

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ENGENHARIA DE MATERIAIS
ENGENHARIA DE MATERIAIS**

IGOR ALVES VILAÇA PADILHA

OTIMIZAÇÃO NAS OPERAÇÕES DE PRODUÇÃO DE REFROTÁRIOS

BELO HORIZONTE

2013

IGOR ALVES VILAÇA PADILHA

OTIMIZAÇÃO NAS OPERAÇÕES DE PRODUÇÃO DE REFROTÁRIOS

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao curso de graduação em Engenharia de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientadora: Prof.^a Rachel Mary Osthues

Belo Horizonte

2013

IGOR ALVES VILAÇA PADILHA

OTIMIZAÇÃO NAS OPERAÇÕES DE PRODUÇÃO DE REFRAATÓRIOS

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao curso de graduação em Engenharia de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Aprovado: __ de _____ de 20__

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Rachel Mary Osthues (Orientadora)

Prof. Anselmo Paulo Pires

Prof. Sidiney Nicodemos da Silva

RESUMO

Desenvolver propostas para melhoria do sistema de análises da qualidade nas operações de produção de refratários sem perda de qualidade, competitividade e produtividade. No trabalho realizado verificou-se as atividades de um Sistema de Gestão de Qualidade, no decorrer do processo produtivo na indústria de refratários, para consolidar os principais conceitos, com o objetivo de obter redução de desperdícios como controle de refugo interno e externo, reclamações de clientes e garantir a diminuição dos custos de ensaios de caracterização. As preparações das amostras para realizações dos ensaios foram: peneirar e quarterar a fração retida entre as peneiras de aberturas 4,00mm e 2,00mm, até obter uma amostra entre 200g e 500g, em seguida, aplicar um jato de ar comprimido para eliminar o pó aderido aos grãos, secar em estufa a $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ a amostra obtida até a obtenção de massa constante e, em seguida resfriar em dessecador até a temperatura ambiente. As propostas tiveram um impacto de redução nas quantidades de análises significativo, tais impactos serão utilizados para elevar a produtividade e competitividade, na busca de produtos com custo de fabricação mais competitivos no cenário da globalização atual.

Palavras chaves: Qualidade. Análises da qualidade. Refratários. Ensaios de caracterização.

ABSTRACT

Develop proposals for improving system quality analysis in refractory production operations without loss of quality, competitiveness and productivity. At work there was the activities of a Quality Management System, during the production process in the refractory industry to consolidate key concepts, in order to obtain reducing waste as scrap control internal and external complaints customers and to ensure the reduction of cost of characterization tests. The preparation of samples for testing achievements were sifting quartear and the fraction retained between sieves with openings 4.00 mm and 2.00 mm, to obtain a sample between 200g and 500g, then apply a jet of compressed air to remove powder grains adhered to dry in an oven at $(110 \pm 5) ^\circ \text{C}$ the obtained sample to constant mass was obtained, and then cool in a desiccator to room temperature. The proposals had an impact in reducing significant amounts of analysis, such impacts will be used to improve productivity and competitiveness, seeking products with more competitive manufacturing cost in the current scenario of globalization.

Key words: Quality. Analysis of the quality. Refractories. Characterization tests.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Exemplo de montagem de Material Refratário para alto-forno	15
Figura 2 Influência da porosidade sobre o módulo de elasticidade para o óxido de alumínio à temperatura ambiente	21
Figura 3 - Influência da porosidade sobre a resistência à flexão para o óxido de alumínio à temperatura ambiente.....	23
Figura 4 - Peneirador mecânico para classificação granulométrica	25
Figura 5 - Fluxograma produção de refratário.....	27
Figura 6 - Equipamento de moagem – moinho de bolas.....	28
Figura 7 - Linha de peneiras.....	29
Figura 8 - Esquema de linha de dosagem de matéria-prima e aditivos	31
Figura 9 - Diagrama de compactação em função da prensagem.....	32
Figura 10 - Desenho esquemático mostrando a deformação dos grânulos durante a prensagem.	33
Figura 11 – Prensa hidráulica	33
Figura 12 - <i>Wet bag</i>	34
Figura 13 - <i>Dry bag</i>	35
Figura 14 - Forno Túnel para sinterização	36
Figura 15 - Mecanismos de transporte de massa na sinterização no estado sólido.	37
Figura 16 - Modelo de formação de pescoço sinterização em duas esferas.....	38
Figura 17 - Modelo de duas esferas demonstrando o mecanismo de transporte de massa por difusão na sinterização (no estágio inicial).	39
Figura 18 - (a) Partículas do pó após a secagem. (b) Coalescência das partículas e formação de poros isolados, no início da sinterização.	40
Figura 19 - Estágios da sinterização no estado sólido	40
Figura 20 – modelo de um sistema de gestão da qualidade baseado em processo	43
Figura 21 - Ciclo do PDCA	44

Figura 22 – Modelo de diagrama causa e Efeito	45
Figura 23 - Exemplo controle estatístico do processo	48
Figura 24 - Diagrama esquemático com o cronograma do APQP adaptado.	49
Figura 25 – Ensaio rejeitados em 2011	55
Figura 29 - Diagrama de Pareto sobre reclamações de clientes	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

APQP – Planejamento avançado da qualidade do produto

CEP - Controle estatístico do processo

DMA. - Densidade de massa aparente (g/cm³).

DRX - Difração de raios-X.

FMEA - Análise dos modos de falhas e dos efeitos

MEV - Microscópio eletrônico de varredura.

PA. - Porosidade aparente (%).

P - Força (N).

RCTA - resistência à compressão a temperatura ambiente

RFQ - Resistência à flexão à quente (MPa).

VA – Volume aparente

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	14
2.1	Objetivo geral	14
2.2	Objetivos Específicos	14
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1	Materiais Refratários	15
3.1.1	Usos de refratários	16
3.1.2	<i>Propriedades</i>	17
3.1.3	<i>Argamassas refratárias</i>	17
3.1.4	<i>Classificação dos refratários</i>	18
3.1.4.1	<i>Refratários de argila (ou argilosos)</i>	18
3.1.4.2	<i>Refratários ácidos</i>	18
3.1.4.3	<i>Refratários básicos</i>	19
3.1.4.4	<i>Refratários especiais</i>	19
3.2	Ensaio	19
3.2.1	<i>Análise Química</i>	19
3.2.2	<i>Ensaio físico químico – estudo da estrutura</i>	19
3.2.3	<i>Difração de raios X</i>	20
3.2.4	<i>Massa específica e porosidade</i>	20
3.2.4.1	<i>Massa específica aparente</i>	20
3.2.4.2	<i>Porosidade aparente</i>	20
3.2.5	<i>Resistência mecânica a temperatura ambiente</i>	22
3.2.5.1	<i>Resistência à compressão</i>	22
3.2.5.2	<i>Resistência à flexão</i>	23

3.2.6	<i>Resistência em temperaturas elevadas</i>	24
3.2.7	<i>Análise granulométrica</i>	25
3.2.7.1	<i>Granulometria simples</i>	26
3.2.7.2	<i>Granulometria acumulada</i>	26
3.2.8	<i>Força ligante</i>	26
3.2.9	<i>Tempo de retenção de água</i>	26
3.3	Processos de fabricação de refratários	27
3.3.1	<i>Recepção de matéria-prima</i>	28
3.3.2	<i>Moagem</i>	28
3.3.2.1	<i>Moinhos vibratórios</i>	29
3.3.2.2	<i>Moinho de bolas</i>	29
3.3.3	<i>Classificação granulométrica</i>	29
3.3.4	<i>Dosagem</i>	30
3.3.5	<i>Mistura</i>	31
3.3.6	<i>Conformação</i>	31
3.3.6.1	<i>Prensagem isostática</i>	32
3.3.6.2	<i>Wet bag</i>	34
3.3.6.3	<i>Dry bag</i>	34
3.3.7	<i>Tratamento Térmico</i>	35
3.3.7.1	<i>Sinterização</i>	36
3.3.7.1.1	<u>Mecanismos de transporte</u>	36
3.3.7.1.2	<u>Evaporação condensação</u>	37
3.3.7.1.3	<u>Difusão no reticulado</u>	38
3.3.7.2	<i>Estágios de sinterização</i>	39
3.3.7.2.1	<u>Estágio inicial</u>	39

3.3.7.2.2	<u>Estágio intermediário</u>	40
3.3.7.2.3	<u>Estágio final</u>	40
3.3.7.3	<i>Sinterização na presença de líquido</i>	41
3.3.8	<i>Inspeção e ensaios finais</i>	41
3.3.9	<i>Embalagem</i>	42
3.3.10	<i>Expedição</i>	42
3.4	Sistema da Qualidade	43
3.4.1	<i>Ferramentas da qualidade</i>	45
3.4.1.1	<i>Brainstorming (Tempestade de ideias)</i>	45
3.4.1.2	<i>Diagrama de Causa e Efeito</i>	45
3.4.1.3	<i>Análise dos modos de falhas e dos efeitos (FMEA)</i>	46
3.4.1.4	<i>Controle estatístico do processo (CEP)</i>	47
3.4.1.5	<i>Planejamento avançado da qualidade do produto (APQP)</i>	48
3.4.1.6	<i>Diagrama de pareto</i>	49
3.4.1.7	<i>Diagrama de dispersão</i>	50
4	MATERIAIS E MÉTODOS	51
4.1	Descrições gerais	51
4.2	Materiais	51
4.2.1	<i>AGAL ROSEKI</i>	52
4.2.2	<i>CEKOR-80-DS</i>	52
4.2.3	<i>MAGKOR-D</i>	52
4.2.4	<i>RESINA FEN Liq NOVAL</i>	52
4.2.5	<i>ZIRKOR-SRX-332</i>	52
4.3	Métodos	52
4.3.1	<i>RCTA</i>	53

4.3.2	<i>DMA e PA</i>	53
4.3.3	<i>RFQ</i>	54
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	55
5.1	Correlação entre análises	55
5.2	Resultados das correlações	55
5.3	Reclamações de clientes	57
5.3.1	<i>Apresentação de propostas</i>	58
5.3.2	<i>Oportunidades de melhorias (OPM)</i>	59
6	CONCLUSÃO	63
	REFERÊNCIAS	64

1 INTRODUÇÃO

A luta incessante pela competitividade, qualidade e produtividade vêm se tornando o desafio de vários profissionais e a utilização de ferramentas para se alcançar tal objetivo vem como apoio para empresas de ponta (TOLEDO, 2002; BROCKA, 1994).

A busca incansável de produtos com menor custo é o grande foco das multinacionais, pois com a globalização o custo de um produto da China, por exemplo, pode ser menor que um produto de uma empresa no próprio estado de consumo. A otimização do monitoramento e medição da qualidade nas operações de produção de refratários, no contexto do cenário atual industrial, vem se tornando cada vez mais utilizado para elevar a competitividade. (TOLEDO, 2002; BROCKA, 1994).

A perfeita associação de custo benefício, está sendo alcançada com a eliminação do desnecessário em todas as etapas do processo produtivo (TOLEDO, 2002; BROCKA, 1994).

O sistema da qualidade é um setor de fundamental importância para identificar e atuar no custo de análise da qualidade e refugo interno e externo (TOLEDO, 2002; BROCKA, 1994).

Com o desafio de criar soluções industriais, entra em cena a importância de um profissional interdisciplinar, como um engenheiro de materiais, pois este tem conhecimento adequado em ensaios de caracterização para saber a quantidade a ser realizada, a qual motivo são feitos ensaios e os problemas no cliente, de um ensaio que não foi realizado corretamente em uma peça não conforme.

O engenheiro de materiais tem habilidade de correlacionar esses ensaios com ferramentas da qualidade e normas nacionais e internacionais, criando oportunidades de redução de custos do produto e melhorando a produtividade, qualidade e competitividade.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

- Desenvolver propostas para redução das análises da qualidade para produção de refratários sem perda de qualidade, competitividade e produtividade.

2.2 Objetivos Específicos

- Propor uma racionalização das análises feitas, ao longo das diversas operações unitárias na produção de refratários como: moagem, classificação, mistura, conformação, tratamento térmico, seleção, embalagem, despacho e expedição, de acordo com normas específicas e adaptadas ao processo produtivo.
- Utilizar ferramentas da qualidade, normas técnicas e correlações entre análises, para garantir a competitividade dos produtos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Materiais Refratários

Os materiais refratários, representam um dos mais importantes materiais cerâmicos de uso em engenharia, tanto pela importância econômica desses materiais como por sua destacada importância estratégica para todas as indústrias que utilizam temperaturas elevadas, especialmente a indústria metalúrgica (KINGERY, 1976; VAN VLACK, 1973).

Os materiais refratários, figura 1, podem ser conceituados como materiais resistentes a elevadas temperaturas, apresentando ainda resistências adequadas a gradientes térmicos, ao desgaste mecânico e à corrosão química, por certo intervalo de tempo. Um refratário não é igual ao outro, distingue-se química e fisicamente, apresentando diferentes comportamentos (VAN VLACK, 1973; CALLISTER JR, 2008).

Figura 1 - Exemplo de montagem de Material Refratário para alto-forno



Fonte: BRANCÃO, 2012

Algumas das características peculiares dos materiais refratários são:

- resistência a altas temperaturas de serviço, sem fundir ou decompor;
- promover isolamento térmico;
- resistência aos esforços mecânicos da estrutura;
- resistência a variações bruscas de temperatura;
- resistência à erosão e abrasão;
- condutibilidade térmica (alta ou baixa);
- permeabilidade (alta ou baixa) (VAN VLACK, 1973; CALLISTER JR, 2008).

3.1.1 Usos de refratários

O desempenho dos produtos refratários depende de sua composição e características microestruturais, tabela 1, classificadas de acordo com as condições de utilização. Os materiais refratários podem ser utilizados em: (KINGERY, 1976; VAN VLACK, 1973)

Alto forno refratários sílico aluminoso, carbetos de silício ligado a nitreto de silício, blocos de carbono, alumina carbetos de silício-carbono, concretos auto escoantes (KINGERY, 1976; VAN VLACK, 1973)

Canais de corrida concretos de baixo e ultra baixo teores de cimento a base de alumina carbono, concretos isentos de cimento, massas vibradas a seco (KINGERY, 1976; VAN VLACK, 1973).

Carros torpedos refratários aluminosos, impregnados, concretos de baixo e ultra baixo teor de cimento, refratários de Al_2O_3 -SiC-C resinados (KINGERY, 1976; VAN VLACK, 1973).

Panela de aço MgO resinado - vários teores de carbono; refratários de alta alumina, concretos de baixo teor de cimento, massas básicas de projeção (KINGERY, 1976; VAN VLACK, 1973).

Cimento e cal refratários sílico-aluminosos e aluminosos, concretos de baixo teor de cimento, concretos auto escoantes, refratários de magnésia-cromo, refratários de magnésia espínelo (KINGERY, 1976; VAN VLACK, 1973).

Fornos elétricos refratários de magnésia ligados a alcatrão, MgO resinado - vários teores de carbono, massas de socar a seco e úmido, massas de projeção (KINGERY, 1976; VAN VLACK, 1973).

Indústria de alumínio refratário sílico aluminosos, refratários aluminosos, concretos de baixo teor de cimento de baixa molhabilidade, refratários isolantes, tintas refratárias, concretos aluminosos de projeção (KINGERY, 1976; VAN VLACK, 1973).

Tabela 1 Exemplos de matéria-prima para refratários.

Óxido	Ponto de fusão (°C)
Sílica (SiO ₂)	1726
Alumina (Al ₂ O ₃)	2054
Mulita (3Al ₂ O ₃ . 2SiO ₂)	1828
Magnésia (MgO)	2800
Espinel (MgO. Al ₂ O ₃)	2135
Crómia (Cr ₂ O ₃)	2400
Cal (CaO)	2570
Zircônia (ZrO ₂)	2700
Berília (BeO)	2600
Tória (ThO ₂)	3000

Fonte: Segadães; 1997. p. 20.

3.1.2 Propriedades

As propriedades dos refratários podem ser classificadas em termos de sua microestrutura. No primeiro caso são aquelas em que os erros de interpretação são pequenos e que medem, em geral as propriedades intrínsecas do refratário, como: porosidade, massa específica aparente, resistência mecânica, dilatação térmica. No segundo caso estão aquelas mais sujeitas a erros de interpretação e cujos ensaios visam associar a alguma solicitação a que serão submetidos os refratários em serviço, como: cone pirométrico equivalente, refratariedade sob carga, escoamento, variação de dimensões com o recozimento, resistência à corrosão e choque térmico (RICHERSON, 2005; CARNIGLIA, 1992).

3.1.3 Argamassas refratárias

Argamassa refratária são materiais refratários utilizados em grande parte para a instalação e união dos tijolos refratários, e normalmente possuem características de ter grãos finos em sua composição, complementada com aditivos com finalidade de adquirir consistência e resistência mecânica especificada (IBAR, 2012).

As argamassas refratárias devem apresentar um conjunto de propriedades, são elas:

- apresentar boa trabalhabilidade com razoável tempo de retenção de água e endurecimento para a devida aplicação;
- possuir refratariedade igual ou superior aos tijolos nos quais é utilizada para resistir à fusão ou fluxo de gases, nas operações de serviços;
- não devem contrair excessivamente sob aquecimento;
- apresentar uma expansão térmica aproximadamente igual ao do tijolo com a qual é usado;
- resistência do tijolo a formação de trincas durante a secagem e endurecimento;
- manter boa resistência de juntas sob condições de operação para que a estrutura permaneça impermeável e estável;
- não devem deslocar nem contaminar o material que está sendo processado no forno (SCHNEIDER, 1991).

3.1.4 Classificação dos refratários

3.1.4.1 Refratários de argila (ou argilosos)

São misturas de alumina e sílica, contendo teor de sílica livre (SiO_2) de 40-80%. Durante a utilização em serviço, a presença de uma pequena quantidade de fase líquida é permitida, com o aumento do teor de alumina aumentará a temperatura máxima de serviço. São utilizados principalmente para isolamento térmico de fornos (RICHERSON, 2005; REED, 1995).

3.1.4.2 Refratários ácidos

Contêm alto teor de sílica livre: de 94 a 97%. São utilizados comumente nos tetos dos fornos para a fabricação de aços e vidros. Podem ser atingidas temperaturas de 1650°C e haverá a presença de uma fase líquida. São resistentes a escórias que sejam ricas em sílica (chamadas escórias ácidas) e são atacados com facilidade por escórias que contêm uma alta proporção de CaO e/ou MgO (escórias básicas) (RICHERSON, 2005).

O teor de alumina deve ser mantido em um mínimo, normalmente entre 0,2 e 1,0%, pois influência negativamente seu desempenho (RICHERSON, 2005; SCHACHT, 2004).

3.1.4.3 Refratários básicos

Contêm alta porcentagem de magnésia (MgO) ou cal (CaO), na forma de dolomita, são resistentes ao ataque de escórias com concentrações elevadas de MgO e de CaO. São utilizados em alguns fornos para a fabricação de aços (RICHERSON, 2005; SCHACHT, 2004).

3.1.4.4 Refratários especiais

Os refratários especiais são óxidos com purezas relativamente elevadas: alumina, magnésia, berília (BeO), zircônia (ZrO₂) e a mulita (3Al₂O₃-2SiO₂), compostos a base de carbetos (SiC), além do carbono na forma da grafita (RICHERSON, 2005; SCHACHT, 2004).

Os principais utilizadores dos refratários de carbono são as indústrias do ferro e do aço: eletrodos de grafite, cadinhos de alto-forno em carbono, etc (RICHERSON, 2005; SCHACHT, 2004).

O carbetos de silício (SiC) tem sido usado em revestimentos dos altos-fornos siderúrgicos, na indústria do alumínio e cerâmica (RICHERSON, 2005; SCHACHT, 2004).

3.2 Ensaio

3.2.1 Análise Química

A condição inicial a material cerâmico é o conhecimento da composição química e etapas de processo. É frequentemente usada como um método para classificação e otimização de materiais. Assim, ela pode identificar se um refratário é de sílica, magnésia, dolomita, cromita, sílico-aluminoso, etc, e identifica qualitativamente os componentes presentes no material (PADILHA; AMBRÓSIO FILHO, 1985; ABNT NBR 11302: 1989).

3.2.2 Ensaio físicos químicos – estudo da estrutura

O estudo da estrutura de tijolos novos e usados é de extremo interesse para elevação do ciclo de vida do refratário, e associado a outros ensaios como difração por raios x, permite conhecer

os fenômenos que ocorrem tanto durante o processo de fabricação, como durante a utilização dos tijolos (PADILHA; AMBRÓSIO FILHO, 1985).

3.2.3 Difração de raios X

Permite a identificação da composição mineralógica da matéria-prima e dos produtos, figura 3, sendo particularmente útil para determinação dos materiais presentes numa argila, para a determinação de mulita em produtos silico aluminosos, para avaliação do grau de transformação do quartzo nos tijolos de sílica e para a determinação das dimensões dos cristais na magnésia sintetizada e na cromita (PADILHA; AMBRÓSIO FILHO, 1985).

3.2.4 Massa específica e porosidade

Determina-se usualmente nos produtos refratários correntes a massa específica aparente e a porosidade aparente (NBR 12173, 2012).

Para os produtos de sílica, o valor é obtido para a massa específica real permitem averiguar o grau de transformação do produto e fornece indicações preciosas sobre a qualidade dos tijolos (NBR 12173, 2012).

3.2.4.1 Massa específica aparente

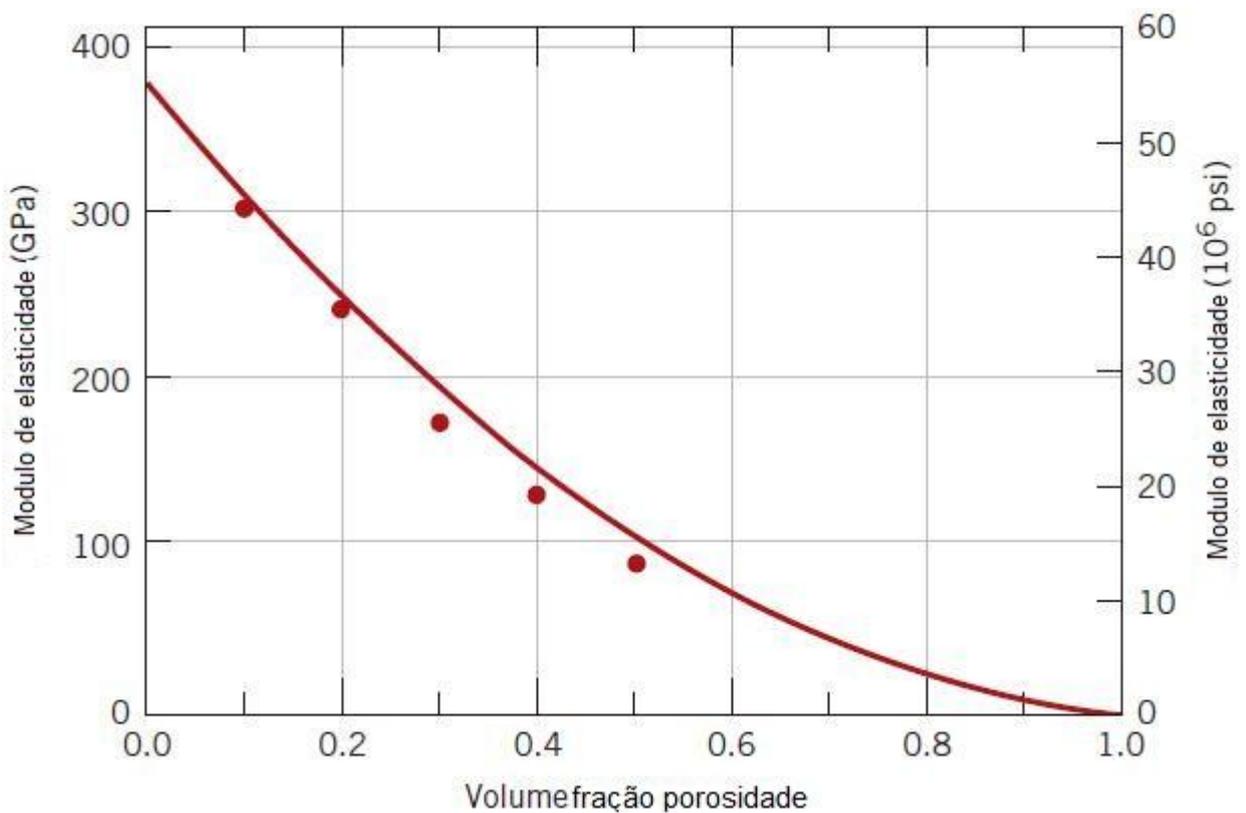
É uma relação entre massa e volume, usualmente expressa em g/cm^3 , é normalmente determinada pelo método da balança hidrostática. Ela é tanto elevado Quanto menos poroso for o produto, portanto ela permite verificar a compacidade de um determinado produto (NBR 12173, 2012).

3.2.4.2 Porosidade aparente

É uma relação entre os poros abertos ou interconectados, permeáveis aos fluidos, e o volume do material juntamente com a massa específica aparente a característica mais interessante. Ela constitui um dos fatores físicos da corrosão de um produto refratário. Diretamente ligada à massa específica aparente, pode ser modificada pelo fabricante graças a um estudo criterioso de granulometria do produto e do grau de queima (NBR 8592, 1995).

A porosidade exerce uma grande influência sobre numerosas propriedades, figura 2, apesar de como resultado de uma superposição de outros efeitos, não se possa estabelecer uma correlação nítida. Em geral, com uma porosidade maior há uma redução na resistência mecânica, na refratariedade sob carga, na resistência aos ataques químicos e na condutividade térmica. A condutividade térmica é diretamente ligada à porosidade (NBR 8592, 1995).

Figura 2 Influência da porosidade sobre o módulo de elasticidade para o óxido de alumínio à temperatura ambiente



Fonte: CALLISTER, 2008

A DMA (densidade massa aparente) e PA (porosidade aparente) podem ser calculadas através das seguintes expressões (NBR 12173, 2012).

$$VA = ((m_u - m_i) / (m_e \text{ líquido})) \text{ (cm}^3\text{)} \quad (1)$$

$$DMA = ((m_s) / (VA)) \text{ (cm}^3\text{)} \quad (2)$$

$$PA = ((m_u - m_i) / (m_e \text{ líquido} \times VA)) \times 100(\%) \quad (3)$$

Onde:

VA = volume aparente em cm^3 ;

DMA = densidade massa aparente em g/cm^3 ;

PA = porosidade aparente em %;

m_s = Massa do corpo-de-prova seco em g;

m_n = Massa do corpo-de-prova saturado em g;

m_i = Massa imersa do corpo-de-prova em g;

m_e = Massa específica ou Densidade, em g/cm^3 .

Expressar o resultado da DMA em g/cm^3 e a PA em %, com um algarismo inteiro e dois algarismos decimais (NBR 12173:2012).

3.2.5 Resistência mecânica a temperatura ambiente

As propriedades mecânicas, tais como: resistência à compressão, resistência à flexão, resistência à tração, resistência à torção e os módulos correspondentes, caracterizam o comportamento de um material sob cargas, tanto a temperatura ambiente como em temperaturas elevadas. Sendo a relação entre força máxima suportada até a ruptura e área de aplicação de carga. Em geral, é expressa em MPa (megapascal) (RICHERSON, D.W. 2005; VAN VLACK, 1973).

3.2.5.1 Resistência à compressão

A resistência à compressão sofre a influência da queima (temperatura e tempo de queima), do teor de fundentes, da porosidade ou da granulometria (VAN VLACK, 1973).

O ensaio a temperatura ambiente é o mais utilizado por ser um processo mais simples, rápido e menor custo. A temperatura ambiente indica a resistência do material a: transporte, manuseio, estocagem, cargas, abrasão e impacto (VAN VLACK, 1973).

Segundo a norma NBR 6224:

$$R = P / A \tag{4}$$

Onde:

A resistência à flexão à temperatura ambiente (RFTA) é expressa em Megapascal (MPa), calculada através da seguinte expressão:

$$RFTA = \frac{3PL}{2a^2b} \quad (5)$$

Onde:

P = carga atingida no momento da ruptura, em Newtons;

L = distância entre os apoios (50,0 mm);

a = espessura do corpo-de-prova, em milímetros;

b = largura do corpo-de-prova, em milímetros.

NOTA: 1,0Kgf = 9,8066(N)

1,0N/mm² = 1,0MPa

1,0Kgf/cm² = 0,098066MPa = 10⁵Pa

3.2.6 Resistência em temperaturas elevadas

A resistência a quente sofre a influência tanto da porosidade como da forma dos poros, no entanto, muitos fatores se sobrepõem para que se possa claramente separar os fenômenos (RICHERSON, 2005).

Quando se eleva a temperatura de um corpo de prova refratário sob carga, podem-se constatar os seguintes fenômenos: dilatação em função do coeficiente de dilatação térmica, contração em todas as direções resultante do escoamento convergente da fase vítrea repartida ou, no caso de fusão parcial, sob o efeito de tensões superficiais, deformação na direção da pressão em consequência da modificação da posição do cristal e da configuração dos poros (RICHERSON, 2005).

A deformação é na maior parte dos casos um problema de viscosidade da fase vítrea ou da fase líquida (RICHERSON, 2005).

O ensaio de resistência à flexão a quente é semelhante ao realizado à temperatura ambiente, diferindo por ser feito no interior de um forno (RICHERSON, 2005).

A resistência à compressão sob uma carga em temperaturas elevadas dá uma ideia aproximada da quantidade de comportamento da fase líquida e vítrea. A deformação sob cargas depende, também do entrelaçamento dos cristais e do conjunto de cristais e da forma de grão. Daí a razão da resistência à deformação sob carga aumentar com uma queima mais prolongada ou uma temperatura mais elevada, pois o vidro é distribuído mais uniformemente e os cristais tornam-se maiores. O comportamento a quente também é influenciado pela textura, reduzindo a resistência quando a porosidade aumenta (RICHERSON, 2005).

3.2.7 Análise granulométrica

Análise granulométrica é o processo que visa definir, para determinadas faixas pré-estabelecidas de tamanho de grãos, a percentagem em peso que cada fração possui em relação à massa total da amostra em análise (NBR NM 3310-1, 2010).

A análise granulométrica da mistura é realizada por peneiramento em um conjunto de peneiras com aberturas (malhas) de acordo com a distribuição granulométrica que se deseja verificar, figura 4 (NBR NM 3310-1, 2010).

Figura 4 - Peneirador mecânico para classificação granulométrica



Fonte: CERAWIKI, 2012

A granulometria da mistura deve ser analisada por dois parâmetros: granulometria simples e granulometria acumulada (NBR 3310-1, 2000).

3.2.7.1 *Granulometria simples*

Avalia o percentual de material retido nas peneiras de ensaio. É indicativa para visualização dos desvios e cálculo da correção granulométrica necessária (NBR 3310-1, 2000).

3.2.7.2 *Granulometria acumulada*

Avalia o percentual acumulado de material passante nas peneiras de ensaio. É usada como parâmetro para definição da curva granulométrica típica do produto e da especificação a ser seguida para liberação da massa (NBR 3310-1, 2000).

O resultado é expresso em porcentagem, com uma casa decimal, calculado pela seguinte expressão: (NBR 3310-1, 2000).

$$P = (M / M_1) \times 100 \dots\dots\dots(6)$$

Onde:

P = percentagem de uma determinada fração retida em uma peneira.

M = massa da fração retida em uma peneira, em gramas.

M_1 = massa inicial da amostra de ensaio, em base seca, em gramas.

3.2.8 *Força ligante*

Resistência mecânica de uma junta de argamassa (NBR 8382, 2001).

O ensaio para a determinação da força ligante consiste em cimentar duas metades de um tijolo pelas faces menores de forma a se ter uma junta padronizada, em seguida submeter ao ensaio de flexão (NBR 8384, 2001).

3.2.9 *Tempo de retenção de água*

Tempo que a argamassa leva antes de liberar a água para unir dois tijolos. Após esse tempo não é mais possível trabalhar a argamassa e ajustar um tijolo sobre o outro. Se a junta ficou errada, o tijolo deve ser retirado e a superfície limpa antes de se reiniciar o processo de

assentamento dos tijolos. O tempo de retenção de água depende do tipo de tijolo a ser assentado (NBR 8827, 1988).

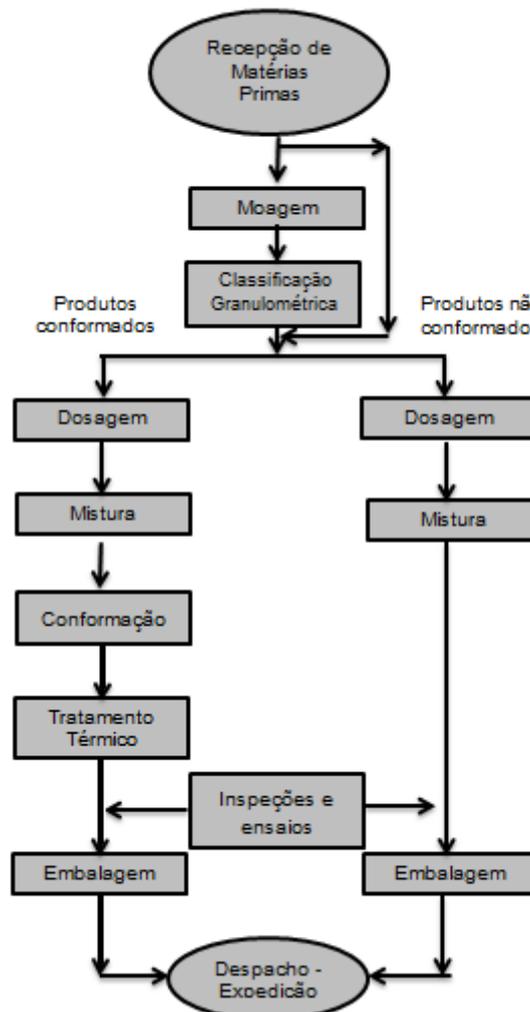
O ensaio para verificar o tempo de retenção de água consiste em cimentar dois tijolos pelas faces maiores, em seguida pressionar a face da superior maior tempo de retenção da água será aquele em que há a movimentação do tijolo (NBR 8827, 1988).

3.3 Processos de fabricação de refratários

Para melhor entendimento, inicialmente apresenta-se o Fluxograma clássico de fabricação de refratários, figura 5 (RING,1996).

Figura 5 - Fluxograma produção de refratário.

FLUXOGRAMA CLÁSSICO DE FABRICAÇÃO DE REFRAATÁRIOS



Fonte: RING, 1996. (adaptado)

3.3.1 Recepção de matéria-prima

Vários tipos de matérias-primas são utilizadas na produção de refratários como: magnesita sintetizada também conhecida como preclásio, magnesita eletrofundida que é preparada em fornos a arco do tipo cuba, minério de cromo também chamado de espinela enriquecida de cromo, magnésia, cromita eletrofundida, espinélio eletrofundido de magnésia alumina, (carbonato duplo de cálcio e magnésia $[\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2]$), argilas refratárias, grafita, resinas fenólicas (resultantes da reação entre fenóis e aldeídos), piche (produto obtido por destilação destrutiva de carvão mineral), quartzito e carbetto de silício (RING, 1996; REED, 1995).

Na recepção de matérias primas, o controle de qualidade utiliza ensaios de caracterização para verificar a conformidade do produto. Ensaios como inspeção visual, que consiste em constatar uma característica qualitativa (atributo) para cada item da população ou de uma amostra, é realizada na inspeção com o objetivo de detectar defeitos visuais. Podendo ser realizados outros tipos de ensaios, por exemplo, granulometria e densidade de massa aparente (RING, 1996; REED, 1995).

3.3.2 Moagem

A moagem é o último estágio do processo de fragmentação. Faz-se necessário o uso de moinhos, figura 6. Nesta etapa o objetivo é reduzir o tamanho de partícula da matéria-prima. É realizada em equipamento mecânico, onde a mistura é submetida a esforços combinados de impacto, compressão, abrasão e atrito, chegando a um tamanho especificado. Na moagem os materiais obtidos devem ser homogeneizados para assegurar a qualidade. Requer maiores investimentos, e é considerada uma etapa importante para o desempenho do processo de produção de refratários (RING, 1996; REED, 1995).

Figura 6 - Equipamento de moagem – moinho de bolas.



Fonte: METSO, 2012

Neste processo é realizada a análise granulométrica.

Podem ser utilizados os seguintes equipamentos:

3.3.2.1 Moinhos vibratórios

Neste equipamento, que apresenta alta eficiência, o movimento é circular em alta rotatividade em conjunto com vibração, e o elevado movimento relativo das partículas nas zonas de contacto proporcionan tensões mecânicas que levam à fragmentação de sólidos (RING, 1996; REED, 1995).

3.3.2.2 Moinho de bolas

Os estágios finais de fragmentação são realizados em moinhos cilíndricos. Na parte interna, se encontram esferas, responsáveis pela moagem do material. Como as bolas têm maior área superficial por unidade de peso do que as barras, estas mais adequadas à moagem fina (RING, 1996; REED, 1995).

Na moagem, o controle de qualidade utiliza ensaios de caracterização para verificar a conformidade do produto, ensaios como classificação granulométrica (RING, 1996; REED, 1995).

3.3.3 Classificação granulométrica

A classificação de grãos é feita através do método de processo de peneiramento que classifica o grão pela sua passagem em uma tela mais grossa e fazendo sua retenção pela não passagem em uma tela mais fina, figura 7 (RING, 1996; REED, 1995).

Figura 7 - Linha de peneiras



Fonte: METSO, 2012

Os grãos classificados são utilizados em proporções determinadas em uma mistura para que se cumpra uma especificação granulométrica (RING, 1996; REED, 1995).

Uma linha de moagem deve ser ajustada de tal modo que as ofertas dos vários tamanhos de grãos sejam semelhantes as suas demandas (RING, 1996; REED, 1995).

Em condições de fábricas a classificação granulométrica não consegue uma classificação perfeita. Esse fenômeno ocorre porque a tela de fábrica tem aberturas retangulares e os grãos irregulares, na maioria das vezes, assumem formas alongadas, proporcionando ao grão, maior ou menor chance de passagem na tela, de acordo com a sua orientação (RING, 1996; REED, 1995).

Como não se consegue uma classificação perfeita dos grãos, é muito importante que sejam feitos ensaio constantemente. Correções poderão ser feitas na dosagem da mistura (RING, 1996; REED, 1995).

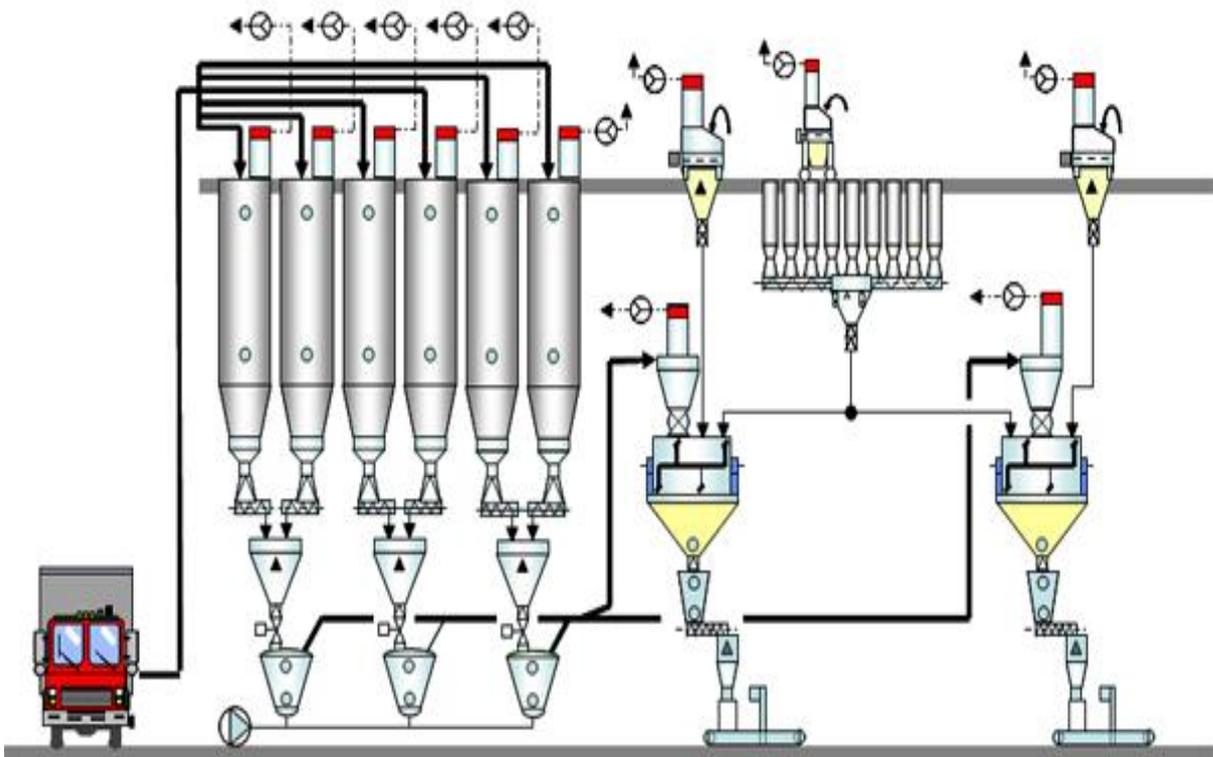
Nesta etapa é realizado o ensaio de análise granulométrica.

3.3.4 Dosagem

No processamento de refratários dosagem de matérias-primas e aditivos, tem como objetivo: adequar à quantidade das matérias-primas utilizadas nos refratários. Este controle deve seguir com rigoroso plano de controle, as formulações das massas no dosador devem ser criteriosamente estabelecidas na carta de dosagem (REED, 1995).

Os insumos devem ser adicionados em proporções exatas ou salvo por variações estabelecidas previamente, bem misturadas e homogeneizadas, de modo a conseguir a uniformidade física e química da massa, figura 8. A calibração das balanças é fundamental para medir e monitorar o controle de peso nesse processo (RING, 1996; REED, 1995).

Figura 8 - Esquema de linha de dosagem de matéria-prima e aditivos



Fonte: WIDI, 2012

3.3.5 Mistura

As operações mecânicas de mistura dos sistemas particulados sempre envolvem o transporte de material para produzir os efeitos desejados, como homogeneizar as matérias-primas. Então, o mecanismo básico associado a qualquer processo mecânico de mistura é o mecanismo por transporte de massa. Este mecanismo tem como controle de processo o tempo de mistura, a sequência de adição das matérias-primas, a curva granulométrica da massa e a plasticidade da massa (CARNIGLIA; BARNA, 1992).

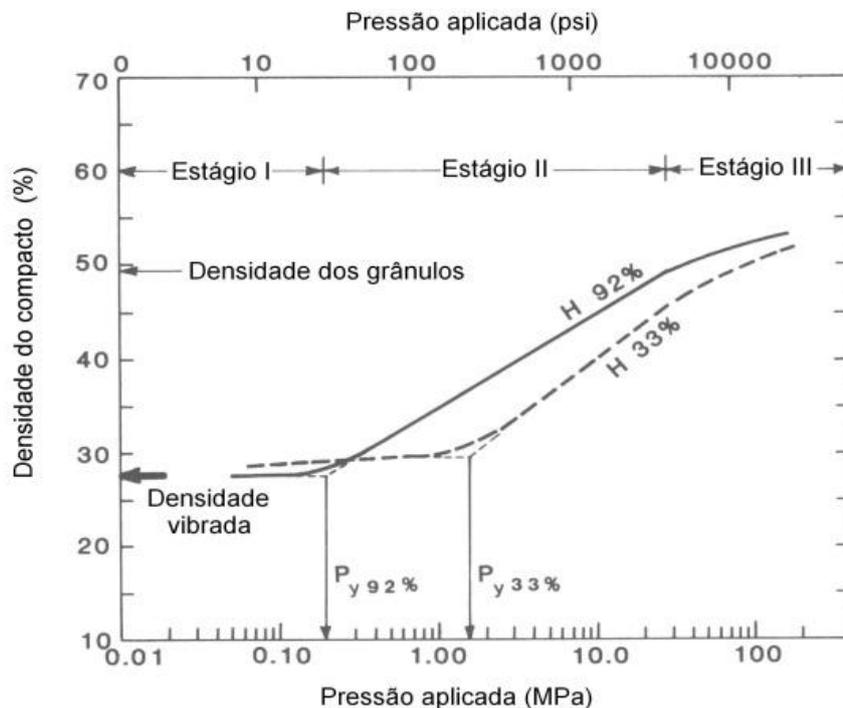
O controle da qualidade para verificar a eficácia do processo e a qualidade do produto, tem como método de medição ensaios de caracterização de densidade, umidade e análise granulométrica (RING, 1996; REED, 1995).

3.3.6 Conformação

O processo de conformação tem como objetivo adequar as características físicas do refratário (formato, densidade, porosidade, etc.). Os tipos de conformação são: prensagem, moldagem

manual e vibração. Um dos mais utilizado é a prensagem, que é uma operação de conformação fundamentada na compactação de um granulado contido no interior de uma matriz rígida ou de um molde flexível, através da aplicação de pressão, figura 9 é mostrado um diagrama de compactação (RING, 1996; REED, 1995).

Figura 9 - Diagrama de compactação em função da prensagem



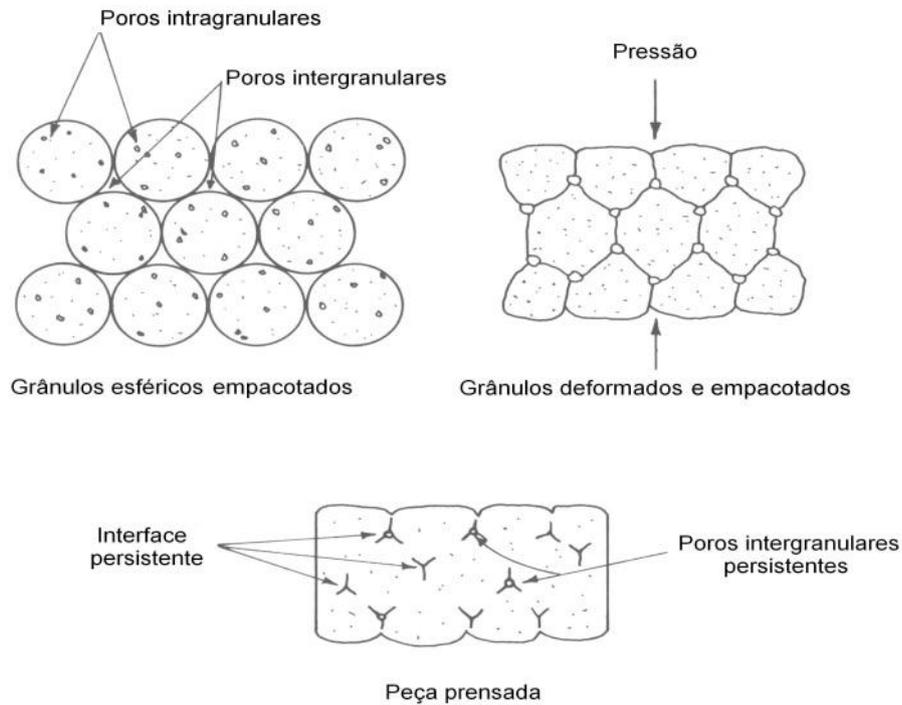
Fonte: REED; 1988

Existem múltiplos processos para dar forma ao refratário, e a escolha de cada um deles depende basicamente das características do produto, como dimensões, suas propriedades, e fatores relacionados a custos do produto (RING, 1996; REED, 1995).

3.3.6.1 Prensagem isostática

Prensagem isostática é um processo de moldagem por compressão sob pressões muito elevadas. Diferente da prensagem mecânica, que comprime a peça em um ou ambos os lados, a prensagem isostática aplica pressão uniformemente em todas as direções, reduzindo assim a porosidade interna sem alterar a forma especificada, figura 10 (REED, 1988).

Figura 10 - Desenho esquemático mostrando a deformação dos grânulos durante a prensagem.



Fonte: REED; 1988: 428

Aplicação uniforme de pressão no pó e a ausência de atrito entre o pó externo e as paredes do molde proporcionam uma densidade uniforme do material em todo o volume do produto, atendendo suas necessidades de especificações, para isso são utilizados prensas, por exemplo, hidráulicas isostáticas, figura 11 (REED, 1988).

Figura 11 – Prensa hidráulica



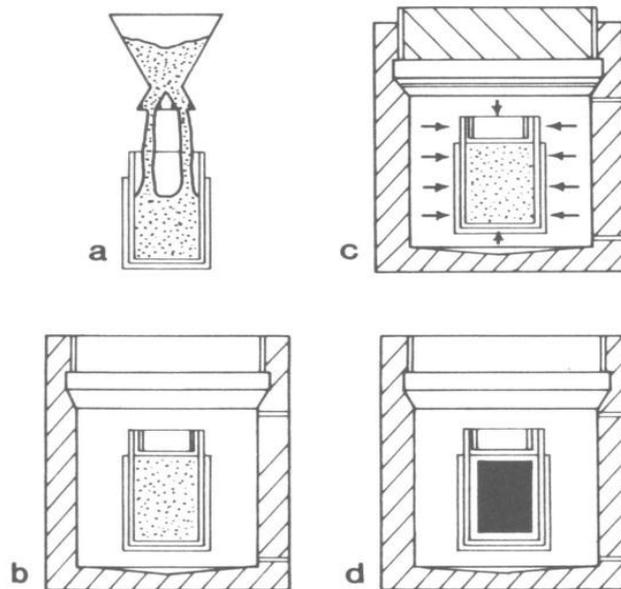
Fonte: TRILLOR, 2012

A prensagem isostática pode ser pelo processo wet bag ou dry bag.

3.3.6.2 *Wet bag*

Utilizado para prensagem de formas complexas de tamanhos variados e para grandes refratários, figura 12 (REED, 1988).

Figura 12 - *Wet bag*



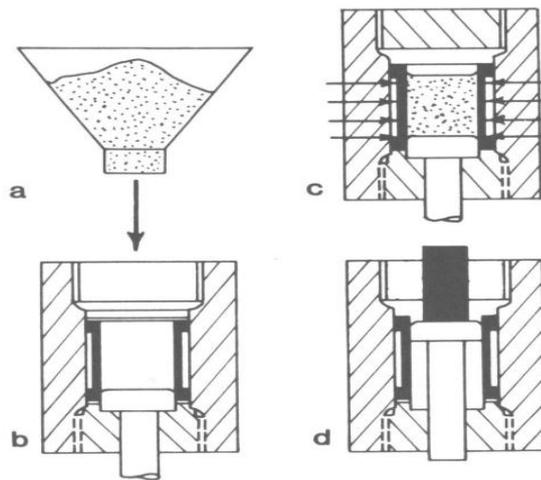
(a) preenchimento da matriz flexível, (b) colocação do matriz selada numa câmara com líquido, (c) aplicação da pressão ao líquido, (d) descompressão.

Fonte: REED; 1988.

3.3.6.3 *Dry bag*

Utilizado para prensagem de pequenas peças alongadas, tais como tubos, plugs isolantes de fagulha, etc., ou pequenas peças nas quais é necessário uma densidade uniforme, figura 13 (REED, 1988).

Figura 13 - Dry bag



(a) e (b) preenchimento da matriz, (c) aplicação da pressão em x-y, (d) ejeção da peça por cima ou por baixo da matriz.

Fonte: REED, 1988.

Defeitos de prensagem podem ser: compactação inadequada das peças, descontinuidade, rebarbas, trincas, segregação, empeno, etc. (REED, 1988).

3.3.7 Tratamento Térmico

No tratamento térmico os produtos adquirem suas propriedades finais, e têm como principal objetivo possibilitar a ocorrência de ligações cerâmicas. Nesse processo devem ser controlados a temperatura de aquecimento e de resfriamento, a pressão interior do forno e disposição das peças refratárias nos carros de queima para que melhor adequação do fluxo térmico (RING, 1996; REED, 1995).

As peças são encaminhadas para fornos contínuos, figura 14. A operação atua em três fases, zona de pré-aquecimento (da temperatura ambiente até a temperatura especificada), zona de queima (durante certo tempo na temperatura especificada) e zona de resfriamento (RING, 1996; REED, 1995).

Figura 14 - Forno Túnel para sinterização



Fonte: SOLOSTOCKS, 2012

O ciclo de queima no forno depende do produto, podendo ter duração de dias (RING, 1996; REED, 1995).

3.3.7.1 Sinterização

O termo sinterização é utilizado para descrever a consolidação de uma peça cerâmica durante a queima. Por consolidação entende-se que vai haver a coalescência das partículas de pó, que passarão a ser unidas por ligações primárias, para formar uma massa mais densa (LEE, 1994; RAINFORTH, 1994).

A sinterização não implica necessariamente em retração e densificação. Após a sinterização a peça cerâmica pode apresentar a mesma porosidade que apresentava quando verde, só que agora os poros estarão desconectados (LEE, 1994; RAINFORTH, 1994).

3.3.7.1.1 Mecanismos de transporte

Nem toda a movimentação de átomos num aglomerado de partículas leva à densificação, a qual só ocorre se os centros das partículas se aproximarem (LEE, 1994; REED, 1998).

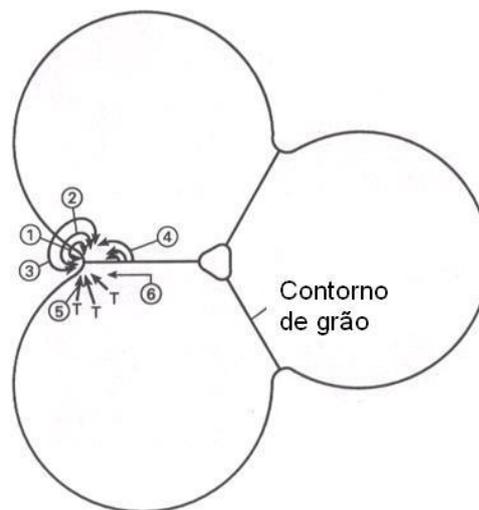
A tabela 2 apresenta mecanismos de transportes de massa na sinterização em estado sólido, para o estágio inicial da sinterização, figura 15 (LEE, 1994; REED, 1998).

Tabela 2 - Mecanismos de transporte na sinterização

Número	Mecanismo de transporte	Fonte de matéria	Destino da matéria
1	Difusão superficial	Superfície	pescoço
2	Difusão no reticulado	Superfície	pescoço
3	Evaporação-condensação	Superfície	pescoço
4	Difusão no contorno de grão	Contorno de grão	pescoço
5	Difusão no reticulado	Contorno de grão	pescoço
6	Difusão no reticulado	Deslocações	pescoço

Fonte: (LEE, 1994; REED, 1998).

Figura 15 - Mecanismos de transporte de massa na sinterização no estado sólido.



Fonte: LEE, 1994

3.3.7.1.2 Evaporação condensação

A diferença de energia livre ou de potencial químico entre a região do pescoço e a superfície da partícula é a força motriz necessária para a transferência do material. A matéria esco

espontaneamente de uma região de potencial químico alto para uma região de potencial químico mais baixo (THÜMMLER, 1993; REED, 1988).

A equação de Kelvin (Equação 7) pode ser utilizada para descrever essa situação:

$$R T \ln \frac{P}{P_0} = \frac{M}{\delta} \gamma \left(\frac{1}{\rho} + \frac{1}{x} \right) \quad (7)$$

P_0 = pressão normal de vapor do líquido.

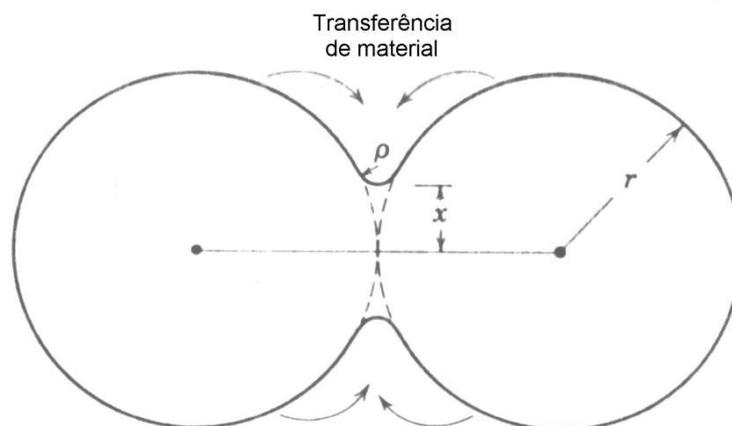
M = peso molecular do vapor.

δ = densidade do vapor.

R = constante dos gases perfeitos (8,31 J/mol.K ou 1,987 cal/mol.K).

Modelo de duas esferas, figura 16, demonstrando o mecanismo de transporte de massa por evaporação-condensação, para o estágio inicial da sinterização (THÜMMLER, 1993; REED, 1988).

Figura 16 - Modelo de formação de pescoço sinterização em duas esferas



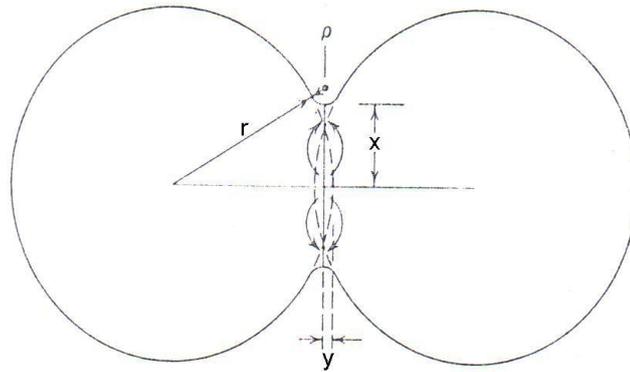
Fonte: THUMMLER, 1993; REED, 1988

3.3.7.1.3 Difusão no reticulado

Para a difusão no reticulado, matéria migraria da região do contorno de grão, pelo reticulado, para a região do “pescoço” entre as partículas. Isso provocaria a aproximação dos centros das partículas (KANG, 2010).

A migração de átomos para um lado é concomitante com a migração de lacunas na direção oposta como pode ser visto na figura 17.

Figura 17 - Modelo de duas esferas demonstrando o mecanismo de transporte de massa por difusão na sinterização (no estágio inicial).



Fonte: THUMMLER, 1993; REED, 1988

3.3.7.2 Estágios de sinterização

A sinterização no estado sólido pode ser dividida em três estágios:

- inicial,
- intermediário,
- final.

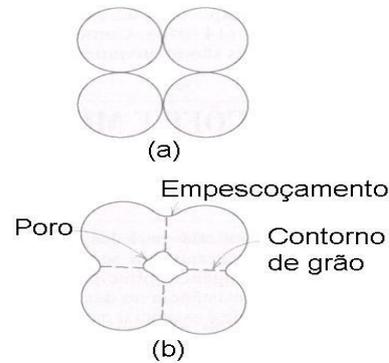
3.3.7.2.1 Estágio inicial

No estágio inicial da sinterização ocorre a formação de pescoço, ao longo das regiões de contatos entre as partículas adjacentes (LEE, 1994; REED, 1998).

Os mecanismos de transporte de massa são por evaporação, condensação e difusão superficial (LEE, 1994; REED, 1998).

Com a progressão do processo, os poros mudam de tamanho e de forma. Os poros tornam-se menores e adquirem a forma esférica, figura 18 (LEE, 1994; REED, 1998).

Figura 18 - (a) Partículas do pó após a secagem. (b) Coalescência das partículas e formação de poros isolados, no início da sinterização.



Fonte: THUMMLER, 1993; REED, 1988

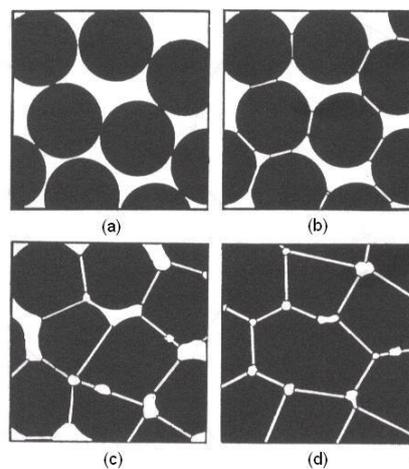
3.3.7.2.2 Estágio intermediário

No estágio intermediário da sinterização, mais de um mecanismo de transporte de massa pode estar agindo para a formação da microestrutura (LEE, 1994; REED, 1998).

3.3.7.2.3 Estágio final

No estágio final da sinterização, a difusão de átomos através dos contornos de grão provoca o seu crescimento, figura 19 (LEE, 1994; REED, 1998).

Figura 19 - Estágios da sinterização no estado sólido



(a) Partículas soltas de pó; (b) Estágio inicial da sinterização; (c) Estágio intermediário da sinterização; (d) Estágio final da sinterização.

Fonte: LEE, 1994

No estágio final da sinterização pode também haver o crescimento exagerado de grãos, se o processo não for cuidadosamente controlado. Isso pode ocorrer quando estiverem presentes na matéria-prima original agregados de partículas extremamente densos, ou o sistema a ser sinterizado for composto de partículas muito grosseiras (LEE, 1994; REED, 1998).

Para que a densificação ocorra mais rapidamente, é essencial que haja uma quantidade apreciável da fase líquida, que exista uma apreciável solubilidade do sólido no líquido, e que o líquido “molhe” o sólido (LEE, 1994; REED, 1998).

A força motriz para a densificação é a pressão capilar da fase líquida, localizada entre as partículas do sólido (LEE, 1994; REED, 1998).

O líquido “atrai” as partículas, permitindo que elas girem e deslizem até que seja encontrado um empacotamento melhor, que produza um material de maior densidade (LEE, 1994; REED, 1998).

3.3.7.3 Sinterização na presença de líquido

Se um líquido recobre cada grão, o material pode ser sinterizado até a obtenção de uma alta densidade, em temperatura mais baixa. Ocorre transferência massa através de uma fase líquida, o processo mais rápido e a densificação é uniforme. A força motriz para a densificação é a pressão capilar da fase líquida, localizada entre as partículas do sólido (LEE, 1994; REED, 1998). Ex.: Tijolos dolomita liga direta, Al_2O_3

Desvantagens:

- líquido pode permanecer após sinterização,
- redução da refratariedade do sistema.

3.3.8 Inspeção e ensaios finais

Nesta etapa do processo é avaliada a qualidade do produto de acordo com seus atributos (defeitos), dimensões e características intrínsecas (granulometria, PA, RCTA, inspeção de raios X, análise química, RFQ, etc.) (NBR 6114, 1995; RING, 1996; REED, 1995).

Atributos: São os defeitos que podem aparecer nos produtos durante as etapas de fabricação e que, se não forem corrigido vão aparecer no produto final. Exemplos: trincas, laminação, canto quebrado, segregação, contaminação, aresta quebrada, massa não homogenia (RING, 1996; REED, 1995).

A avaliação dos resultados de caracterização da inspeção por variáveis e atributos é feita confrontando os resultados obtidos com as especificações contidas nas fichas técnicas de cada produto. (NBR – 6114. 1995) (RING, 1996; REED, 1995).

Os lotes serão considerados aprovados quando os resultados das inspeções por variáveis e atributos reunidos no relatório de qualidade se apresentar de acordo com as especificações e quando do parecer do técnico do controle de qualidade (NBR – 6114. 1995.) (RING, 1996; REED, 1995).

3.3.9 Embalagem

Neste processo a inspeção para verificar as embalagens e a identificação, é importante para assegurar nenhuma perda de propriedade do refratário, quebras e erros na identificação. Imagine um excelente produto porém com a identificação trocada descoberta na linha de montagem do cliente (RING, 1996; REED, 1995).

Os tipos de embalagem variam de acordo com o produto, exemplos: um tipo de massa silico aluminosa pode ser embalada em saco de polietileno, um tipo de massa aluminosa úmida de pega ao ar pode utilizar embalagem de sacos de polietileno de boca aberta e fundo reto, um tipo de concretos aluminosos pode utilizar embalagem de sacos de papel de duas folhas mais polietilenizada com manga, etc. (RING, 1996; REED, 1995).

3.3.10 Expedição

O processo de expedição pode ser terceirizado, e vem sendo assumido pela equipe de logística. O gerenciamento e execução desse processo deve ter como princípios básicos: controle de estoque, armazenagem e gestão de transportes (RING, 1996; REED, 1995).

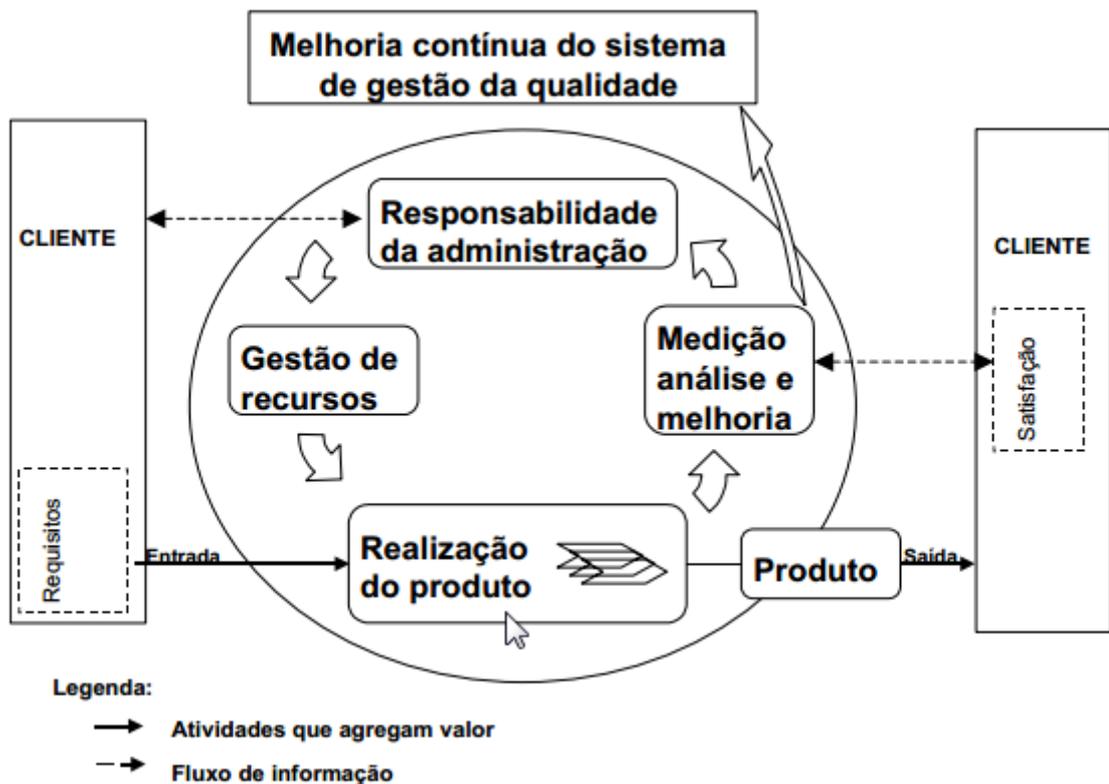
O transporte e armazenagem de produtos refratários variam de acordo com as propriedades de cada produto, pois cuidados são específicos e os responsáveis devem ter um elevado grau de conhecimento técnico e não apenas sobre logística. Materiais higroscópicos, por exemplo, podem sofrer perda de suas propriedades em contato com umidade (RING, 1996; REED, 1995).

O prazo de validade e como cada produto deve ser transportado (em bags, padiolas, etc.) devem ser controlados (RING, 1996; REED, 1995).

3.4 Sistema da Qualidade

Conjunto de elementos inter relacionados ou interativos para estabelecer e alcançar política e objetivos de uma organização, figura 20 (NBR ISSO 9000, 2000).

Figura 20 – modelo de um sistema de gestão da qualidade baseado em processo



Fonte: NBR 9000, 2000

Um sistema da qualidade deve dirigir e controlar uma organização, no que diz respeito à qualidade, deve estar preparado para os desafios da competitividade e qualidade, deve prover de um fundamento lógico para gestão do processo que permita o trabalho fluir direto do início ao fim, envolva comunicação com o cliente planejado, acione o ciclo do PDCA (Plan-Do-Check-Act) no processo como um todo, figura 21. Devem também adotar valor na melhoria em longo prazo, foco na necessidade da prevenção das não conformidades, determine que as organizações façam a medição dos seus processos, coleta e façam a avaliação das informações para melhoria contínua (TOLEDO, 2002; BROCKA, 1994).

Figura 21 - Ciclo do PDCA



Fonte: MORAGAS, 2011

As divisões das fases do ciclo do PDCA são:

- P (Plan) planejamento, identificando problema ou meta, analisando as características do problema ou meta e plano de ações para resolver o problema;
- D (Do) Fazer, executar o plano de ações;
- C (Check) Avaliar, verificar se foram eficazes as ações tomadas;
- A (Action) Ação corretiva, padronizar o que foi eficaz, revisar oportunidades de melhorias futuras (TOLEDO, 2002; BROCKA, 1994).

3.4.1 Ferramentas da qualidade

As ferramentas da qualidade são técnicas que podem ser utilizadas para coletar, mensurar, analisar variáveis de um processo, e propor soluções para o bom desempenho do processo, exemplos de ferramentas são: folha de verificação, fluxograma, diagrama de pareto, diagrama de Ishikawa, diagrama de dispersão e gráficos de controle (JURAN, 1992; TOLEDO, 2002).

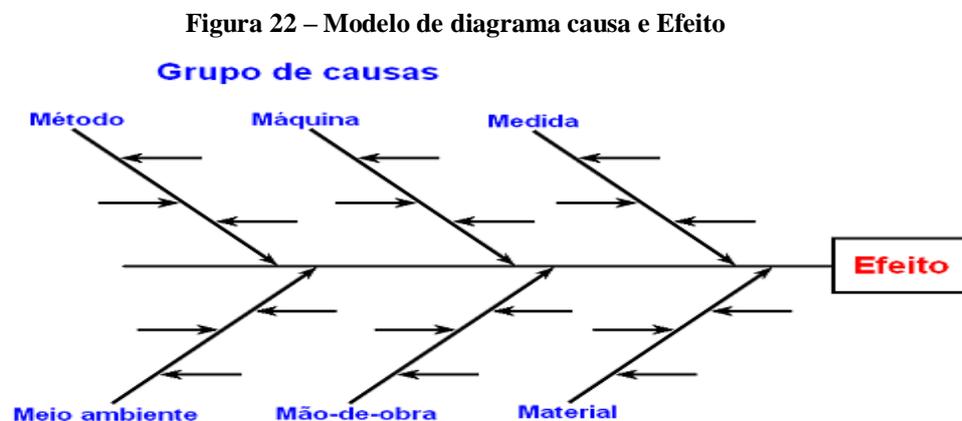
3.4.1.1 Brainstorming (Tempestade de ideias)

Técnica utilizada para auxiliar as pessoas de um grupo a expressar ideias em um curto intervalo de tempo (JURAN, 1992).

Utiliza-se para criar muitas e diferentes ideias, sobre o que ocorre em um problema. Estimula a participação das pessoas, incluir na análise intuição e experiência, para levantar causas prováveis relacionadas com o problema (JURAN, 1992).

3.4.1.2 Diagrama de Causa e Efeito

Diagrama de Ishikawa ou Espinha de Peixe, figura 22, auxilia na Identificação das muitas causas possíveis para um efeito observado ou problema e classifica ideias em categorias úteis, na forma de representação gráfica. Os principais grupos das possíveis causas são: método, mão de obra, materiais, medição, meio ambiente, máquinas. As causas são classificadas e sub causa (BROCKA,1994).



Fonte: LUGLI, 2012

Quando é preciso utilizar o diagrama de causa e efeito? Quando notar a necessidade de identificar causas para um problema e especialmente quando as ideias da equipe se tornam viciadas (OLIVEIRA JUNIOR, 2012).

Etapas do processo

- Identificar qual é a causa ou efeito ou problema. Escrever o problema à direita do diagrama;
- escreva cada grande grupo de causas em ramos no diagrama 6M: Método, Mão de Obra, Materiais, Medição, Meio Ambiente, Máquinas. Nem todos os grupos da causa serão aplicados a cada problema.
- identificar as sub causas;
- analisar os dados. (focar nas causas mais prováveis do problema, para serem investigadas) (OLIVEIRA JUNIOR, 2012).

Uma excelente forma para dar entrada no diagrama, é feita por meio do brainstorming com a equipe. Pergunte por que isto acontece? E escreva cada causa provável como um ramificado do grupo de causa principal. Pergunte novamente por quê? Para cada causa e explore a cadeia de eventos em cada ramo. Ramificações mais extensas tendem a indicar relações de causas mais significativas. Quando a equipe ficar sem ideias, mude o foco para os ramos do diagrama que ainda não foram preenchidos (BROCKA, 1994; OLIVEIRA JUNIOR, 2012).

3.4.1.3 Análise dos modos de falhas e dos efeitos (FMEA)

A FMEA é uma metodologia de análise sistemática utilizada para orientar e comprovar em fase preventiva, as possíveis falhas em potencial do produto, para que suas respectivas causas possam ser analisadas e tratadas às ações preventivas necessárias para evitar a ocorrência desses problemas. Este tipo de análise sistemática é utilizado tanto pra FMEA de projeto quanto para FMEA de processo produtivo (GS-9000, 1997; ISO/TS 16949:2009).

O que vai diferenciar a FMEA de projeto a FMEA de processo é o objetivo da análise:

- FMEA Projeto – componentes e conjuntos;
- FMEA Processo – várias fases do processo produtivo; (Manual GS-9000, 1997; ISO/TS 16949:2009).

Os principais objetivos da FMEA são:

- Concentrar um pensamento de qualidade total, visando sempre à melhoria contínua através da diminuição dos riscos de falhas;
- reduzir o custo do produto, tornando mais competitivo;
- adotar a filosofia de prevenção e detecção;
- promover a integração e trabalho multifuncional visando à engenharia simultânea;
- documentar e divulgar os riscos provenientes do desenvolvimento do produto; (GS 9000, 1997; ISO 16949, 2009).

FMEA é um documento vivo que deve tanto refletir o último nível do processo, deve estar em periódicas atualizações, por volta de um ano, e deve conter as ações de melhoria que foi implementada, incluindo aquelas posteriores ao começo da produção, bem como é uma ferramenta que auxilia a tomada de decisão pela gerencia. O FMEA deve estimular a troca de informações entre as áreas envolvidas e promover a formação de um grupo de trabalho. Deste grupo, devem participar representantes dos setores de processo, qualidade, projeto, serviços, produção e logística (GS 9000, 1997; ISO 16949, 2009).

3.4.1.4 Controle estatístico do processo (CEP)

É uma ferramenta estatística utilizada para analisar os ciclos de um processo, com utilização de técnicas para analisar variações no processo (JURAN, 1992).

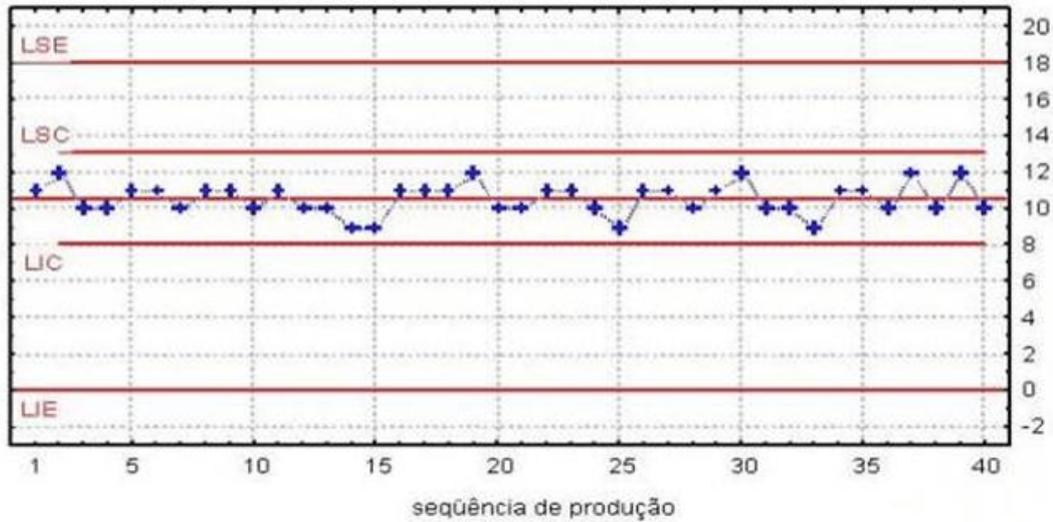
Gráficos utilizados para estudar como um processo muda ao longo do tempo, as informações são plotadas em ordem cronológica, para medir o desempenho real, comparando com o padrão, e atuar sobre as variações (JURAN, 1992).

Uma carta de controle sempre tem uma linha central que é a média, uma linha superior que é o limite superior de controle (LSC) e uma linha inferior que é limite inferior de controle (LIC) (JURAN, 1992).

Estas linhas são determinadas a partir de dados históricos.

Ao comparar os dados atuais, você pode tirar conclusões se a variação de processo é sólida (está sob controle) ou se sofre grandes variações (está fora de controle), afetada por causa de variação, figura 23 (JURAN, 1992).

Figura 23 - Exemplo controle estatístico do processo



Fonte: FREITAS, 2012

O processo de produtos com qualidade acima do esperado, baixos custos e no menor tempo possível, é fundamental para a competitividade, toda a indústria vem desenvolvendo e aplicando processos disciplinados para desenvolvimento de produtos. Processos estes que utilizam estatísticas visando reduzir suas variações, assim obter uma redução nesses tempos, JUST IN TIME, para melhoria da competitividade e qualidade (CHILD; KRANZ, 2003).

Utilizam-se algumas das ferramentas da qualidade com o propósito de planejar a qualidade do produto, garantir que todos os meios de produção sejam capazes de produzir produtos que atendam os requisitos dos clientes, e estejam disponíveis em tempo ábil (JURAN, 1992).

3.4.1.5 Planejamento avançado da qualidade do produto (APQP)

O planejamento avançado da qualidade do produto é uma ferramenta muito utilizada no setor indústrias, para assegurar que a gestão do processo permita o trabalho fluir direto do começo ao fim, garantindo elevada competitividade dos produtos. Esta ferramenta é largamente utilizada em indústrias automotivas, visando redução de custo de produção, melhoria da qualidade e satisfação do cliente (CHRYSLER, 1995).

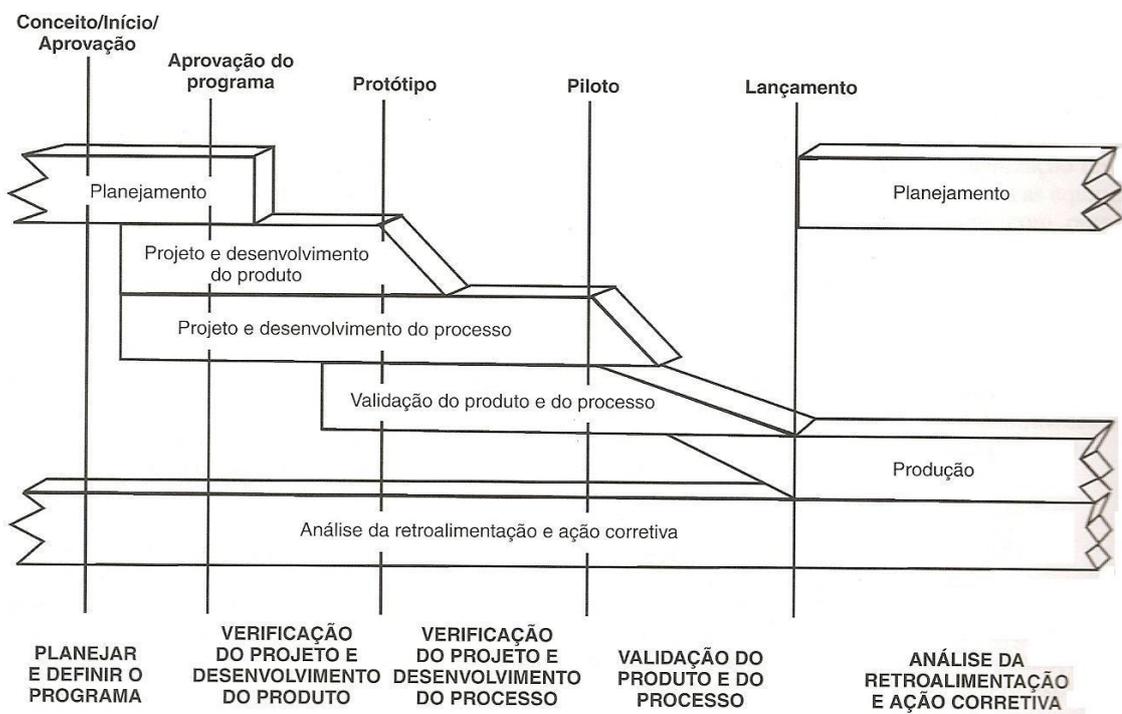
O planejamento avançado do produto foi desenvolvido por três grandes montadoras, a Daimler Chrysler, Ford e General Motors. Definindo atividades consideradas básicas para

assegurar a qualidade do produto, grandes montadoras estimulam a utilização dessa ferramenta (CHRYSLER, 1995).

Uma das principais características é a divisão do projeto por fases, com portas de verificação, cuja função é garantir que todos os requisitos compreendidos nessa etapa foram concluídos para autorizar a passagem para a fase seguinte do projeto (BROCKA, 1994).

A seguir mostra um esquema do APQP, figura 24.

Figura 24 - Diagrama esquemático com o cronograma do APQP adaptado.



Fonte: MANUAL DO APQP, AIAG, 1995.

3.4.1.6 Diagrama de pareto

É uma ferramenta utilizada para estabelecer que, a maior parte das perdas decorrentes de falhas, encontrar-se conectada com alguns problemas vitais, por exemplo, 10 falhas relacionadas a qualidade, se forem identificadas, a solução de 2 ou 3 falhas poderá representar uma redução de 80 ou 90% de todas as falhas existentes (CARPINETTI, 2010).

O diagrama de Pareto é representado através de um gráfico de barras verticais, que contém a informação de forma gráfica em ordem de importância das falhas, facilitando a análise e as falhas de maior impacto (CARPINETTI, 2010).

Etapas para construção de um diagrama de Pareto:

- seleção dos tipos de falhas, frequência de ocorrência em um período estabelecido, essas informações são feitas através da ferramenta (brainstorming);
- seleção da unidade de comparação, por exemplo, quantidade de falhas, porcentagem de falhas;
- definição do período de tempo, por exemplo, um mês, dois anos;
- aquisição das informações, por exemplo, falha por mão de obra ocorreu 15 vezes;
- plotagem, listando as categorias, a frequência de ocorrência, etc (CARPINETTI, 2010).

3.4.1.7 Diagrama de dispersão

É uma ferramenta utilizada na forma de gráfico, para melhor visualizar correlações existentes entre duas variáveis, causa e efeito, facilita o entendimento de variáveis de um processo, sendo úteis nas detecções de possíveis falhas (CARPINETTI, 2010).

Existem três padrões principais de relacionamento entre duas variáveis:

- correlação positiva: com o aumento de uma variável ocorre um aumento da outra variável;
- correlação negativa: com o aumento de uma variável ocorre a diminuição da outra variável;
- correlação inexistente: com a variação de uma variável não ocorre uma variação da outra variável (CARPINETTI, 2010).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Descrições gerais

Foram verificadas as principais atividades de um Sistema de Gestão de Qualidade, no decorrer do processo produtivo de refratários para consolidar os principais conceitos, com o objetivo de obter redução de desperdícios como refugo interno e externo, reclamações de clientes e propor a redução do custo de ensaios de caracterização. Para isto foi necessário:

- verificar as principais atividades de um sistema de gestão de qualidade;
- conhecer as operações unitárias: moagem, classificação granulométrica, mistura conformação, tratamento térmico, seleção, embalagem, despacho e expedição;
- verificar os requisitos técnicos das operações e produtos refratários. Verificar os requisitos de tecnologia que deveram ser seguidos nas operações de produção: plano da qualidade das linhas de produtos;
- preparação da planilha das análises atualmente realizadas nas operações de produção: o que é feito e com qual frequência. Identificar os pontos atualmente cobertos pelas análises;
- levantamento das falhas ocorridas nas operações de produção: levantamento e análise dos dados, estratificação das falhas, correlação com a planilha de análises realizadas. Identificar oportunidades para adequação das análises a serem aplicadas nos processos com maior número de falhas ou nos processos mais estratégicos para o sucesso nas operações e qualidade dos produtos;
- Preparação de propostas de otimização das análises realizadas: o que deveria ser feito, com qual frequência, ganhos de produtividade e qualidade, redução potencial das análises e falhas. Reduzir as análises e melhorar a assertividade dos controles realizados nos processos críticos para as características de qualidade dos produtos.

4.2 Materiais

Os materiais escolhidos de acordo com sua maior disponibilidade no estoque de matéria-prima/aditivos, e fluxo constante de produção, para execução de caracterização foram o AGAL ROSEKI, CEKOR-80-DS, MAGKOR-D, RESINA FEN Liq NOVAL e ZIRKOR-SRX-332, pois para serem possíveis as correlações entre ensaios, em cada material deve ser

feito mais de um tipo de ensaio de caracterização, por exemplo, DMA e PA, ou DMA e RFQ, na mesma amostra.

Para a realização do trabalho de correlação entre ensaios foram utilizados os ensaios: densidade, ponto ao fogo, tempo de retenção, força ligante, resistência a flexão a quente 1400°C, resistência a flexão a temperatura ambiente, % de água, viscosidade, pH, resistência a flexão a 25°C, porosidade aparente e DMA.

4.2.1 AGAL ROSEKI

É um material refratário sílico aluminoso, com constituintes principais de sílica e alumina, que contém por volta de 56% de sílica.

4.2.2 CEKOR-80-DS

É um material refratário com constituição principalmente de alumina, com teor de Al_2O_3 por volta de 85%.

4.2.3 MAGKOR-D

Ligante mixil espinelizado.

4.2.4 RESINA FEN Liq NOVAL

Ligante com fonte de carbono.

4.2.5 ZIRKOR-SRX-332

Principais constituintes: zircônia – dióxido de zircônio cristalizado e alumina – óxido de alumínio.

4.3 Métodos

Nesse estudo, foram realizadas visitas, durante o período de estagio do próprio autor, em uma empresa de materiais refratários, no intuito de conhecer as operações unitárias de produção,

foram verificados os requisitos técnicos, os pontos cobertos pelas análises da qualidade e sua frequência, para possíveis otimizações.

Para assegurar que a gestão do processo permita o trabalho fluir direto do começo ao fim, garantindo elevada competitividade dos produtos, torna-se indispensável o planejamento avançado da qualidade do produto (APQP).

Foram analisadas as falhas ocorridas nas operações de produção utilizando a técnica Brainstorming (tempestade de ideias) e o diagrama de causa e efeito, com isso foram propostas oportunidades de melhorias para eliminá-las, a ferramenta estatística, controle estatístico do processo (CEP) foi apresentado com intuito de eliminar falhas no processo.

A metodologia, análise dos modos de falhas e dos efeitos (FMEA) foi apresentada como oportunidade de melhoria para orientar e comprovar em fase preventiva, as possíveis falhas em potencial do produto, para que suas respectivas causas possam ser analisadas, e tratadas às ações preventivas necessárias para evitar a ocorrência desses problemas.

Todos os ensaios seguiram as metodologias descritas nas normas técnicas correspondente de cada ensaio.

4.3.1 RCTA

O ensaio de RCTA (resistência à compressão a temperatura ambiente), foi realizado realizado com base nos procedimentos de ensaios descrito na norma NBR 6224, equipamento de ensaio conforme norma ABNT NBR-11222 da marca Haida e modelo HD 501 600, paquímetro com resolução mínima de 0,1 mm com marca Jomarca, dispositivo inferior e superior para encaixe na prensa com as medidas do diâmetro equivalentes ao corpo-de-prova.

Para realização deste ensaio utilizou-se 12 corpos de prova do material ZIRKOR-SRX-332, nas dimensões: 230x60x60m³.

4.3.2 DMA e PA

O ensaio de DMA (densidade massa aparente) e PA (porosidade aparente), foram realizados com base nos procedimentos de ensaios descrito na norma NBR 12173:2012, com balança

hidrostática com resolução de 0,01g da marca Yueke, estufa com capacidade de manter temperatura a $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ da marca Quimis, câmara de vácuo com pressão mínima de 640mmHg, pano / papel absorvente (conforme NBR-6220), dessecador de 250mm para montagem da câmara de vácuo, pinça metálica, recipiente metálico para acondicionar amostras, recipiente contendo querosene com densidade volumétrica determinada, cesto metálico suspenso por fio metálico, béquer de vidro ou recipiente metálico com capacidade de 250ml, querosene e água.

Para realização deste ensaio utilizou-se 12 amostras do material ZIRKOR-SRX-332.

As preparações das amostras foram: peneirar e quartear a fração retida entre as peneiras de aberturas 4,00mm e 2,00mm, até obter uma amostra entre 200g e 500g, em seguida, aplicar um jato de ar comprimido para eliminar o pó aderido aos grãos, secar em estufa a $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ a amostra obtida até massa constante e, em seguida resfriar em dessecador até a temperatura ambiente.

4.3.3 RFQ

O ensaio de RFQ (resistência a flexão a quente), foi realizado com base nos procedimentos de ensaios descrito na norma NBR 6113: 1997, forno com capacidade de $(1400 \pm 10)^{\circ}\text{C}$ e injeção de gás (argônio) da marca Isoheat,, estufa capaz de manter a temperatura em $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ da marca Isoheat,, paquímetro digital com resolução mínima de 0,1mm com marca Jomarca, cutelos inferiores com distancia entre apoio de 125 ou 50 ± 2 mm, com o incremento de carga de aproximadamente 670N/min, com base no procedimento descrito na norma ABNT - NBR9642.

Para realização deste ensaio utilizou-se 12 corpos de prova do material ZIRKOR-SRX-332 e 12 do material MAGKOR-D, nas dimensões: C x L x E (150 x 25 +/-1 mm x 25 +/-1 mm), (150 x 20 ± 1 mm x 20 ± 1 mm) ou (50 x20 +/-1 mm x 20 ± 1 mm), com as quatro faces retificadas, secas em estufa $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

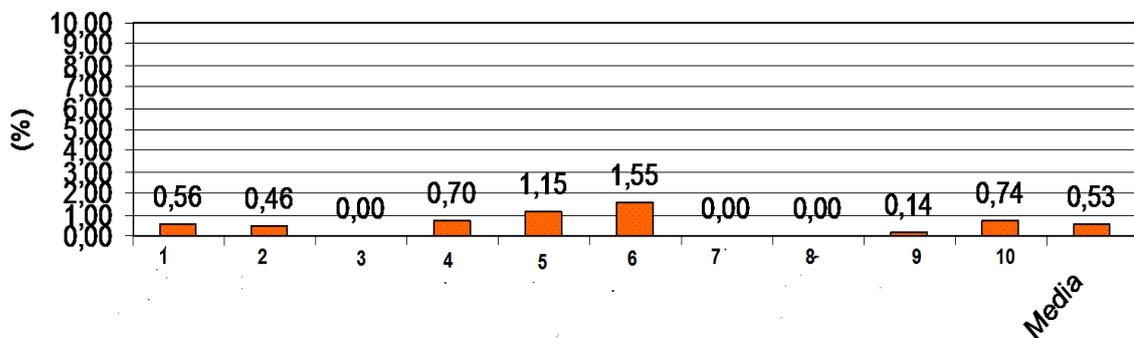
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Correlação entre análises

As correlações entre análises foram feitas visando reduzir o número de ensaios com custo de execução maior, a média dos ensaios cujos parâmetros não atenderão os especificados da empresa foi aproximadamente de 0,53% no ano de 2011, figura 24, com isso a qualidade dos produtos está com índice tolerável de acordo com a norma internacional 2859-3: 2005 Skip-lot.

Figura 25 – Ensaios rejeitados em 2011

Ensaios rejeitados - Media 2011

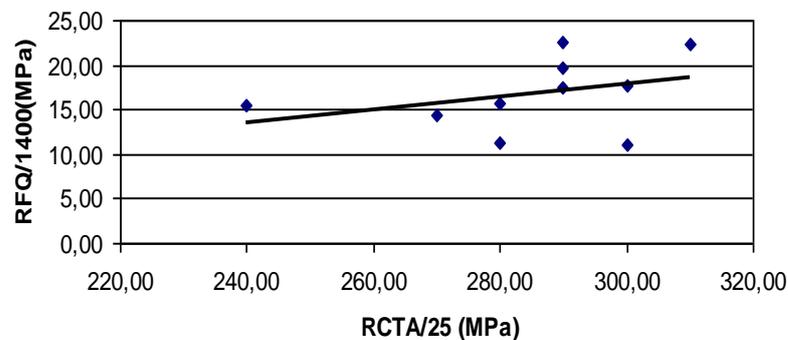


Fonte: próprio autor

5.2 Resultados das correlações

Figura 26 - Diagrama de dispersão entre RCTA e RFQ

Correlação - RCTA/25 X RFQ/1400 - ZIRKOR-SRX-332

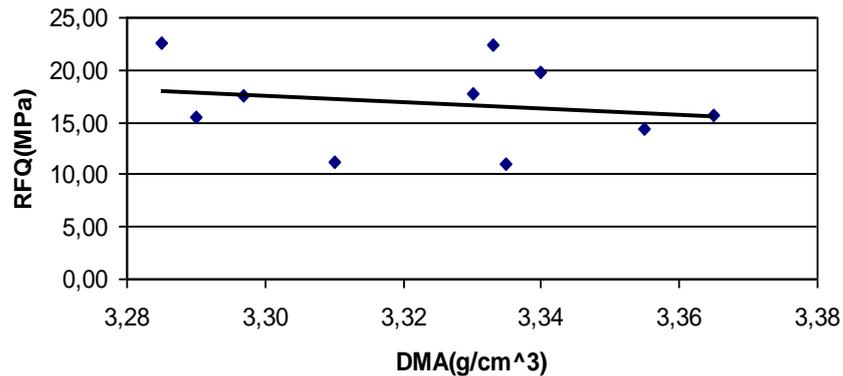


Fonte: Próprio autor.

Verifica uma possível relação de causa e efeito entre as variáveis acima, com o aumento do RFQ (resistência a flexão a quente), também ocorre aumento do RCTA (resistência à compressão a temperatura ambiente), assim uma moderada correlação positiva.

Figura 27 - Diagrama de dispersão entre RFQ e DMA

Correlação - DMA/25 X RFQ/1400 - ZIRKOR-SRX

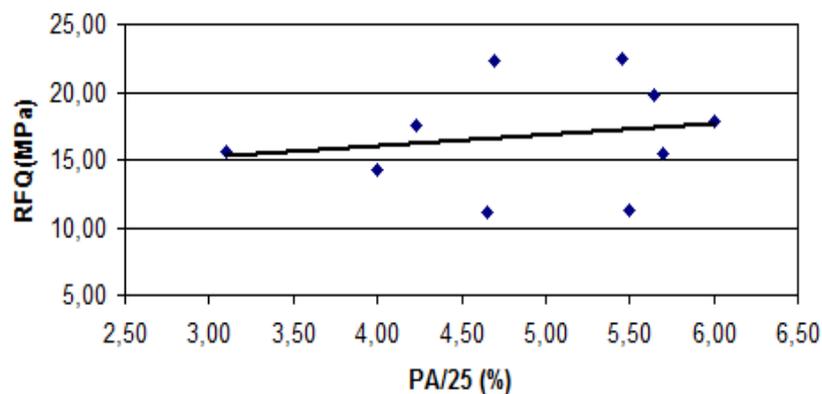


Fonte: Próprio autor.

Verifica uma possível relação de causa e efeito entre as variáveis acima, com a redução do RFQ (resistência a flexão a quente), ocorre aumento do DMA (densidade massa aparente), assim uma moderada correlação negativa.

Figura 28 - Diagrama de dispersão entre RFQ e PA

Correlação -PA/25 X RFQ/1400 -ZIRKOR - SRX



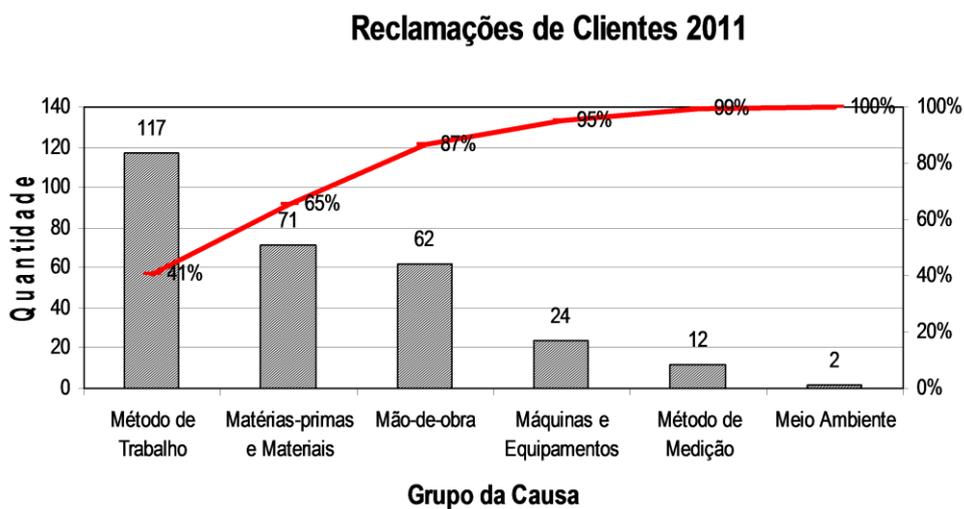
Fonte: Próprio autor.

Verifica uma possível relação de causa e efeito entre as variáveis acima, com o aumento do RFQ (resistência a flexão a quente), também ocorre aumento do PA (porosidade aparente), assim uma moderada correlação positiva.

5.3 Reclamações de clientes

Foram analisadas as reclamações de clientes, utilizando o diagrama de Pareto, para saber os principais grupos das causas, e com isso analisar se os ensaios estão cercado tais problemas e sugerir oportunidades de melhorias, foram coletadas as reclamações de clientes em um banco de dados da empresa, figura 29.

Figura 29 - Diagrama de Pareto sobre reclamações de clientes



Fonte: Próprio autor.

Nota-se que por volta de 87% das reclamações estão relacionadas com método de trabalho, matérias primas e materiais e mão de obra, que são:

- Método de trabalho: carregamento de transporte inadequado; erro de nota fiscal; trinca por choque mecânico; falta de informação; erro de embalagem;
- matérias-primas e materiais: contaminação; alteração da coloração, dimensões fora do especificado; material hidratado, empeno;
- mão-de-obra: falhas na seleção; falta de atenção ou fadiga; falha na embalagem; falha na identificação; falta de treinamento.

Com isso a necessidade de desenvolver propostas para solucionar, tais problemas com prévio conhecimento de que aumentar o número de análises não é a solução das causas raízes.

5.3.1 Apresentação de propostas

Apresentação de propostas de otimização dos ensaios de caracterização

Quadro 1: Propostas para otimização dos ensaios de caracterização

O que deveria ser feito?		Com qual frequência?
Ensaio	Lote de controle	
Determinação Granulométrica	Controle de processo	01 amostra por marca dia
DMA/25		
PA/25		
DMA	Liberação de produto	01 amostra X marca X mês
PA		
RCTA/25		
Análise Química	Completo	01 amostra por marca / semestre
RFQ		
RCTA		
Análise Química	Completo	01 amostra por marca / semestre
RFQ		
Granulometria	Liberação de produto	01 amostra X marca X mês
Granulometria	Processo (argamassas)	01 amostra por marca por quinzena
Tempo de retenção de água		
Força ligante/110°C	Processo (argamassas)	
Conforme FDT, critérios especiais (comercial ou pesquisa) ou nas alterações de matérias-primas críticas.	Completo (argamassas)	Ensaio físico de 6 em 6 meses / análise química de 12 em 12 meses.

Fonte: Próprio autor.

5.3.2 Oportunidades de melhorias (OPM)

Sugestões para melhorias no processamento, figura 30.

Quadro 1 – Oportunidades de melhorias (OPM)

1	Na operação de mistura, propor implantação da ferramenta FMEA (análise dos modos de falhas e seus efeitos).	Este processo é crítico, com enorme número de falhas, como: dimensional, variação na densidade, laminação, ETC.	Com a implementação da ferramenta FMEA, ocorrerá redução das variações de produção e melhoria na eficiência de fabricação, impactando positivamente os resultados finais, assim, a quantidade de ensaios de caracterização poderá ser reduzido. Fazer certo de primeira.
2	Na linha de moagem e classificação granulométrica, propor aplicação de uma camada superficial de um material polimérico PET - Poli (tereftalato de etileno), para elevar a vida útil da peneira.	Vida Útil das peneiras em torno de 90 dias Apenas quando a peneira se rompe, e há contaminação, esta é trocada.	Oportunidade de Melhoria contínua, com atuação na prevenção, reduzindo a contaminação e conseqüentemente a quantidade de produtos não conformes, reduzindo a necessidade de Ensaios de Caracterização e o custo total com Peneiras refugadas.
3	Adoção de programas de treinamentos, conscientizando sobre as principais reclamações de clientes, para todo pessoal envolvido na qualidade do produto.	Notas QMs, reclamações de clientes	Conscientizar todo pessoal envolvido na qualidade do produto que, por volta de 90% das reclamações de clientes está no grupo de causa: método de trabalho, matérias primas e materiais e mão de obra.

4	Na operação de conformação (prensas), propor implantação dispositivo de análise tridimensional para a prensa automática.	Este processo é crítico, com enorme número de falhas, como: dimensional, etc.	Este equipamento permite atender as necessidades das medições de peças com características dimensionais variadas. Garantindo a competitividade no mercado atual, aliado a uma demanda por qualidade.
5	Maior participação dos Ensaístas químicos na linha de produção, com auditorias de processo.	-	O suporte na fase de produção é fundamental para atuar na possível causa, antes que ela ocorra.
6	Na sala climatizada utilizada no armazenamento de matérias-primas, implantação de um dispositivo “pisca alerta”, cuja finalidade é sinalizar temperaturas foras do especificado, tal dispositivo deve ser calibrado de acordo com as especificações de temperatura.	-	O controle da temperatura é fundamental para o controle do processo.
7	Na operação de quebra / seleção blocos, propor pavimentação com tijolos refratários pós-uso, ou a própria matéria-prima refugada que não tenha discrepância significativa com o especificado.	Este processo é crítico, com enorme número de falhas, como: contaminação química por sílica, etc.	Oportunidade de melhoria contínua, com atuação na prevenção, reduzindo a contaminação e conseqüentemente a quantidade de produtos não conformes, e melhoria na eficiência de fabricação, impactando positivamente os resultados finais, assim, a quantidade de ensaios de caracterização poderá ser reduzido.

8	Conscientizar os fornecedores que devem ser responsáveis por possíveis danos causados por um fornecimento não conforme. O fornecedor deve assegurar a conformidade do seu produto.	Matéria prima fora do especificado enviada pelos fornecedores, deve ser de responsabilidade do mesmo, o que não ocorre.	A grande quantidade de análises realizadas, pode ser reduzida, pois o fornecedor deve assegurar a conformidade de seu produto.
9	Propor implantação da ferramenta FMEA (análise dos modos de falhas e seus efeitos) de projetos	Adotar a filosofia de prevenção e detecção, promover a integração e trabalho multifuncional visando à engenharia simultânea, documentar e divulgar os riscos provenientes do desenvolvimento do produto.	Com objetivo de concentrar um pensamento de qualidade total, visando sempre à melhoria contínua através da diminuição dos riscos de falhas, reduzir o custo do produto, tornando mais competitivo.
10	Na operação de conformação (prensas), propor implantação da ferramenta estatística CEP (controle estatístico do processo).	-	Este processo é crítico, com enorme número de falhas, como: dimensional, variação na densidade, laminação, etc.

No monitoramento da implantação das propostas, as análises foram feitas nos três meses posteriores, período curto. Deixa-se claro que nem todas as propostas foram implantadas e algumas foram modificadas, pois o estudo foi acordado com a empresa e detalhes foram omitidos.

Após o monitoramento dos resultados notou-se que:

- Os ensaios de caracterização apresentaram uma redução de 32% na quantidade executada, estas informações, foram retiradas de um programa específico da empresa. Reduções tidas como satisfatórias, e a redução do custo total dos ensaios também foi significativa.

- Não houve variação do volume de produção, devido esta ser feita por meio de contrato, com período superior ao estudo em questão;
- O período de três meses para análise das reclamações de clientes, não foram suficientes para mensurar, pois nem todas as propostas foram implantadas no período de estudo, deixando aberto para estudos posteriores.

6 CONCLUSÃO

O desenvolvimento de propostas para redução das análises, da qualidade nas operações de produção de refratários, sem perda de qualidade, competitividade e produtividade, foram feitas, atuando no custo de análise da qualidade e refugo interno e externo.

A racionalização das análises foram de 32% na quantidade de ensaios de caracterização realizados mensalmente, ao longo das diversas operações unitárias na produção de refratários como: moagem, classificação, mistura, conformação, tratamento térmico, seleção, embalagem, despacho e expedição, de acordo com normas específicas e adaptadas ao processo produtivo.

Foram sugeridas oportunidades de melhorias, no processamento de refratários, para assegurar que a gestão do processo permita o trabalho fluir direto do começo ao fim, adotando valores na melhoria em longo prazo, foco na necessidade da prevenção das não conformidades, determinando que façam a medição dos seus processos, coleta e façam a avaliação das informações para melhoria contínua do sistema como um todo.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM-ISO 3310-1**: peneiras de ensaio – requisitos técnicos e verificação – parte 1: peneiras de ensaio com telas de tecido, 12p. Rio de Janeiro, agosto de 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 5013**: produtos refratários — determinação do módulo de ruptura em temperaturas elevadas. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 9000**: sistema de gestão da qualidade – fundamentos e vocabulário, Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 19011**: diretrizes para auditorias de sistemas de gestão da qualidade e/ou ambiental. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM-ISO 3310-1**: peneiras de ensaio – requisitos técnicos e verificação – parte 2: peneiras de ensaio de chapa metálica perfurada, 9p. Rio de Janeiro, agosto de 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 18**: cimento portland - análise química - determinação de perda ao fogo. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 26**: agregados: amostragem, 10p. Rio de Janeiro, maio de 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: agregados: determinação da composição granulométrica, 6p. Rio de Janeiro, julho de 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 3310-1**: peneiras de ensaio - requisitos técnicos e verificação, 20p. Rio de Janeiro, julho de 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5430 NB 309-05**: guia de utilização - inspeção por variáveis. Rio de Janeiro, 1985.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6113**: materiais refratários densos conformados - determinação da resistência à flexão à temperatura ambiente. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6114** : materiais refratários conformados - método para inspeção por atributos. Rio de Janeiro. 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6115**: materiais refratários isolantes - determinação da densidade de massa aparente. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6220**: materiais refratários densos conformados - determinação da densidade de massa aparente, porosidade aparente, absorção e densidade aparente da parte sólida. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6222**: material refratário - determinação do cone pirométrico equivalente. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6225**: materiais refratários conformados - determinação da variação linear dimensiona. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6368**: determinação do índice de trabalhabilidade. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6945**: materiais refratários - determinação do teor de umidade de matérias-primas e refratários não-conformados. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8382**: materiais refratários não-conformados - preparação de corpos-de-prova de concretos para projeção, concretos isolantes, densos e de fluência livre. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8384**: materiais refratários não-conformados - determinação da força ligante em argamassas. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8592**: material refratário denso granulado – determinação da densidade de massa aparente da absorção e da porosidade aparente. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8827**: materiais refratários - determinação do tempo de retenção de água de argamassas. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10358**: materiais refratários para uso geral - características gerais e especificações. Rio de Janeiro, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11302**: refratários aluminosos - análise química - método de ensaio. Rio de Janeiro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12173**: material refratário granulado fino - determinação da massa específica aparente solta. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13202**: materiais refratários - determinação da resistência ao choque térmico com resfriamento em água. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13319**: materiais refratários isolantes conformados para uso geral — requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13320**: determinação da fluidez de concretos convencionais e de fluência livre. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13590**: materiais refratários densos - determinação da permeabilidade. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16001**: responsabilidade social: sistema da gestão: requisitos. Rio de Janeiro, 2004.

ATKINSON, Anthony A., BANKER, R.D., KAPLAN, R. & YOUNG, S.M. **Contabilidade gerencial**. São Paulo: Atlas, 2000.

BRANCÃO, Otavio. **Assentamento de refratário forno cimento**. São Paulo, 2012.

BROCKA, Bruce ; BROCKA, M. Suzanne. **Gerenciamento da qualidade**. São Paulo: Makron Books, 1994. 427p.

CALLISTER JR, W. D. **Ciência e engenharia de Materiais**: uma introdução. 7 Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 590p.

CARNIGLIA, S.C.; BARNA, G.L. **Handbook of industrial refractories technology**. New Jersey: Noyes publishing, 1992.

CARPINETTI, L. C. R. **Gestão de qualidade: conceitos e técnicas**. São Paulo: Atlas, 2010. 235 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 2859-3**: sampling procedures for inspection by attributes– part 3: skip - lot sampling procedures, 2005.

JURAN, J.M. e GRZYNA, F.M. **Controle da qualidade handbook**, métodos estatísticos clássicos aplicados à qualidade. 6 Ed. São Paulo: Makron Books, 1992.

JURAN, J. M. Juran. **Quality by design**: the new steps for planning quality into goods and services. the free press, New York. 1992.

KINGERY, W.D. et al. **Introduction to ceramics**. New York: John Wiley & Sons, 1976.

LEE, W. E. and RAINFORTH, W. M, **ceramic microstructures: property, control by processing**. chapman and hall, London, UK, 1994.

LUGLI. **Diagrama de causa e efeito**. Disponível em <<http://www.lugli.com.br/2009/08/diagrama-de-causa-efeito-ishikawa/>>. Acesso em: 30 julho-2012.

METSO. **Linhas de peneiras para mineração**. Disponível em <<http://www.metso.com/br/miningandconstruction/mineracaoconstrucao.nsf/WebWID/WTB-091019-22576-52E79?OpenDocument>>. Acesso em 25 de agosto 2012.

MONTGOMERY, D.C., RUNGER, G.C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. 2 Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

NORMA Portuguesa. **4239**: bases para a quantificação dos custos da qualidade. 1994.

OLIVEIRA, I. R de et al. **Dispersão e empacotamento de partículas**: princípios e aplicações em processos cerâmicos. São Paulo. F. Arte, 2000. 224p.

OLIVEIRA, V.J. **Gerenciamento do sistema de qualidade**. Entrevista concedida a Igor Vilaça. 2012.

PADILHA, A.F.; AMBRÓSIO, F. **Técnicas de análise microestrutural**. São Paulo: Hemus, 1985. 190p.

REED, J.S. **Principles of ceramics processing**. 2 Ed, John Wiley & Sons, Inc., Nova York, 1995. 658p.

RICHERSON, D.W. **Modern ceramic engineering: properties, processing, and use in design**. 3th. ed. New York: CRC, 2005.

RING, T. A. **Fundamentals of ceramic powder processing and synthesis**, Academic Press, San Diego, EUA (1996) p. 961.

SCHACHT, C.A. Ed. **Refractories handbook**. New York: CRC Press, 2004.

SCHACHT, C.A. **Refractory linings**. New York: Marcel Dekker, 1995.

SOLOSTOCKS. **Forno túnel**. Disponível em <<http://www.solostocks.pt/venda-produtos/equipamentos-industriais/equipamentos-industria/forno-tunel-382504>>. Acesso em 30 de agosto 2012.

SCHNEIDER, S. J. **Engineered materials handbook: ceramics and glasses**. USA. ASM, 1991, v 4.

THUMMLER, F.; OBERACKER R. **introduction to powder metallurgy**. London: The Institute of Materials, 1993.

TRILLOR. **Prensa hidráulica**. Disponível em <<http://www.trillor.com.br/interno/produto.asp?id=5>>. Acesso em 30 de agosto de 2012.

TOLEDO, José Carlos. **Conceitos sobre custos da qualidade**. São Paulo. 2002.

VAN VLACK, L. H. **Propriedades dos materiais cerâmicos**. São Paulo: Edgard Blucher, 1973.

WANG, W., KANG, Y., WANG, A. **Synthesis, characterization and swelling properties of guar gum-g-poly(sodium acrylate-co-styrene)/muscovite superabsorbent composites**. Science and Technology of Advanced Materials, 2010.