

Amostra	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Massa (g)
E1	10,20	7,25	0,971
E2	10,20	7,90	0,950
E3	10,20	7,10	0,965
E4	10,20	6,95	0,952
E5	10,20	7,20	0,966
E6	10,20	7,10	0,970
E7	10,20	7,15	0,970
E8	10,20	6,90	0,951
E9	10,20	7,20	0,973
E10	10,20	7,20	0,966

- Medidas de diâmetro, altura e massa para as amostras de CE a 1.150 °C.

Amostra	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Massa (g)
E11	10,20	7,10	0,963
E12	10,20	7,20	0,968
E13	10,20	7,30	0,971
E14	10,20	7,20	0,974
E15	10,20	7,00	0,947
E16	10,20	7,20	0,974
E17	10,20	7,20	0,974
E18	10,20	7,05	0,938
E19	10,20	7,10	0,960
E20	10,20	7,15	0,970

- Medidas de diâmetro, altura e massa para as amostras de CE a 1.200 °C.

Amostra	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Massa (g)
E21	10,20	7,25	0,978
E22	10,20	7,30	0,978
E23	10,20	7,25	0,956
E24	10,20	7,20	0,975
E25	10,20	7,05	0,961
E26	10,20	7,20	0,975
E27	10,20	7,25	0,965
E28	10,20	6,90	0,949
E29	10,20	7,30	0,987
E30	10,20	7,15	0,964

- Medidas de diâmetro, altura e massa para as amostras de CA a 1.100 °C.

Amostra	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Massa (g)
A1	10,20	7,15	0,978
A2	10,20	7,10	0,977
A3	10,20	7,15	0,975
A4	10,20	7,20	0,975
A5	10,20	7,15	0,978
A6	10,20	7,00	0,974
A7	10,20	7,15	0,985
A8	10,20	7,15	0,980
A9	10,20	7,20	0,974
A10	10,20	7,30	0,973

- Medidas de diâmetro, altura e massa para as amostras de CA a 1.150 °C.

Amostra	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Massa (g)
A11	10,20	7,10	0,968
A12	10,20	7,00	0,983
A13	10,20	6,95	0,972
A14	10,20	7,10	0,976
A15	10,20	7,15	0,977
A16	10,20	7,00	0,976
A17	10,20	7,10	0,971
A18	10,20	7,15	0,968
A19	10,20	7,15	0,984
A20	10,20	7,20	0,975

- Medidas de diâmetro, altura e massa para as amostras de CA a 1.200 °C.

Amostra	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Massa (g)
A21	10,20	7,15	0,980
A22	10,20	7,05	0,979
A23	10,20	7,10	0,974
A24	10,20	7,05	0,977
A25	10,20	7,10	0,968
A26	10,20	7,00	0,971
A27	10,20	7,00	0,973
A28	10,20	7,10	0,980
A29	10,20	7,15	0,973
A30	10,20	7,15	0,974

Anexo II

- Medidas de diâmetro, altura e massa para as amostras de CE a 1.100 °C, depois da sinterização.

Amostra	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Massa (g)
E1	10,0	7,10	0,912
E2	10,0	7,75	0,889
E3	9,95	7,00	0,906
E4	10,0	6,80	0,893
E5	10,0	6,95	0,904
E6	10,0	6,95	0,913
E7	10,0	7,00	0,911
E8	9,95	6,80	0,896
E9	10,0	7,10	0,917
E10	10,0	6,95	0,908

- Medidas de diâmetro, altura e massa para as amostras de CE a 1.150 °C.

Amostra	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Massa (g)
E11	9,65	6,55	0,901
E12	9,50	6,75	0,908
E13	9,60	6,70	0,910
E14	9,60	6,70	0,912
E15	9,55	6,40	0,887
E16	9,60	6,70	0,912
E17	9,60	6,75	0,915
E18	9,55	6,50	0,883
E19	9,55	6,55	0,902
E20	9,60	6,60	0,908

- Medidas de diâmetro, altura e massa para as amostras de CE a 1.200 °C.

Amostra	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Massa (g)
E21	9,25	6,50	0,920
E22	9,25	6,45	0,918
E23	9,25	6,40	0,901
E24	9,25	6,45	0,916
E25	9,25	6,35	0,901
E26	9,30	6,55	0,916
E27	9,20	6,45	0,906
E28	9,25	6,20	0,890
E29	9,30	6,60	0,925
E30	9,20	6,60	0,906

- Medidas de diâmetro, altura e massa para as amostras de CA a 1.100 °C.

Amostra	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Massa (g)
A1	10,15	7,10	0,915
A2	10,10	7,00	0,910
A3	10,10	7,00	0,909
A4	10,10	7,10	0,909
A5	10,10	7,00	0,913
A6	10,15	7,00	0,911
A7	10,10	7,15	0,919
A8	10,15	7,05	0,916
A9	10,10	7,10	0,907
A10	10,05	6,90	0,910

- Medidas de diâmetro, altura e massa para as amostras de CA a 1.150 °C.

Amostra	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Massa (g)
A11	9,85	6,80	0,903
A12	9,85	6,95	0,915
A13	9,85	6,75	0,907
A14	9,80	6,70	0,912
A15	9,80	6,80	0,912
A16	9,85	6,85	0,910
A17	9,90	6,80	0,907
A18	9,85	6,80	0,904
A19	9,80	6,75	0,916
A20	9,80	6,80	0,909

- Medidas de diâmetro, altura e massa para as amostras de CA a 1.200 °C.

Amostra	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Massa (g)
A21	9,45	6,75	0,915
A22	9,60	6,60	0,915
A23	9,50	6,60	0,910
A24	9,55	6,70	0,912
A25	9,55	6,55	0,904
A26	9,45	6,60	0,907
A27	9,55	6,70	0,909
A28	9,50	6,75	0,916
A30	9,45	6,65	0,908
A10	9,50	6,55	0,910

Anexo III

- Medidas de diâmetro, altura e massa para as amostras de CE a 1.100 °C, após imersão em água.

Amostra	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Massa (g)
E1	10,0	7,15	1,074
E2	10,0	6,80	1,043
E3	10,0	7,00	1,068
E4	10,0	6,75	1,049
E5	10,0	7,00	1,062
E6	10,0	6,95	1,067
E7	10,0	7,20	1,072
E8	10,0	6,80	1,050
E9	10,0	6,95	1,077
E10	9,95	7,00	1,067

- Medidas de diâmetro, altura e massa para as amostras de CE a 1.150 °C.

Amostra	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Massa (g)
E11	9,50	6,50	0,978
E12	9,55	6,65	0,987
E13	9,55	6,85	0,992
E14	9,55	6,70	0,993
E15	9,50	6,50	0,967
E16	9,60	6,65	0,999
E17	9,65	6,80	1,002
E18	9,60	6,55	0,964
E19	9,60	6,55	0,987
E20	9,60	6,75	0,998

- Medidas de diâmetro, altura e massa para as amostras de CE a 1.200 °C.

Amostra	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Massa (g)
E21	9,25	6,50	0,942
E22	9,30	6,45	0,942
E23	9,25	6,45	0,923
E24	9,30	6,45	0,940
E25	9,25	6,35	0,925
E26	9,25	6,50	0,941
E27	9,25	6,50	0,931
E28	9,25	6,20	0,916
E29	9,25	6,50	0,948
E30	9,25	6,50	0,930

- Medidas de diâmetro, altura e massa para as amostras de CA a 1.100 °C.

Amostra	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Massa (g)
A1	10,15	7,10	1,090
A2	10,10	7,00	1,086
A3	10,10	6,95	1,084
A4	10,10	7,10	1,083
A5	10,10	7,00	1,089
A6	10,10	7,00	1,082
A7	10,20	7,15	1,095
A8	10,10	6,95	1,084
A9	10,10	7,10	1,078
A10	10,10	7,20	1,086

- Medidas de diâmetro, altura e massa para as amostras de CA a 1.150 °C.

Amostra	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Massa (g)
A11	9,80	6,75	1,032
A12	9,80	6,75	1,042
A13	9,80	6,60	1,029
A14	9,80	6,75	1,040
A15	9,80	6,90	1,039
A16	9,85	6,90	1,036
A17	9,80	6,75	1,036
A18	9,80	6,75	1,034
A19	9,80	6,85	1,044
A20	9,80	6,80	1,037

- Medidas de diâmetro, altura e massa para as amostras de CA a 1.200 °C.

Amostra	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Massa (g)
A21	9,55	6,60	0,985
A22	9,50	6,65	0,987
A23	9,55	6,55	0,984
A24	9,50	6,60	0,986
A25	9,55	6,60	0,976
A26	9,55	6,55	0,977
A27	9,55	6,60	0,980
A28	9,55	6,65	0,988
A30	9,55	6,60	0,980
A10	9,55	6,60	0,983

Anexo IV

- Medidas de diâmetro, altura e massa para as amostras de CE a 1.100 °C, secas, após imersão em água.

Amostra	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Massa (g)
E1	10,0	7,05	0,913
E2	10,0	6,80	0,891
E3	9,95	7,00	0,905
E4	10,0	6,75	0,895
E5	10,0	7,00	0,907
E6	10,0	6,95	0,914
E7	10,0	6,95	0,912
E8	9,95	6,80	0,897
E9	10,0	6,95	0,918
E10	9,95	7,00	0,909

- Medidas de diâmetro, altura e massa para as amostras de CE a 1.150 °C.

Amostra	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Massa (g)
E11	9,50	6,50	0,910
E12	9,50	6,50	0,902
E13	9,55	6,60	0,913
E14	9,55	6,40	0,888
E15	9,50	6,50	0,911
E16	9,60	6,65	0,913
E17	9,65	6,75	0,917
E18	9,55	6,50	0,884
E19	9,60	6,55	0,903
E20	9,60	6,70	0,909

- Medidas de diâmetro, altura e massa para as amostras de CE a 1.200 °C.

Amostra	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Massa (g)
E21	9,25	6,45	0,921
E22	9,20	6,45	0,919
E23	9,25	6,45	0,917
E24	9,30	6,40	0,901
E25	9,25	6,35	0,901
E26	9,25	6,40	0,917
E27	9,25	6,50	0,907
E28	9,25	6,20	0,891
E29	9,25	6,50	0,925
E30	9,25	6,50	0,906

- Medidas de diâmetro, altura e massa para as amostras de CA a 1.100 °C.

Amostra	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Massa (g)
A1	10,10	7,00	0,915
A2	10,10	7,00	0,909
A3	10,10	6,95	0,910
A4	10,10	7,05	0,909
A5	10,10	7,00	0,913
A6	10,10	7,00	0,912
A7	10,10	7,00	0,919
A8	10,10	6,90	0,916
A9	10,10	7,10	0,907
A10	10,10	7,15	0,908

- Medidas de diâmetro, altura e massa para as amostras de CA a 1.150 °C.

Amostra	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Massa (g)
A11	9,80	6,70	0,905
A12	9,80	6,75	0,916
A13	9,80	6,60	0,908
A14	9,80	6,75	0,913
A15	9,80	6,80	0,913
A16	9,80	6,90	0,914
A17	9,80	6,75	0,907
A18	9,80	6,75	0,904
A19	9,80	6,85	0,918
A20	9,80	6,80	0,910

- Medidas de diâmetro, altura e massa para as amostras de CA a 1.200 °C.

Amostra	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Massa (g)
A21	9,50	6,60	0,915
A22	9,50	6,65	0,917
A23	9,55	6,55	0,910
A24	9,50	6,55	0,913
A25	9,55	6,60	0,905
A26	9,50	6,55	0,908
A27	9,55	6,60	0,909
A28	9,55	6,65	0,916
A29	9,55	6,60	0,908
A30	9,55	6,60	0,911

Anexo V

- Valores de resistência lidas na Ponte LCR.

Amostra	Req: (MΩ)	Amostra	Req: (MΩ)
E6	195,6	A6	195,8
E7	195,6	A7	195,4
E8	195,7	A8	188,1
E9	195,6	A9	192,8
E10	195,4	A10	195,0
E16	196,0	A16	192,6
E17	195,3	A17	194,6
E18	195,2	A18	194,8
E19	195,0	A19	192,0
E20	196,0	A20	190,1
E26	195,0	A26	193,7
E27	195,6	A27	192,3
E28	195,2	A28	192,3
E29	196,2	A29	191,5
E30	193,2	A30	192,6

Anexo VI

➤ Valores de capacitância (C) e fator de perdas (tg δ), para as composições europeia (CE) e americana (CA), nas frequências de 100 Hz, 1 kHz e 10 kHz.

100Ω	FREQUENCIA (composição europeia – CE)					
0,3v	100 Hz		1Khz		10Khz	
Amostra	C: (nF)	tg δ: (nF)	C: (nF)	tg δ: (nF)	C: (nF)	tg δ: (nF)
E6	26,133	0,1338	24,444	0,2634	3,7305	2,4150
E7	26,325	0,1253	24,423	0,2641	3,7339	2,4120
E8	26,120	0,1291	24,423	0,2629	3,7322	2,4137
E9	25,661	0,1254	24,418	0,2633	3,7313	2,4145
E10	26,055	0,1310	24,429	0,2630	3,7369	2,4105
E16	26,252	0,1382	24,437	0,2634	3,7213	2,4210
E17	26,127	0,1355	24,442	0,2626	3,7270	2,4143
E18	25,778	0,1332	24,422	0,2632	3,7304	2,4137
E19	26,210	0,1210	24,418	0,2632	3,7235	2,4193
E20	26,138	0,1212	24,421	0,2629	3,7228	2,4208
E26	26,178	0,0949	24,453	0,2629	3,7304	2,4152
E27	25,763	0,0995	24,424	0,2643	3,7329	2,4129
E28	25,601	0,0781	24,456	0,2619	3,7264	2,4193
E29	25,765	0,1141	24,417	0,2634	3,7383	2,4090
E30	26,098	0,1300	24,438	0,2624	3,7321	2,4140

100Ω	FREQUENCIA (composição americana – CA)					
0,3v	100 Hz		1Khz		10Khz	
Amostra	C: (nF)	tg δ: (nF)	C: (nF)	tg δ: (nF)	C: (nF)	tg δ: (nF)
A6	26,314	0,1290	24,429	0,2630	3,7348	2,4126
A7	26,149	0,1295	24,432	0,2631	3,7310	2,4162
A8	26,113	0,1308	24,450	0,2632	3,7318	2,4159
A9	26,131	0,1359	24,415	0,2632	3,7314	2,4146
A10	26,266	0,1183	24,453	0,2634	3,7304	2,4152
A16	25,778	0,1423	24,427	0,2634	3,7300	2,4135
A17	25,998	0,1353	24,434	0,2629	3,7297	2,4156
A18	25,901	0,1367	24,389	0,2638	3,7284	2,4161
A19	26,085	0,1231	24,397	0,2634	3,7308	2,4152
A20	26,044	0,1286	24,434	0,2629	3,7303	2,4151
A26	26,223	0,1376	24,420	0,2643	3,7052	2,4260
A27	26,002	0,1340	24,431	0,2624	3,7280	2,4165
A28	25,942	0,1326	24,428	0,2638	3,7333	2,4130
A29	26,208	0,1299	24,424	0,2624	3,7326	2,4146
A30	26,172	0,1335	24,418	0,2632	3,7307	2,4152