

# ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SEGMENTOS INDUSTRIAIS SELECIONADOS



Fonte: (Revista Edificar, 2015)

## SEGMENTO CERÂMICA

**26.06.2018**

Pesquisa/Produto/Trabalho executado com recursos provenientes do Acordo de Empréstimo nº 8.095-BR, formalizado entre a República Federativa do Brasil e o Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento – Bird, em 1º de março de 2012.



## Elaborado por:

**Consultor Sênior: Heitor Kazuhito Ishida**

**Consultora Junior: Ana Carla Ferreira Valente**

**Estatístico: Teresa Aparicio Villegas**

**Coordenador do Projeto: Fernando Moreno Pinzón**

## Sumário

1. INTRODUÇÃO .....	7
2. PERFIL DA INDÚSTRIA BRASILEIRA DE CERÂMICA .....	8
a. Comportamento da produção em nível de subsegmento e suas tendências .....	8
b. Informação do consumo de energia no segmento de cerâmica e sua participação na demanda industrial.....	20
c. Indicadores que serão quantificados a partir da análise da realidade brasileira atual. ....	22
3. DESCRIÇÃO DOS PRINCIPAIS PROCESSOS PRODUTIVOS DO SEGMENTO INDUSTRIAL .....	24
a. Principais processos de produção do subsegmento cerâmica vermelha (estrutural) .....	24
b. Principais processos de produção do subsegmento cerâmica branca .....	32
c. Principais processos de produção do subsegmento vidro .....	43
4. DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA ADOTADA NO ESTUDO .....	46
a. Segmento e Subsegmento estabelecidos .....	46
b. Estabelecimento do universo .....	47
c. Seleção de amostras para levantamento de informação em indústrias selecionadas .....	48
5. INDICADORES DE CONSUMO ENERGÉTICO POR SUBSEGMENTO.....	49
5. a. Subsegmento Cerâmica Vermelha .....	49
5. a. i. Situação atual .....	49
5. a. ii. Condições com tecnologias mais eficientes.....	53
5. b. Subsegmento Cerâmica Branca.....	59
5. b. i. Situação atual .....	59
5. b. ii. Condições com tecnologias mais eficientes.....	64
5. c. Subsegmento Vidro.....	71
5. c. i. Situação atual .....	71
5. c. ii. Condições com tecnologias mais eficientes.....	75



6. ANÁLISE DE CONDICIONANTES À PENETREÇÃO DE TECNOLOGIAS EFICIENTES DE ENERGIA POR SUBSEGMENTO .....	82
6. a. Subsegmento Cerâmica Vermelha .....	82
6. a. i. Condicionantes técnicos .....	82
6. a. ii. Condicionantes econômico-financeiros .....	83
6. a. iii. Outros condicionantes .....	84
6. b. Subsegmento Cerâmica Branca .....	85
6. b. i. Condicionantes técnicos .....	85
6. b. ii. Condicionantes econômico-financeiros .....	86
6. b. iii. Outros condicionantes .....	87
6. c. Subsegmento Vidro .....	87
6. c. i. Condicionantes técnicos .....	87
6. c. ii. Condicionantes econômico-financeiros .....	88
6. c. iii. Outros condicionantes .....	90
7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	91
8. REFERÊNCIAS UTILIZADAS .....	98

## ANEXOS

## Lista de tabelas

Tabela 1 – Dados do setor de cerâmica vermelha no Brasil. ....	9
Tabela 2 – Consumo de refratários no Brasil, por setor. ....	14
Tabela 3 – Tipos de secagem artificial e suas características. ....	26
Tabela 4 – Tipos de massa para produção de peças cerâmicas. ....	32
Tabela 5 – Tipos de moinhos. ....	33
Tabela 6 – Principais tipos de prensas. ....	35
Tabela 7 – Rendimento energético atual do segmento de cerâmica vermelha. ....	52
Tabela 8 – Coeficiente de destinação atual do segmento de cerâmica vermelha. ....	52
Tabela 9 – Investimentos na situação atual – cerâmica vermelha. ....	53
Tabela 10 - Rendimento energético mais eficiente do segmento de cerâmica vermelha. ....	54
Tabela 11 - Coeficiente de destinação mais eficiente do segmento de cerâmica vermelha. ....	55
Tabela 12 – Comparação do Investimento de equipamentos na situação mais eficiente com o equivalente na situação atual – cerâmica vermelha. ....	55
Tabela 13 – Investimento na situação melhorada – cerâmica vermelha. ....	56
Tabela 14 – Potencial de economia – cerâmica vermelha. Fonte: Elaboração própria. ....	59
Tabela 15 - Rendimento energético atual do segmento de cerâmica branca. ....	62
Tabela 16 – Coeficiente de destinação atual do segmento de cerâmica branca. ....	63
Tabela 17 – Investimento médio na situação atual – cerâmica branca. ....	64
Tabela 18 - Rendimento energético mais eficiente do segmento de cerâmica branca. ....	65
Tabela 19 – Coeficiente de destinação mais eficiente do segmento de cerâmica branca. ....	65
Tabela 20 – Comparação do Investimento de equipamentos na situação mais eficiente com o equivalente na situação atual – cerâmica branca. ....	66
Tabela 21 – Investimento médio na situação melhorada – cerâmica branca. ....	67
Tabela 22 – Potencial de economia – cerâmica branca. ....	71
Tabela 23 - Rendimento energético atual do segmento de vidro. ....	74
Tabela 24 – Coeficiente de destinação atual do segmento de vidro. ....	74
Tabela 25 - Investimento na situação atual – vidro. ....	75
Tabela 26 - Rendimento energético mais eficiente do segmento de vidro. ....	76
Tabela 27 – Coeficiente de destinação mais eficiente do segmento de vidro. ....	76
Tabela 28 – Comparação do Investimento de equipamentos na situação mais eficiente com o equivalente na situação atual – vidro. ....	77
Tabela 29 - Investimento médio na situação melhorada – vidro. ....	78
Tabela 30 – Potencial de economia – vidro. ....	81
Tabela 31 – Variação do consumo específico – cerâmica vermelha. ....	91
Tabela 32 - Potencial de economia de energia na indústria de cerâmica vermelha. ....	92
Tabela 33 - Variação do consumo específico – cerâmica branca. ....	93
Tabela 34 – Consumo específico dos subsegmentos de cerâmica branca. ....	93
Tabela 35 - Potencial de economia de energia na indústria de cerâmica branca. ....	94
Tabela 36 - Variação do consumo específico – vidro. ....	95
Tabela 37 - Potencial de economia de energia na indústria de vidro. ....	96

## Lista de figuras

Figura 1 – Cerâmica vermelha em números. ....	8
Figura 2 – Distribuição dos tipos de produto por região.....	11
Figura 3 – Principais produtores mundiais em milhões de m <sup>2</sup> – base 2015.....	13
Figura 4 – Etapa de extração da argila.. ....	24
Figura 5 – Etapa de mistura da massa cerâmica. ....	25
Figura 6 – Maromba na fabricação de blocos.....	25
Figura 7 – Secagem artificial.....	27
Figura 8 – Secagem natural.....	27
Figura 9 – Forno caipira ou caieira. ....	28
Figura 10 – Forno paulista. ....	28
Figura 11 – Forno tipo abóbada .....	28
Figura 12 – Forno tipo garrafão .....	29
Figura 13 – Forno tipo corujinha .....	29
Figura 14 – Forno Hoffmann.....	30
Figura 15 – Forno tipo túnel. ....	30
Figura 16 – Peças de louça saindo dos moldes. ....	34
Figura 17 – Material saindo da extrusora. ....	35
Figura 18 – Peça cerâmica sendo torneada .....	36
Figura 19 – Entrada do secador vertical.....	36
Figura 20 – Peças na entrada do secador horizontal. ....	37
Figura 21 – Louça sendo esmaltada por pulverização.....	37
Figura 22 – Forno contínuo.....	38
Figura 23 – Forno contínuo da indústria vidreira.....	43
Figura 24 – “Float bath” .....	44
Figura 25 – Macro etapas do processo de produção de cerâmica vermelha. ....	49
Figura 26 – Etapas de processo para cada serviço energético em cerâmica vermelha. ....	50
Figura 27 – Macro etapas do processo de produção de cerâmica branca. ....	60
Figura 28 - Etapas de processo para cada serviço energético em cerâmica branca. ....	60
Figura 29 - Macro etapas do processo de produção de vidro.....	72
Figura 30 - Etapas de processo para cada serviço energético em cerâmica branca. ....	72

## Lista de gráficos

Gráfico 1 - Produção de tijolos perfurados, tapa-vigas e outros tijolos de cerâmica para construção, exceto refratários. ....	9
Gráfico 2 - Produção de telhas cerâmicas.....	10
Gráfico 3 - Tubos, canos, calhas e outros acessórios para canalização, de cerâmica. ....	10
Gráfico 4 – Produção de pias, banheiras, bidês e semelhantes para uso sanitário de 2010 até 2015.	12
Gráfico 5 – Produção nacional de ladrilhos, placas e azulejos de cerâmica para pavimentação ou revestimento, esmaltados de 2010 até 2015. ....	13
Gráfico 6 – Produção nacional de tijolos, placas, ladrilhos e outras peças cerâmicas refratárias para construção, de 2010 até 2015.....	15
Gráfico 7 – Produção de cimentos, argamassas, concretos (betões) refratários e composições semelhantes, de 2010 até 2015. ....	15
Gráfico 8 – Produção nacional de vidro estirado ou soprado, em folhas, de 2012 até 2015.....	16
Gráfico 9 – Produção nacional de vidro flotado e vidro desbastado ou polido, em chapas ou folhas, de 2010 até 2015.....	17
Gráfico 10 – Produção nacional de vidro de segurança laminados ou temperado, exceto para veículos, de 2010 até 2015.....	17
Gráfico 11 – Produção nacional de vidros de segurança para veículos automotores, aeronaves e outros, de 2010 até 2015. ....	18
Gráfico 12 – Produção nacional de vidro em chapas ou folhas, recurvado, biselado, gravado, esmaltado ou trabalhado de outro modo, de 2010 até 2015.....	18
Gráfico 13 – Produção nacional de garrafas, garrafões e frascos de vidro para embalagens, de 2010 até 2015.....	19
Gráfico 14 – Produção nacional de artefatos de vidro para laboratórios, higiene e farmácia, de 2012 até 2015.....	19
Gráfico 15 – Consumo energético final por setor. ....	20
Gráfico 16 – Consumo energético dos subsegmentos do setor industrial.....	20
Gráfico 17 – Consumos específicos dos subsegmentos de cerâmica, em tep/t. ....	21
Gráfico 18 – Fluxograma de produção de cerâmica vermelha. ....	31
Gráfico 19 – Fluxograma de produção de louça sanitária.....	39
Gráfico 20 – Fluxograma de produção de revestimento – via seca.....	40
Gráfico 21 – Fluxograma de produção de revestimento – via úmida. ....	41
Gráfico 22 – Fluxograma de produção de refratários.....	42
Gráfico 23 – Fluxograma de produção de vidro.....	45
Gráfico 24 – Consumo energético do subsegmento de cerâmica vermelha.....	51
Gráfico 25 - Consumo energético do subsegmento de cerâmica branca. ....	61
Gráfico 26 - Consumo energético do subsegmento de vidro.....	73
Gráfico 27 - Consumos específicos atuais dos subsegmentos cerâmicos. ....	96

## 1. INTRODUÇÃO

### Descrição geral do objetivo do relatório

O presente relatório tem como objetivo identificar e avaliar a eficiência energética nas indústrias da cadeia de produção de cerâmica, assim como a geração de dados básicos relativos ao uso de energia (elétrica e térmica) através da realização de pesquisa em âmbito nacional.

O estudo, inicialmente, caracteriza este segmento sob os pontos de vista técnico, econômico, energético e ambiental e, em seguida, é mostrada a metodologia utilizada para o cálculo dos potenciais de conservação de energia e comparados os resultados com os encontrados na literatura técnica. São comentadas, por fim, algumas barreiras existentes para as ações de conservação de energia na indústria da cadeia de produção de cerâmica.

### Abrangência deste relatório

O alcance deste estudo no segmento de Cerâmica está definido para os seguintes subsegmentos: Cerâmica Vermelha (Estrutural), Cerâmica Branca e Vidro.

O estudo aborda os seguintes temas específicos:

- Descrição do processo produtivo de cada subsegmento;
- Consumo de energia na cadeia de cerâmica e sua participação na demanda industrial;
- Consumo de energia de cada subsegmento e sua distribuição fonte-uso;
- Indicadores de consumo energético em cada subsegmento nas condições da situação atual de produção;
- Indicadores de consumo energético em cada subsegmento considerando a utilização de tecnologias mais eficientes;
- Análises dos condicionantes de penetração de tecnologias eficientes de energia por subsegmento;
- Conclusões gerais do estudo.

## 2. PERFIL DA INDÚSTRIA BRASILEIRA DE CERÂMICA

### a. Comportamento da produção em nível de subsegmento e suas tendências.

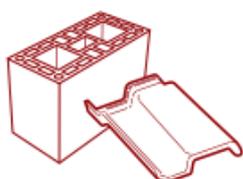
A indústria de cerâmica é um setor bastante heterogêneo, com uma diversidade de indústrias espalhadas pelo país, abundância de matérias-primas naturais e fontes de energia, sendo um grande consumidor de energia térmica em sua cadeia produtiva.

Caracteriza-se também por ser um setor de grande importância econômica, com participação estimada em 1% no PIB (CETESB, 2006), apresentando forte participação no mercado internacional com expansão da exportação.

Respeitando as particularidades de cada subsegmento, a seguir é apresentado o comportamento produtivo dos mesmos.

#### Subsegmento de cerâmica vermelha (estrutural)

A indústria da cerâmica vermelha é um segmento formado por 6.903 empresas, em sua maioria de pequeno porte, (ANICER) pulverizadas por todo o país, localizadas próximas aos mercados consumidores em suas regiões. De acordo com o Relatório Anual da ANICER, esse é um segmento responsável por mais de 90% das alvenarias e coberturas construídas do Brasil, geradora de um faturamento anual de R\$ 18 bilhões e responsável por 293 mil empregos diretos e 900 mil empregos indiretos.



Representa **90%**  
das alvenarias  
e coberturas  
construídas no Brasil



**4,8%** da Indústria da  
Construção Civil



**6.903** fábricas de  
cerâmica



**R\$ 18 bilhões** de  
faturamento anual



Geradora de **293 mil**  
empregos diretos e  
**900 mil** indiretos

**Figura 1** – Cerâmica vermelha em números.  
**Fonte: Relatório Anual – 2015 – ANICER.**

Sendo o setor de cerâmica vermelha um subsegmento altamente influenciado pela indústria da construção civil, representando 4,8% da mesma, foi observado um acelerado processo de industrialização com grande produção após o final da década de 1960, tendo como motivo a implementação de programas habitacionais no Brasil que fez com que esse setor saísse de um perfil essencialmente artesanal para uma produção industrial em grande escala.

PRODUTO	Nº APROXIMADO DE EMPRESAS	% DE PRODUÇÃO APROXIMADO POR ÁREA
Blocos/Tijolos	4346	63%
Telhas	2547	36%
Tubos	10	0,1%

**Tabela 1** – Dados do setor de cerâmica vermelha no Brasil.

Fonte: Site – ANICER.

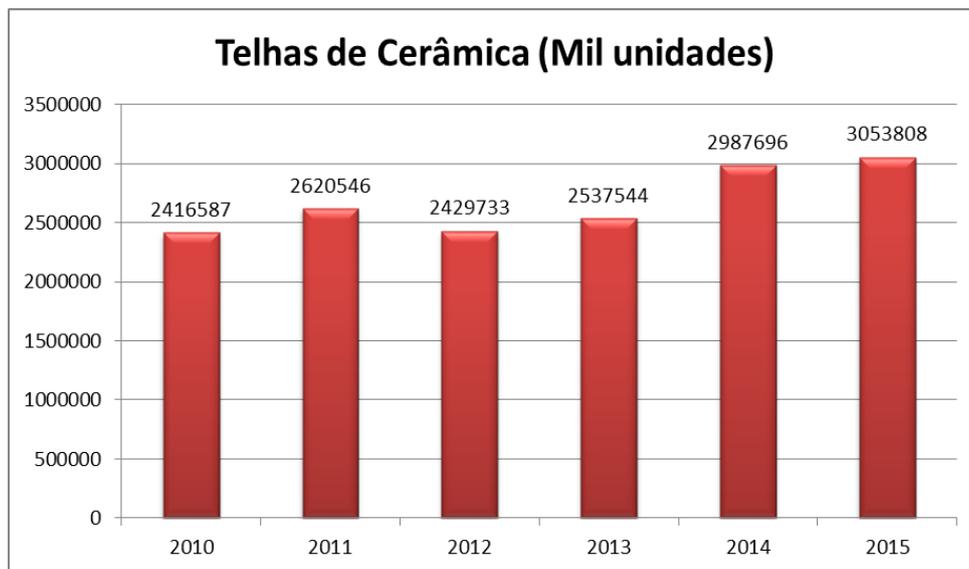
Observando os números da Tabela 1 sobre os três principais produtos do subsegmento de cerâmica vermelha (blocos/tijolos, telhas e tubos), podemos ver que blocos/tijolos representa mais da metade do volume produzido, seguido da produção de telhas, com uma boa representatividade, e produção de tubos com uma baixa representatividade.

De acordo com a Pesquisa Anual Industrial do IBGE, vemos o comportamento da produção dos principais produtos dentro do subsegmento de cerâmica vermelha de 2010 até 2015 nos Gráficos: Gráfico 1, Gráfico 2 e Gráfico 3.

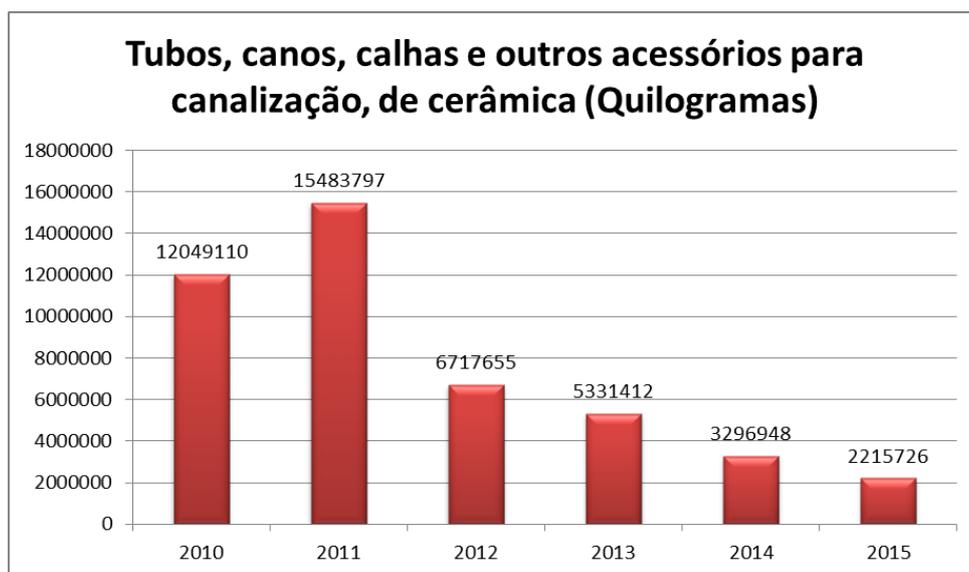


**Gráfico 1** - Produção de tijolos perfurados, tapa-vigas e outros tijolos de cerâmica para construção, exceto refratários.

Fonte: IBGE (2017)

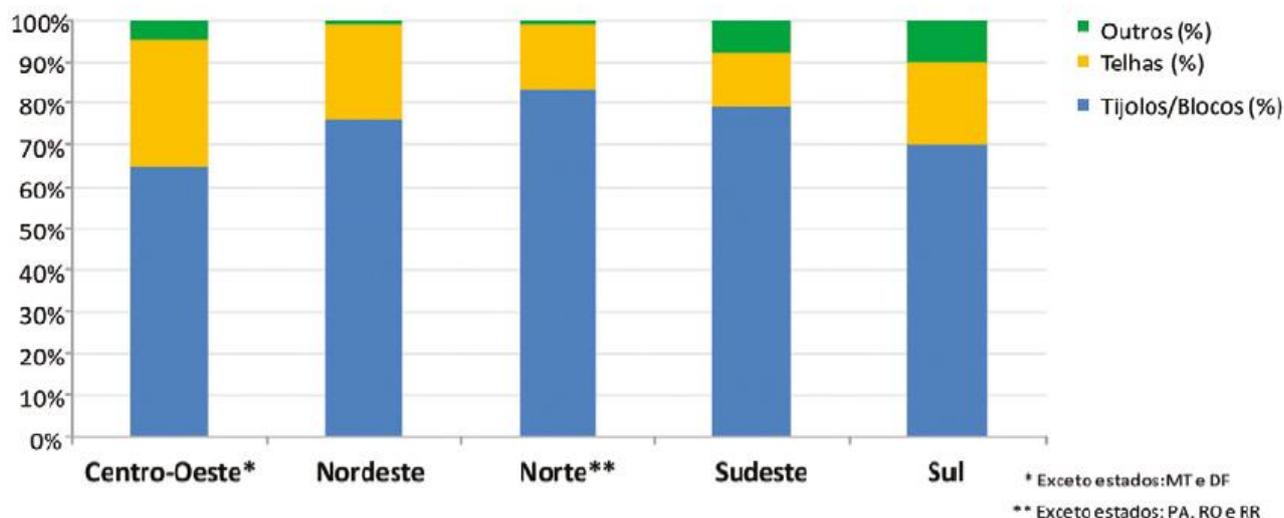


**Gráfico 2** - Produção de telhas cerâmicas.  
**Fonte: IBGE (2017)**



**Gráfico 3** - Tubos, canos, calhas e outros acessórios para canalização, de cerâmica.  
**Fonte: IBGE (2017)**

Sendo o setor de cerâmica vermelha bem pulverizado por todo o país, temos uma distribuição regional de produtos conforme mostrado na Figura 2.



**Figura 2** – Distribuição dos tipos de produto por região.

**Fonte:** Estudo Técnico Setorial Da Cerâmica Vermelha (ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial).

### Subsegmento de cerâmica branca

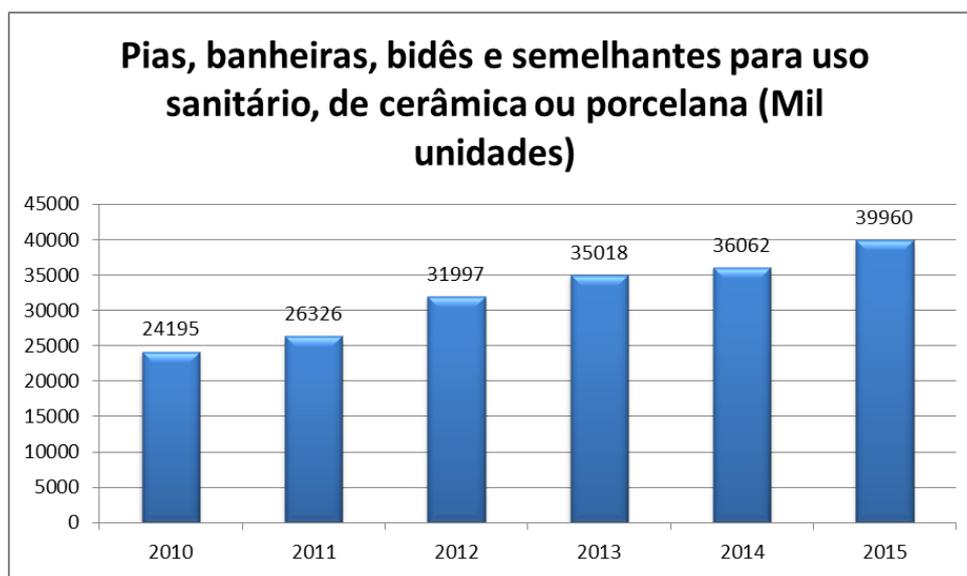
De acordo com a Associação Brasileira de Cerâmica (ABCERAM), o subsegmento de cerâmica branca é bastante diversificado, caracterizado por materiais de corpo branco coberto por camada vítrea transparente. A massa branca utilizada na fabricação desses materiais era requerida por questões técnicas e/ou estéticas, porém com o tempo essa fabricação passou a ser feita com matérias-primas contendo um grau de impurezas e resultando em materiais com certa coloração, porém sem prejuízo das características.

O subsegmento de cerâmica branca pode ser representado pela produção de louças, pisos e revestimentos e cerâmica refratária, com uma baixa participação das cerâmicas artística e técnica e isoladores elétricos.

O subsegmento de louças sanitárias faz parte do ramo de produtos de minerais não-metálicos da indústria de transformação, tendo como principais produtos: bacias, caixas d'águas, bidês, lavatórios, colunas, mictórios, tanques de lavar roupas e acessórios (J Mendo Consultoria, 2009). De acordo com a ABCERAM, no Brasil o setor é caracterizado por um bom nível tecnológico, sendo um dos maiores produtores mundiais, tendo a produção altamente concentrada com duas principais empresas, que juntas detém aproximadamente 75% da produção (J Mendo Consultoria, 2009).

Assim como para o segmento de cerâmica vermelha, a indústria de louças sanitárias teve sua produção fortemente impulsionada ao final da década de 1960, com a incorporação de novas empresas. Inicialmente, a concentração de empresas desse subsegmento era observada na região Sudeste, porém, com um processo de descentralização, o número de empresas foi elevado e distribuído por 8 estados brasileiros, com seu maior polo na região de Jundiaí no Estado de São Paulo (J Mendo Consultoria, 2009).

Entre os anos de 2006 e 2008 foi observado um crescimento em taxas médias anuais de 15%, sendo fortemente impulsionado pelo mercado interno, pois, no mesmo período, as exportações foram fortemente afetadas, caindo de 20% da produção nacional para 10% (J Mendo Consultoria, 2009). De acordo com a Pesquisa Anual Industrial do IBGE, vemos o comportamento da produção dos principais produtos dentro da indústria de louça sanitária de 2010 até 2015 no Gráfico 4.

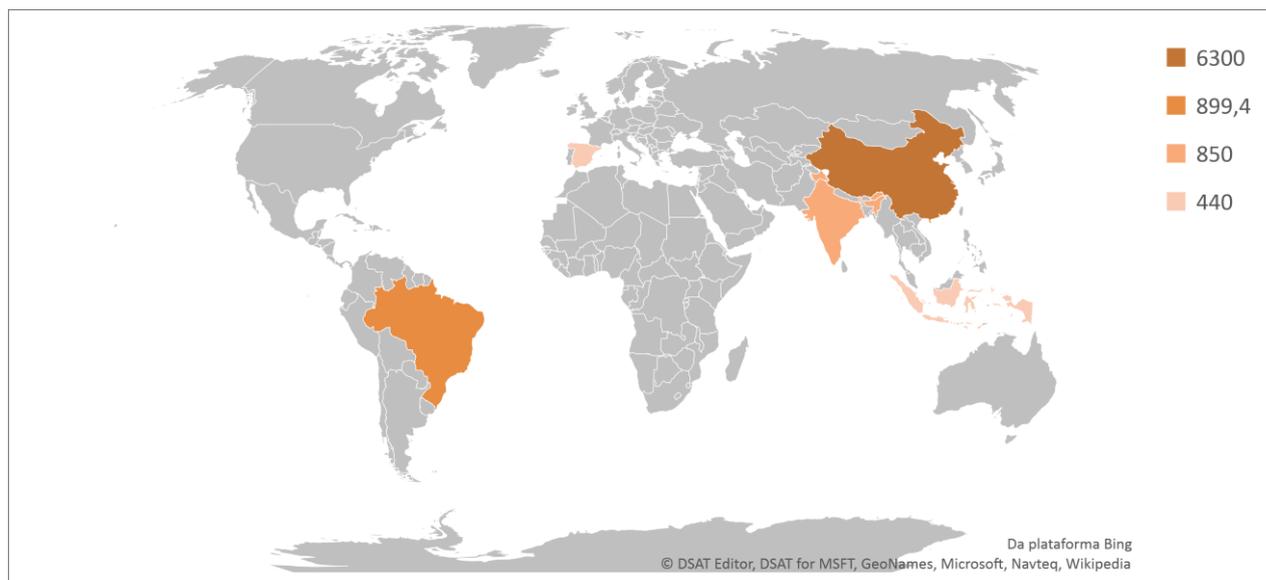


**Gráfico 4** – Produção de pias, banheiras, bidês e semelhantes para uso sanitário de 2010 até 2015.  
**Fonte: IBGE (2017)**

O subsegmento de revestimentos é composto por materiais de construção civil utilizados para cobertura e acabamento em superfícies lisas, ambientes residenciais, comerciais e industriais e locais públicos. Entre seus principais produtos temos pisos, azulejos, ladrilhos e pastilhas (MME - Ministério de Minas e Energia, 2017).

Segundo a ANFACER, o subsegmento de revestimento cerâmico brasileiro é constituído por 92 empresas, concentradas nas regiões Sul e Sudeste com expansão para o Nordeste do país, possuindo cerca de 27 mil postos de trabalho direto e 200 mil indiretos. Os fabricantes brasileiros de revestimentos cerâmicos estão comprometidos com a melhor tecnologia disponível no mundo e em conformidade com as normas internacionais de qualidade (ANFACER - Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres, s.d.).

Ainda segundo a ANFACER, a indústria de revestimentos brasileira é uma das principais do mercado mundial de revestimentos cerâmicos, ocupando a segunda posição em produção e consumo, ficando atrás da China. Uma característica da produção brasileira é a utilização de dois processos produtivos distintos: via seca e via úmida.



**Figura 3** – Principais produtores mundiais em milhões de m<sup>2</sup> – base 2015  
**Fonte: Site ANFACER – Panorama Geral**

Como já citado anteriormente, no Brasil as empresas de revestimento cerâmico estão concentradas nas regiões Sul e Sudeste, sendo o Estado de São Paulo responsável por aproximadamente 60% da produção, com o polo de Santa Gertrudes sendo o maior centro cerâmico das Américas (CETESB, 2006).



**Gráfico 5** – Produção nacional de ladrilhos, placas e azulejos de cerâmica para pavimentação ou revestimento, esmaltados de 2010 até 2015.

**Fonte: IBGE (2017)**

O subsegmento de cerâmica refratária é composto por produtos utilizados geralmente em equipamentos industriais que tem a finalidade de suportar altas temperaturas em condições específicas, sendo expostos a esforços mecânicos, ataques químicos, variações bruscas de temperatura, entre outros (CETESB, 2006). Esse segmento é bastante consolidado, tendo sua representatividade concentrada entre os três maiores representantes, que juntos detêm 75% do mercado. O setor é concentrado na região Sudeste do país e emprega aproximadamente 6000 pessoas (J Mendo Consultoria , 2009).

Segundo o relatório desenvolvido por J Mendo Consultoria, a indústria de cerâmica refratária no Brasil está diretamente relacionada com as indústrias siderúrgica, fundição de ferro e aço, cimento e cal, metalurgia de não-ferrosos, vidro, entre outros. Em um período de 10 anos, 1998 até 2008, foi observado um crescimento do consumo de refratários indo de 412 mil toneladas para 500 mil toneladas, e foi projetado um crescimento do consumo de aproximadamente 3,3% ao ano até 2028 (J Mendo Consultoria , 2009).

<i>SETOR</i>	<i>PARTICIPAÇÃO NO CONSUMO DE REFRAATÓRIOS (%)</i>	<i>CONSUMO ESPECÍFICO MÉDIO (kg de refratário/t)</i>
Siderurgia (Ferro e aço)	70	10 – 13 (integrada) 6 – 11 (elétrica)
Cimento e cal	8	0,7 – 0,9
Metalurgia não-ferrosos	7	11 – 14 (alumínio) 40 – 70 (níquel) 4 – 10 (cobre)
Fundições	5	10 – 20
Vidro	3	5
Química e petroquímica	2	7 *
Outros	5	-

\*kg de refratário/milhões de barris.

**Tabela 2** – Consumo de refratários no Brasil, por setor.

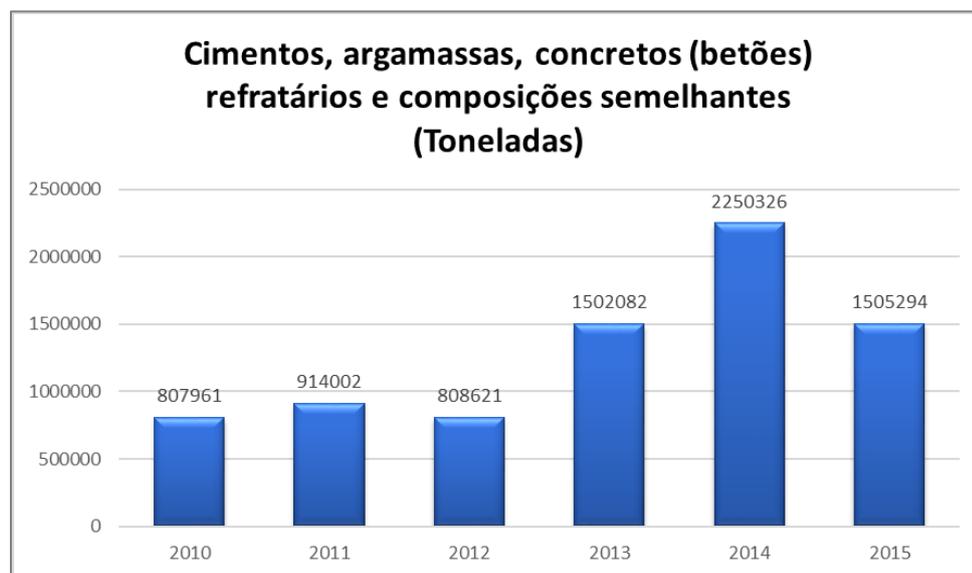
**Fonte: Cerâmica Industrial: Panorama da Indústria Cerâmica Brasileira na Última Década (2013)**

Em relação à produção, foi observado um crescimento de 2,3% ao ano na produção de refratários em determinado período, indo de 438 mil toneladas em 2001 para 537 mil toneladas em 2010 (do Prado & Bressiani, 2013). A produtividade do setor fica entre 150 e 250 toneladas/homem/ano, e esse comportamento da produção contraria a tendência histórica de queda do consumo específico de refratários por conta das novas tecnologias de produtos, equipamentos e processos desenvolvidas com o tempo (do Prado & Bressiani, 2013). Isso se dá por conta do crescimento da indústria de base brasileira, especialmente dos setores que mais consomem refratários, que são a indústria siderúrgica e de cimento, assim como a tradição exportadora do setor (do Prado & Bressiani, 2013).



**Gráfico 6** – Produção nacional de tijolos, placas, ladrilhos e outras peças cerâmicas refratárias para construção, de 2010 até 2015.

**Fonte: IBGE (2017)**



**Gráfico 7** – Produção de cimentos, argamassas, concretos (betões) refratários e composições semelhantes, de 2010 até 2015.

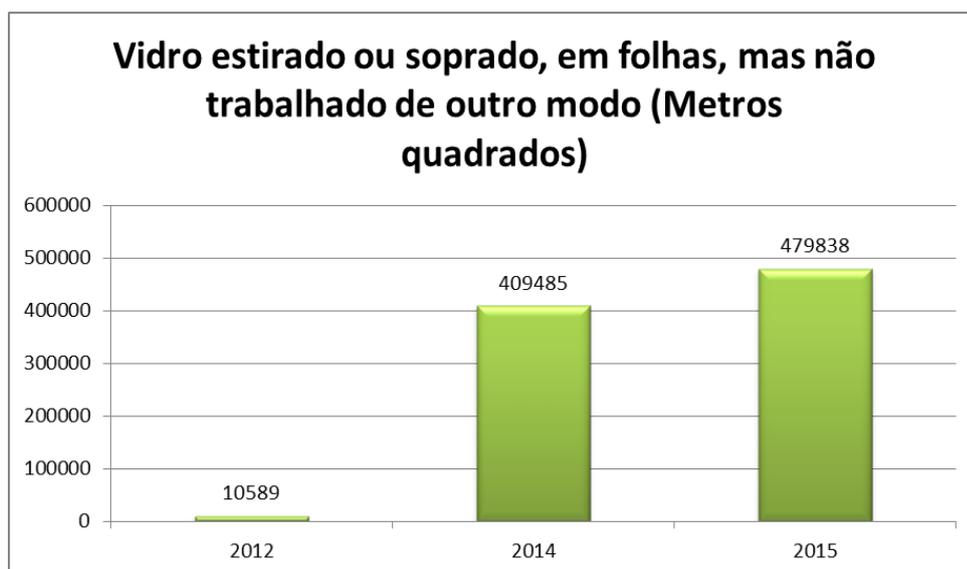
**Fonte: IBGE (2017)**

## Subsegmento de vidro

O subsegmento de vidro, por conta de suas particularidades relacionadas às matérias-primas, características de processo, porte e relevância econômica, acaba não sendo considerado como um dos subsegmentos do setor cerâmico, porém ele é um importante subsegmento do setor (CETESB, 2006).

A indústria de vidro é dividida em segmentos de acordo com os tipos de produtos produzidos, e da produção total temos que os vidros planos correspondem a 51%, as embalagens correspondem a 36%, os vidros especiais correspondem a 5,5% e os vidros domésticos correspondem a 8% (Banco do Nordeste, 2016).

De acordo com a Pesquisa Industrial Anual sobre produtos do IBGE, é apresentada no Gráfico 8 até Gráfico 14 a evolução na produção dentro do segmento de vidro em grupos de produtos de 2010 até 2015:



**Gráfico 8** – Produção nacional de vidro estirado ou soprado, em folhas, de 2012 até 2015.

**Fonte: IBGE (2017)**



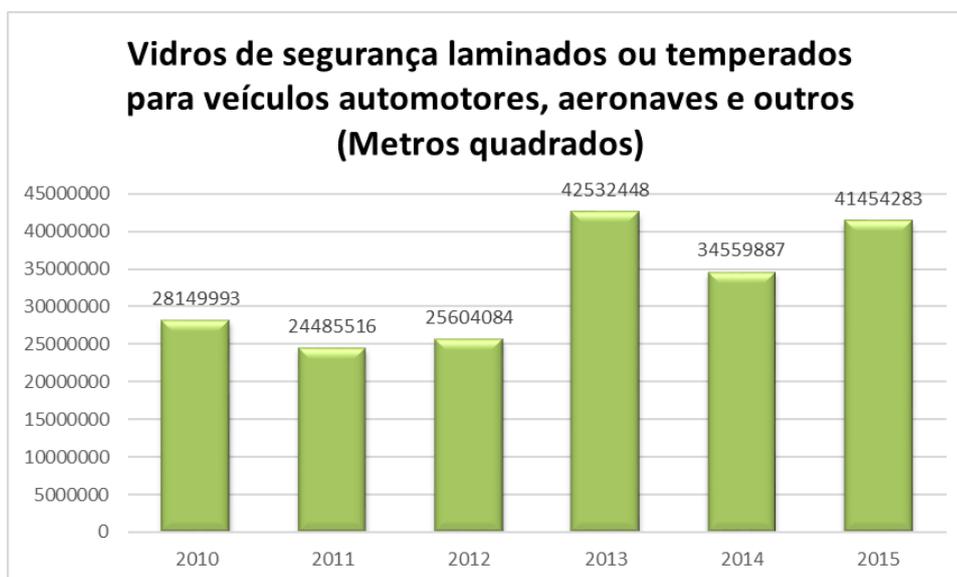
**Gráfico 9** – Produção nacional de vidro flotado e vidro desbastado ou polido, em chapas ou folhas, de 2010 até 2015.

Fonte: IBGE (2017)



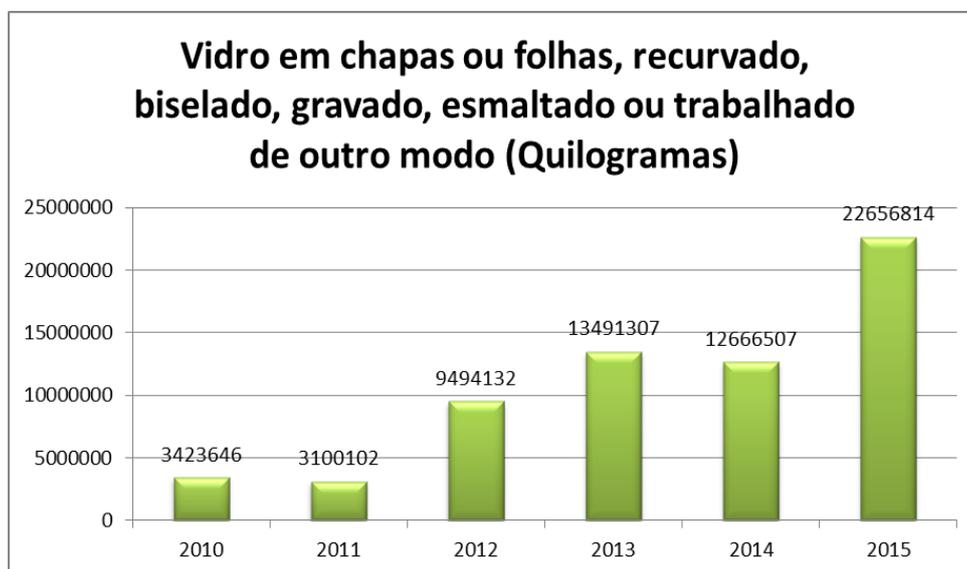
**Gráfico 10** – Produção nacional de vidro de segurança laminados ou temperado, exceto para veículos, de 2010 até 2015.

Fonte: IBGE (2017)



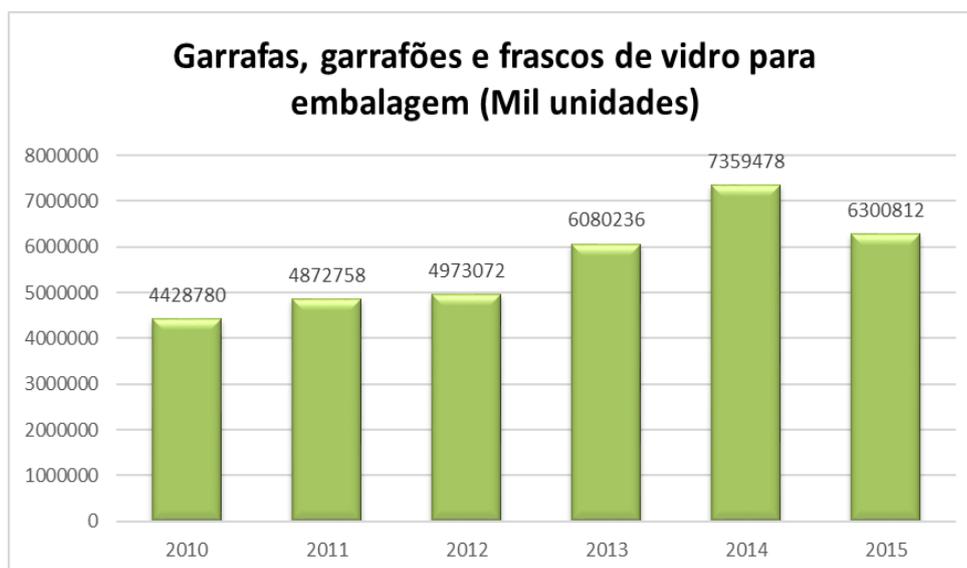
**Gráfico 11** – Produção nacional de vidros de segurança para veículos automotores, aeronaves e outros, de 2010 até 2015.

**Fonte: IBGE (2017)**



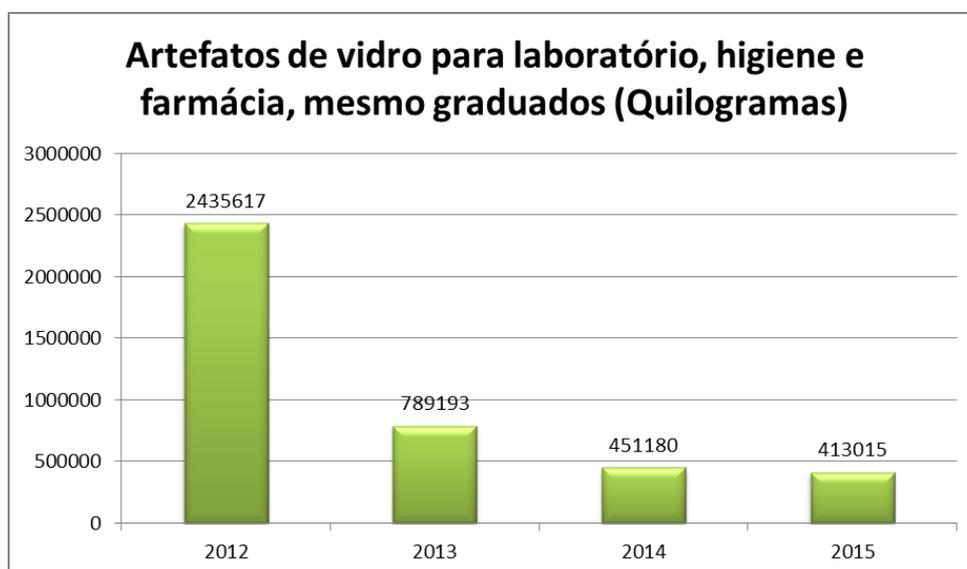
**Gráfico 12** – Produção nacional de vidro em chapas ou folhas, recurvado, biselado, gravado, esmaltado ou trabalhado de outro modo, de 2010 até 2015.

**Fonte: IBGE (2017)**



**Gráfico 13** – Produção nacional de garrafas, garrafões e frascos de vidro para embalagens, de 2010 até 2015.

**Fonte: IBGE (2017)**

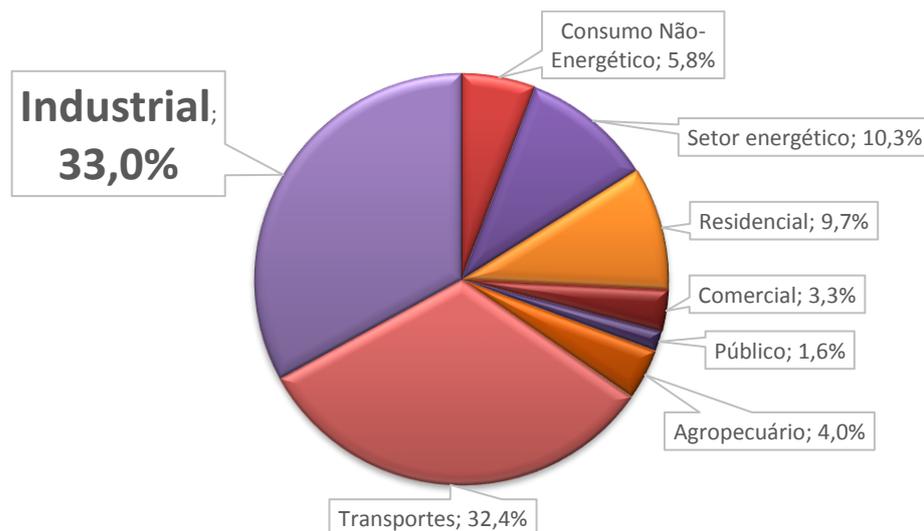


**Gráfico 14** – Produção nacional de artefatos de vidro para laboratórios, higiene e farmácia, de 2012 até 2015.

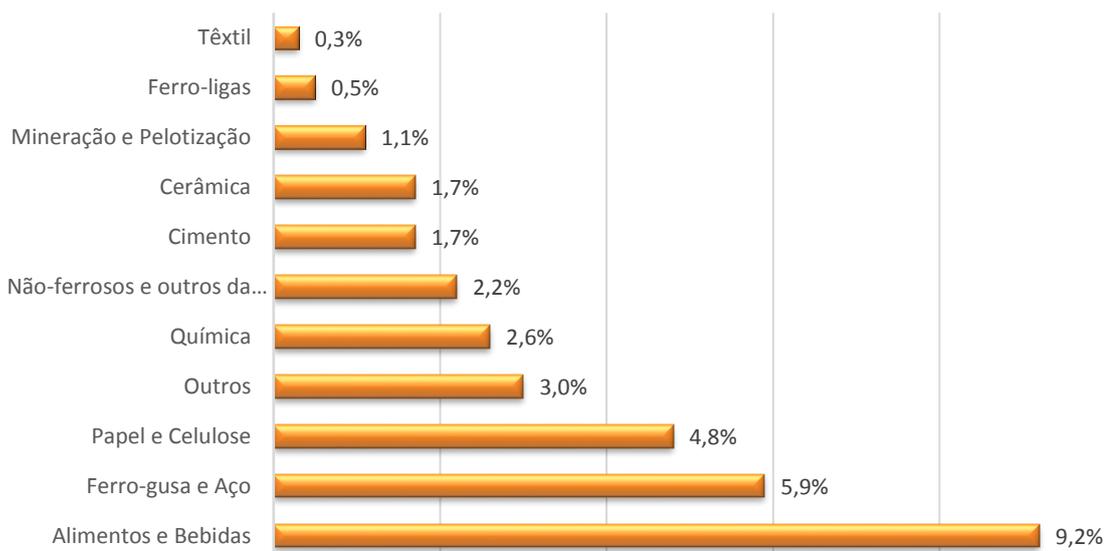
**Fonte: IBGE (2017)**

## b. Informação do consumo de energia no segmento de cerâmica e sua participação na demanda industrial.

Em 2016, o setor industrial foi responsável por 33% do consumo energético total do país, onde 1,7% desse consumo foi referente à indústria de cerâmica (EPE - Empresa de Pesquisa Energética, 2017). Sabe-se ainda que no Balanço Energético Nacional o consumo do subsegmento de vidro não está incluído nos gastos do setor cerâmico.

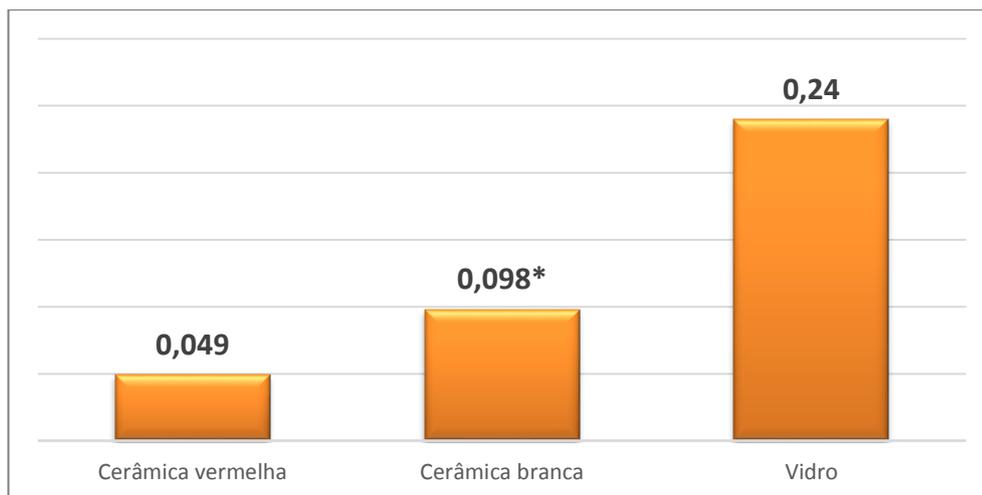


**Gráfico 15 – Consumo energético final por setor.**  
**Fonte: elaboração própria com dados do BEN 2017.**



**Gráfico 16 – Consumo energético dos subsegmentos do setor industrial.**  
**Fonte: Elaboração própria com dados do BEN 2017.**

Dentro do subsegmento de cerâmica temos que o consumo energético, por tonelada produzida, é maior na produção de vidro comparado ao consumo na produção de cerâmica vermelha e branca. Assim como, o consumo da produção de cerâmica branca é maior do que o consumo da produção de cerâmica vermelha. Porém, o gasto energético total anual tem a ordem inversa, pois o volume produzido por ano de cerâmica vermelha é bem maior do que o volume produzido de cerâmica branca e de vidro. Assim como o volume produzido de cerâmica branca é maior do que o de vidro.



\*Dado calculado a partir dos consumos específicos de revestimento (MME - Ministério de Minas e Energia, 2017), de louça sanitária (MME - Ministério de Minas e Energia, 2017) e refratários (J Mendo Consultoria, 2009).

**Gráfico 17** – Consumos específicos dos subsegmentos de cerâmica, em tep/t.

**Fonte: Elaboração própria com dados do anuário estatístico do MME e do Relatório Técnico de Refratários do J Mendo Consultoria.**

Dentro do setor cerâmico, temos que a fonte energética mais utilizada nos processos dentro do segmento é a lenha, com 52% de participação no consumo energético, seguida do gás natural com 28% de participação e eletricidade com 7% de participação (MME - Ministério de Minas e Energia, 2017).

No consumo energético da cerâmica vermelha, temos que a lenha ainda predomina como fonte energética com uma participação de 48% do consumo energético no processo de fabricação, enquanto outros resíduos da madeira apresentam 39% de participação, outros combustíveis com 4% e eletricidade 3% (MME - Ministério de Minas e Energia, 2017).

Para cerâmica de revestimento, o gás natural predomina como fonte de energia para o processo de fabricação com 86% de participação, enquanto outros combustíveis apresentam 4% e eletricidade 10% (MME - Ministério de Minas e Energia, 2017).

Já para vidro, também existe uma predominância do gás natural como fonte de energia, com 76% de participação no consumo energético do processo, enquanto outros combustíveis apresentam 4% e eletricidade 20% (MME - Ministério de Minas e Energia, 2017).

### **c. Indicadores que foram quantificados a partir da análise da realidade brasileira atual.**

Os indicadores energéticos são uma ferramenta importante para analisar interações entre a atividade econômica e humana, o consumo de energia e as emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Estes indicadores mostram para quem faz as políticas aonde pode se poupar energia. Além de providenciar informação sobre as tendências do consumo histórico de energia, os indicadores de eficiência podem ser utilizados na modelagem e previsão da futura demanda de energia.

Os indicadores que serão quantificados neste estudo são:

#### **Consumo Específico**

Para cada equipamento, planta ou instalação caracterizada por um parâmetro de atividade único, pode-se calcular o consumo específico de energia como o quociente entre o consumo real de energia da instalação e cada unidade de cada atividade. Mede-se em (unidades de energia) / (unidades de produção), por exemplo [GJ/tonelada] ou [kWh/tonelada].

O consumo específico é característico da tecnologia de produção. Pode sofrer mudanças no caso que as instalações perdessem ou ganhassem eficiência por modificação nas condições de operação ou manutenção, assim como em caso de mudança das tecnologias de processo por outras de maior eficiência.

#### **Rendimento Energético**

O rendimento energético de uma máquina é a relação entre a quantidade de energia útil e a energia fornecida. Assim, da energia fornecida a uma máquina, uma parte é transformada em energia útil, ou seja, em energia que é na verdade aproveitada pela máquina, e outra parte é dissipada, geralmente sob a forma de calor. Se uma máquina apresenta um elevado rendimento, isso significa que tem poucas perdas de energia, enquanto uma máquina com um baixo rendimento desperdiça grande parte da energia.

O conceito de rendimento energético adotado neste estudo se refere apenas à primeira transformação de energia do processo produtivo. Esta simplificação, por um lado, facilita a determinação dos rendimentos energéticos de equipamentos em uso e introduz algumas distorções quanto ao significado das perdas energéticas estimadas pelo estudo (BEU, 2005).

Usando esse conceito, o estudo não vai estimar todas as perdas do processo produtivo. As perdas reais serão sempre maiores do que as estimadas, portanto, as possibilidades reais de economia de energia serão maiores que as estimadas através do estudo (BEU, 2005).

Outra questão que se levanta é a de que o rendimento estimado deve retratar a média dos rendimentos de transformação de uma forma de energia final para um dado uso final dentro de um setor de atividade.



## Coeficiente de destinação

Os coeficientes de destinação fazem referência às porcentagens de energia que são destinadas a cada uso final de energia:

- Força motriz: Energia usada em motores estacionários ou de veículos de transporte, individual ou coletivo, de carga, tratores, etc.
- Calor de Processo: Energia usada em caldeiras e aquecedores de água e fluidos térmicos.
- Aquecimento Direto: Energia usada em fornos, fornalhas, radiação, aquecimento por indução, condução e micro-ondas.
- Refrigeração: Energia usada em geladeiras, freezers, equipamentos de refrigeração e ar condicionado, tanto de ciclo de compressão como de absorção.
- Iluminação: energia usada em iluminação de interiores e externa.
- Eletroquímica: Energia usada em células eletrolíticas, processos de galvanoplastia, eletroforese e eletrodeposição.
- Outros usos: Energia usada em computadores, telecomunicações, máquinas de escritório, xerografia e equipamentos eletrônicos de controle.

Os coeficientes são coletados por meio de entrevistas a empresas, pesquisas junto a fornecedores de equipamentos, programas de governo e outras bases de dados. O Coeficiente de Destinação de uma determinada forma de energia final é impactado por mudanças estruturais nos padrões de consumo da sociedade. O Coeficiente de Eficiência Energética de um determinado equipamento expressa seu rendimento na transformação da energia final em algum uso final, e é impactado por alterações tecnológicas e culturais.

### 3. DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS PRODUTIVOS PRINCIPAIS DO SEGMENTO INDUSTRIAL

#### a. Processos de Produção Principais do Segmento Cerâmica Vermelha

A produção de cerâmica vermelha é feita a partir de matérias-primas compostas por diferentes tipos de argila como a argila plástica, a argila vermelha e argilas ocre (CNI – Confederação Nacional da Indústria, 2010), aditivos e água.

A primeira etapa de produção da cerâmica vermelha é a extração da argila, principal matéria-prima do processo. Esse processo é feito a céu aberto de forma manual ou automatizada, em períodos que preferencialmente se tenha pouca chuva. Dessa argila extraída é coletada uma amostra para teste de resíduos, com isso pode-se conhecer as características da matéria-prima podendo identificar com mais facilidade qualquer problema que possa ocorrer com a qualidade dos produtos produzidos. Essa argila passa por um período de descanso, sendo armazenada em pequenos lotes, para acelerar o processo de decomposição da matéria orgânica e sais solúveis (FIEMG/FEAM, 2013).



**Figura 4** – Etapa de extração da argila.  
**Fonte: Site da Cerâmica 6 (Cerâmica 6, s.d.).**

Após o descanso da matéria-prima, começa a etapa de preparação da massa cerâmica, onde se misturam os diversos tipos de argila, água e resíduos em dosagens apropriadas de acordo com as características do produto que se quer. Para que se tenha uma massa de boa qualidade, resultando em produtos de boa qualidade, precisa-se garantir uma boa homogeneização, para isso a massa é levada ao desintegrador para fazer a redução apropriada dos grãos e homogeneização. A massa passa, então, por um moedor/misturador onde a umidade adicionada na massa precisa garantir que a mesma tenha a plasticidade ideal para o processo de conformação (CNI – Confederação Nacional da Indústria, 2010).



**Figura 5** – Etapa de mistura da massa cerâmica.

**Fonte: Guia Técnico ambiental da Indústria de Cerâmica Vermelha (FIEMG/FEAM, 2013)**

Antes da extrusão a massa passa por um processo de laminação que ajuda a minimizar possíveis defeitos nas peças produzidas. O objetivo dessa etapa é conseguir uma massa argilosa mais densa, eliminando bolhas de ar e aglomerados (Marrocos de Oliveira, 2011).

Após a laminação, a massa é encaminhada para extrusora, conhecida como maromba, que é responsável por dar forma à massa. Nessa etapa a peça é forçada, por meio de um pistão ou eixo helicoidal, a passar por um molde ou bocal com forma definida de acordo com a peça a ser produzida. Da extrusora podemos ter uma coluna extrusada para confecção de blocos ou tarugos para fabricação de telhas (FIEMG/FEAM, 2013).



**Figura 6** – Maromba na fabricação de blocos.

**Fonte: Site do WhatMat (WhatMat - Technical Ceramics, s.d.)**

A próxima etapa é o corte e acabamento das peças produzidas. Nessa etapa as peças, ainda úmidas, são cortadas nas dimensões adequadas de forma automatizada ou manual. Após o corte as peças são inspecionadas visualmente para se fazer o descarte das peças defeituosas, que são reintroduzidas no começo do processo.

No caso da produção de telhas temos a etapa de prensagem, onde a massa é colocada em um molde específico para o modelo da telha e prensada a uma forte pressão.

A próxima etapa é de secagem, que pode ser feito de duas formas: secagem natural ou secagem artificial. Essa é uma etapa delicada do processo, pois durante a secagem as peças podem apresentar defeitos, caso o processo seja feito de forma deficiente. A secagem deve ocorrer sob condições controladas, pois nessa etapa a saída de água deve ser feita gradualmente e de forma homogênea para que a peça não seja trincada, deformada ou quebrada.

A secagem natural aproveita as condições climáticas da região, pois as peças ficam expostas ao ar livre ou em galpões. Já a secagem artificial precisa de um controle das condições de processo, como taxa de aquecimento, ventilação e umidade relativa do ar (Marrocos de Oliveira, 2011). Na Tabela 3 é apresentado os tipos de secagem artificial.

<b>SECADOR INTERMITENTE</b>	<b>SECADOR SEMICONTÍNUO</b>	<b>SECADOR CONTÍNUO</b>
Muito utilizado para secagem de produtos sensíveis, como telha e blocos de grande massa (maciço).	O material entra no secador durante o processo de produção, empurrando a vagoneta de material seco.	Formado por uma galeria, na qual as vagonetas, contendo os produtos, deslocam-se lentamente. No sentido oposto, move-se a massa de ar quente, a qual absorve a umidade evaporada na secagem e transporta-a pela ação de ventiladores, até próximo à extremidade de entrada dos vagões
O calor pode ser originado do resfriamento dos fornos, trazendo economia de energia.	Geralmente, são dotados de ventiladores altos viajantes com indução de ar quente através de aberturas no piso.	Evita-se manipular demais os produtos
A manipulação dos produtos pode ocasionar perdas.	Este tipo de secador exige um pouco mais de conhecimento técnico, pois as alterações físicas do material ocorrem bruscamente.	Pode-se empregar o ar quente recuperado dos fornos ou vapor d'água e gás de combustão. Que dentro de tubos metálicos transmitem calor ao ar frio impelido por ventiladores.
A média de duração do processo de secagem neste tipo de secador fica em torno de 24 horas.	A média de duração do processo de secagem neste tipo de secador fica em torno de 12horas.	

**Tabela 3** – Tipos de secagem artificial e suas características.

**Fonte:** Guia Técnico Ambiental Da Indústria De Cerâmica Vermelha (FIEMG/FEAM, 2013).



**Figura 7 – Secagem artificial.**  
**Fonte: (Marrocos de Oliveira, 2011)**



**Figura 8 – Secagem natural.**  
**Fonte: (Marrocos de Oliveira, 2011)**

Após a secagem, as peças são encaminhadas para o forno, que é uma das principais etapas do processo, onde a queima faz com que as peças adquiram suas propriedades finais, como resistência mecânica, cor, dimensões, entre outros.

O processo de queima ocorre de acordo com a chamada curva de queima, onde é evidenciado um comportamento de aquecimento até o pico de temperatura de queima seguida de resfriamento. Em geral, a temperatura de queima para tijolos está entre 750 a 900°C e para telhas está entre 900 a 950°C (CNI – Confederação Nacional da Indústria, 2010). O forno a ser utilizado varia de acordo com o tipo de produto, processo, produção, entre outros. A seguir são apresentadas as características dos principais tipos de forno empregados na queima no setor de cerâmica vermelha.

- a) Forno de chama direta: caipira ou caieira – é um forno de baixo rendimento que utiliza lenha como fonte energética (CNI – Confederação Nacional da Indústria, 2010). É um forno de estrutura retangular, coberto de telhas durante o processo, onde 20% dos produtos saem com boa qualidade, 60% a 80% com qualidade intermediária e até 20% de perdas (Marrocos de Oliveira, 2011).



**Figura 9** – Forno caipira ou caieira.

**Fonte: (Marrocos de Oliveira, 2011)**

- b) Forno de chama reversível: tipo paulista – Possui estrutura retangular com queimadores laterais, mas é de difícil operação (Marrocos de Oliveira, 2011). Possui como principal fonte de energia a lenha, e pode usar eletricidade nos casos em que ventiladores insuflam ar para dentro do forno na etapa de resfriamento (CNI – Confederação Nacional da Indústria, 2010).



**Figura 10** – Forno paulista.

**Fonte: (Marrocos de Oliveira, 2011)**

- c) Forno de chama reversível: tipo abóbada – Forno econômico de fácil operação que usa como fonte energética a lenha, gás natural ou óleo combustível.



**Figura 11** – Forno tipo abóbada.

**Fonte: (Marrocos de Oliveira, 2011)**

- d) Forno tipo garrafão – Semelhante ou forno abóboda, diferenciando-se apenas pelo tipo de chaminé (CNI – Confederação Nacional da Indústria, 2010).



**Figura 12** – Forno tipo garrafão.  
**Fonte: (Portal Brasil, 2014)**

- e) Forno de chama reversível: tipo corujinha – Forno de estrutura retangular, com abastecimento pela frente e por trás, que pode apresentar geração de até 50% dos produtos de primeira qualidade, 70% a 85% de telhas de segunda qualidade e 5% até 15% de perdas (Marrocos de Oliveira, 2011).



**Figura 13** – Forno tipo corujinha.  
**Fonte: (Marrocos de Oliveira, 2011)**

- f) Forno contínuo: tipo Hoffmann – Forno com boa produtividade, baixo consumo de energia e manuseio simples. Sua tecnologia permite um melhor controle de queima, sendo constituído por câmaras, tendo aproveitamento de gases de escape. Neste tipo de forno temos o uso somente de óleo combustível e gás natural como fonte energética (CNI – Confederação Nacional da Indústria, 2010).



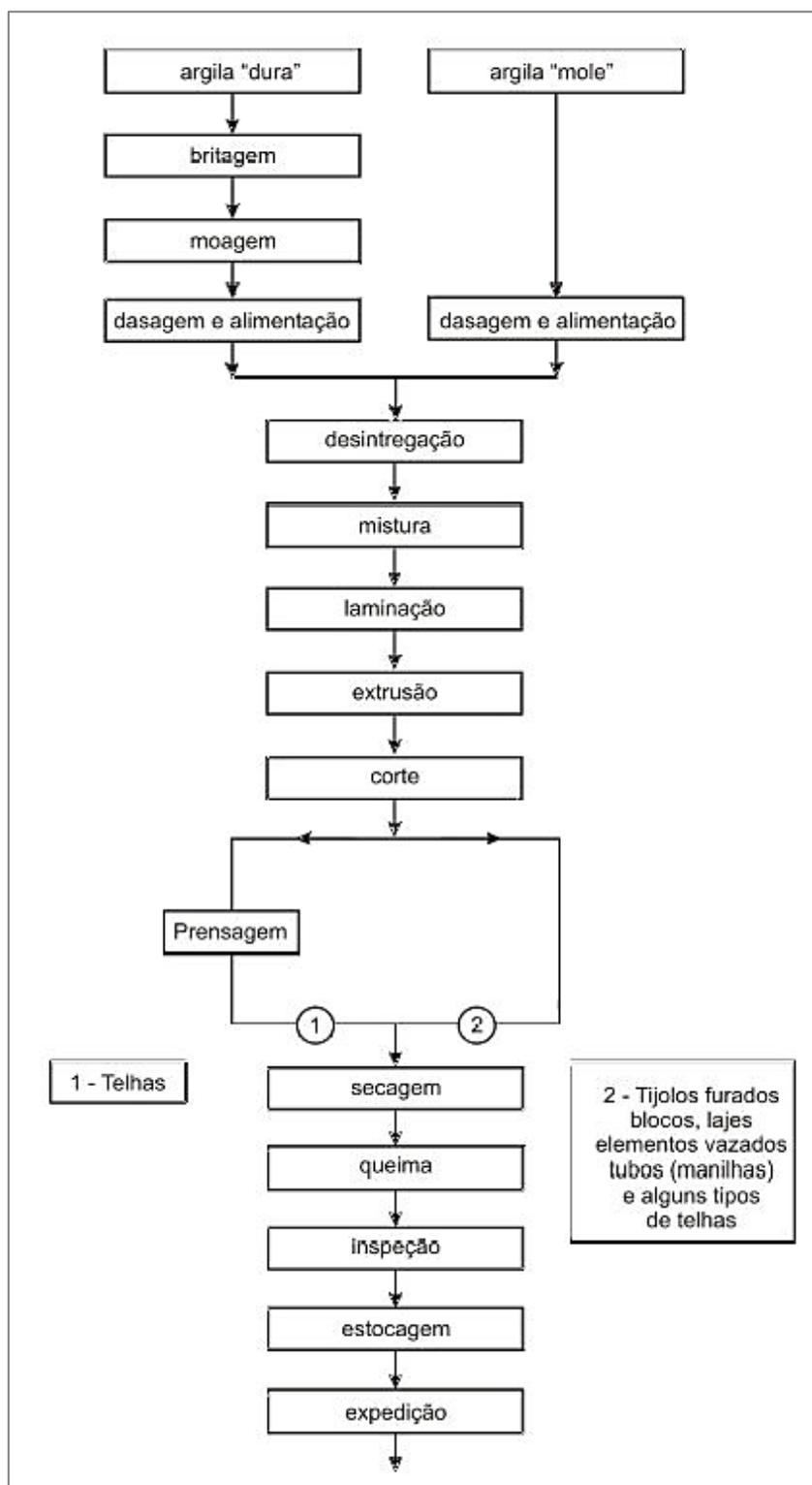
**Figura 14** – Forno Hoffmann.  
**Fonte:** (Marrocos de Oliveira, 2011)

- g) Forno contínuo: tipo túnel – É um forno com bom rendimento operacional e energético. Sua operação é feita pela movimentação das peças em vagonetas metálicas através do túnel, onde a queima é feita respeitando a curva de queima e o ar quente que sai da zona de resfriamento é recuperado ou para a zona de combustão ou para a etapa de secagem da linha de produção (Marrocos de Oliveira, 2011).



**Figura 15** – Forno tipo túnel.  
**Fonte:** (MS Souza - Marca da Força, s.d.)

Após a queima, as peças passam pela inspeção, onde são detectadas falhas, como por exemplo: as trincas e peças excessivamente queimadas. As peças que passarem pela inspeção são liberadas para serem embaladas, armazenadas e expedidas.



**Gráfico 18** – Fluxograma de produção de cerâmica vermelha.  
**Fonte:** (ABCERAM - Associação Brasileira de Cerâmica, 2017)

## b. Processos de Produção Principais do Segmento Cerâmica Branca

A massa que alimenta o processo de fabricação de peças de cerâmica branca é constituída pela mistura de uma ou mais matérias-primas, aditivos e água. Entre essas matérias-primas podemos ter agalmatolito, silicatos de alumínio (andalusita, cianita ou silimanita), argilas, bauxito, calcita, cromita, dolomita, feldspato, filitos cerâmicos, grafita, magnesita, pirofilita, quartzo, talco, wollastonita e zirconita (ABCERAM - Associação Brasileira de Cerâmica, s.d.). Essas matérias-primas naturais são obtidas por mineração, e é nessa etapa que temos a primeira redução de partículas e homogeneização de matérias-primas, com posterior beneficiamento e classificação por granulometria (CETESB, 2006).

As matérias-primas podem ainda serem estocadas em pátios a céu aberto ou armazéns para maturação, que dura aproximadamente seis meses, ocorrendo nesse tempo a decomposição da matéria orgânica, tornando as matérias-primas mais puras e homogêneas (CETESB, 2006).

Após essa etapa, temos a preparação da massa, onde as matérias-primas estocadas são transferidas para o processo por meio de guas, correias transportadoras, elevadores de cubeta, transportadores helicoidais, transportadores pneumáticos ou esteiras de acordo com as características de cada um (CETESB, 2006). As matérias-primas e aditivos devem seguir rigorosamente a dosagem necessária para cada tipo de peça a ser fabricada, devem ser também misturadas e homogeneizadas. A umidade da massa também deve ser controlada para garantir a homogeneidade da massa e a correta aplicação (CETESB, 2006).

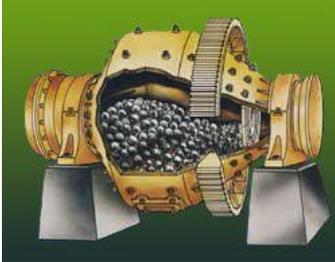
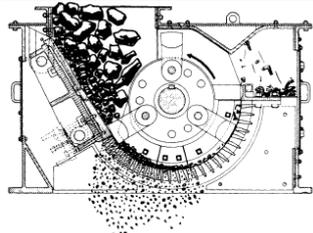
A Tabela 4 mostra os diferentes tipos de massas que podem ser produzidos.

<b>TIPO DE MASSA</b>	<b>APLICAÇÃO</b>
Suspensão (barbotina)	Solução de argila para obtenção de peças em moldes de gesso ou resinas porosas.
Massa seca ou Semi-seca (sólida ou granulada)	Obtenção de peças por prensagem.
Massa plástica (sólido maleável)	Obtenção de peças por extrusão, seguida ou não de prensagem.

**Tabela 4** – Tipos de massa para produção de peças cerâmicas.

**Fonte: Dados do Relatório de Oportunidades de Eficiência Energética para a Indústria** (CNI – Confederação Nacional da Indústria, 2010).

Para muitas aplicações deve-se conseguir uma maior redução de granulometria. É necessário ainda encaminhar a massa cerâmica para moinhos por meio de esteiras. A moagem é feita juntamente com água, gerando a barbotina. No caso da produção de revestimentos, a moagem pode ser por via úmida ou via seca, sendo que por via úmida a massa passará posteriormente por um atomizador e por via seca a massa será umidificada em um granulador. A Tabela 5 apresenta os diferentes tipos de moinhos que são utilizados.

TIPO DE MOINHO		CARACTERÍSTICAS
Moinho de bolas	 Fonte: (B2B Máquinas, s.d.)	<p>A massa cerâmica é introduzida em cilindros de aproximadamente 2,0 m de diâmetro e 2,5 m de comprimento, que giram na posição horizontal, apoiados em dois eixos nas extremidades. Na parte interna, se encontram esferas (em geral, de alumina de alta densidade), responsáveis pela moagem do material;</p>
Moinho de rolos	 Fonte: (Máquina Industrial, s.d.)	<p>São empregados extensamente na indústria pesada da argila para desintegrar, aplainar e homogeneizar as partículas de argila. O equipamento consiste em rolos que giram verticalmente posicionados, operando dentro de um anel exterior ao equipamento. A pressão é desenvolvida entre o rolo e o anel por ação centrífuga. A massa cerâmica pode ser introduzida no moinho com ou sem água, até atingir a granulometria necessária;</p>
Moinho de martelos	 Fonte: (UFRGS, s.d.)	<p>O equipamento consegue redução de tamanho das partículas por força de impacto. As matérias-primas no moinho são quebradas quando golpeadas por martelos, que giram rapidamente em seu interior;</p>
Moinho corredor de borda	 Fonte: (Global Sources, s.d.)	<p>São apropriados para reduzir o tamanho das partículas de matérias-primas plásticas. As bandejas com base perfurada asseguram a definição dos tamanhos das partículas, enquanto que as bandejas molhadas têm a função de permitir o controle de água no material.</p>

**Tabela 5** – Tipos de moinhos.

**Fonte: Dados do Guia Ambiental da Indústria de Cerâmica Branca e de Revestimentos (CETESB, 2006).**

A próxima etapa é a conformação das peças, onde são empregados diversos processos para dar forma as peças que vão depender de qual o tipo do material requerido.

- a) Colagem/Fundição em Molde: Essa técnica é feita utilizando-se moldes que podem ser de gesso ou plástico, que se diferenciam basicamente pela vida útil. Esse processo é usado para a fabricação de produtos feitos à base de barbotina, como louças sanitárias, por exemplo (CETESB, 2006). Nessa técnica a barbotina é despejada no molde, de gesso ou

plástico, e permanece no molde por algum tempo até que as partículas se acomodem na superfície do mesmo.



**Figura 16** – Peças de louça saindo dos moldes.  
**Fonte: (Tamaki, 2011)**

- b) Prensagem: Técnica usada principalmente na produção de revestimentos cerâmicos, onde a massa com baixo teor de umidade é moldada por meio de uma prensa. Para cada tipo de peça e massa é utilizada uma pressão respectiva. Especificamente para processos por via úmida, a massa passa pelo atomizador antes da prensagem. No atomizador a massa é borrifada dentro do cilindro e misturada com ar quente de forma que saia uma massa granulada semi-seca que é encaminhada para a prensagem (CETESB, 2006).

A Tabela 6 apresenta os principais tipos de prensas utilizadas.

TIPO DE PRENSA		CARACTERÍSTICAS
Prensa mecânica	 Fonte: (Mecânica Industrial, s.d.)	Bastante empregada na manufatura de produtos cerâmicos, são carregadas com um volume pré-ajustado de massa cerâmica, na qual é aplicada uma pressão (geralmente de cima para baixo) por pistões, dirigidos pela ação de um dispositivo mecânico e ajudados por volantes;
Prensa hidráulica	 Fonte: (Royal - Máquinas e Ferramentas, s.d.)	Mais modernas, as prensas hidráulicas podem fornecer elevada produtividade, consistência e fácil ajuste. Muitas são providas de unidades de controle eletrônico, que aferem a altura das unidades e ajustam automaticamente o ciclo para assegurar a uniformidade do tamanho, permitindo ajustes para uma variedade de exigências, inclusive para dar formas a peças refratárias complexas;

TIPO DE PRENSA		CARACTERÍSTICAS
Prensa isostática	 <p>Fonte: (EPSI, s.d.)</p>	<p>Promove uma prensagem uniforme em toda a superfície, exigida em alguns produtos de alta qualidade com densidade uniforme. Na prensa isostática, moldes de borracha são enchidos com a massa cerâmica que, em seguida, é submetida a uma pressão isostática elevada, moldando o objeto. O princípio da prensagem isostática também é aplicado para obtenção de materiais de revestimento (placas cerâmicas), onde a parte superior da prensa é revestida por uma membrana polimérica e uma camada interposta de óleo, que distribui a pressão de modo uniforme sobre toda a superfície a ser prensada.</p>

**Tabela 6** – Principais tipos de prensas.

**Fonte: Dados do Guia Ambiental da Indústria de Cerâmica Branca e de Revestimentos (CETESB, 2006).**

- c) **Extrusão:** Nesse processo, a massa plástica é colocada em um equipamento conhecido como maromba, onde é compactada e forçada por um pistão ou eixo helicoidal por um bocal, saindo como resultado uma coluna extrudada de formato e dimensões desejadas. Após a extrusão a coluna deve passar por um processo de corte. Esse processo pode também ser o processo intermediário de moldagem, sendo seguido por prensagem ou torneamento (CETESB, 2006).



**Figura 17** – Material saindo da extrusora.

**Fonte: (CETESB, 2006)**

- d) **Torneamento:** Essa etapa é em geral a etapa posterior a um processo de extrusão, onde a coluna extrudada e cortada é torneada em tornos mecânicos ou manuais, adquirindo seu formato final.



**Figura 18** – Peça cerâmica sendo torneada.  
**Fonte: (CETESB, 2006)**

Após a etapa da moldagem das peças temos a etapa de secagem, pois as mesmas ainda possuem uma considerável quantidade de água proveniente da preparação da massa. O processo de secagem deve ser um processo gradual para evitar o surgimento de defeitos nas peças, como trincas, bolhas, entre outros, levando o material a um nível de umidade baixo, de aproximadamente 0,8% a 1,5% (CETESB, 2006).

A secagem é feita pelo calor de queimadores a gás natural e também por calor recuperado do processo de queima dos fornos. Esse processo pode ser realizado em dois tipos de secadores:

- a) Secador vertical: A secagem é feita por dois queimadores na parte superior do equipamento, onde a peça tem sua temperatura aumentada gradualmente e eliminando com isso o excesso de umidade, aumentando sua resistência mecânica (CETESB, 2006). Na saída do secador, a peça tem a mesma temperatura da entrada para evitar choque térmico (CETESB, 2006). Esse processo dura em torno de 35 a 50 minutos e as peças saem com uma umidade de aproximadamente 2% (CETESB, 2006). Esse tipo de secador ocupa menos espaço físico na fábrica e operam de forma mais flexível em relação às variações de umidade que as peças podem entrar no secador (CETESB, 2006).



**Figura 19** – Entrada do secador vertical.  
**Fonte: (CETESB, 2006)**

- b) Secador horizontal: Nesse secador as peças se movem horizontalmente por diversos planos no interior do equipamento. Os queimadores nesse equipamento são encontrados nas laterais e o ar quente entra em contracorrente com as peças (CETESB, 2006). O processo de secagem nesse caso dura um pouco menos que para o outro tipo de secador, aproximadamente 15 a 25 minutos, e a temperatura máxima que o processo alcança é maior comparado ao outro tipo, além de consumir menos energia (CETESB, 2006).



**Figura 20** – Peças na entrada do secador horizontal.  
**Fonte: (CETESB, 2006)**

A próxima etapa após a secagem é a esmaltação e decoração, onde as peças recebem uma camada fina de um material chamado de esmalte ou vidro e também podem passar por um processo de decoração onde uma imagem é impressa no material.



**Figura 21** – Louça sendo esmaltada por pulverização.  
**Fonte: (CETESB, 2006)**

Entre as técnicas utilizadas para se fazer a esmaltação podemos ter: imersão, pulverização, campânula, cortina, disco, gotejamento e aplicação em campo eletrostático (CNI – Confederação Nacional da Indústria, 2010). Entre as técnicas de decoração podemos citar: serigrafia, decalcomania, pincel, jato de tinta, entre outros (CNI – Confederação Nacional da Indústria, 2010).

Após as peças receberem a esmaltação e decoração, elas são encaminhadas para o processo de queima nos fornos, onde adquirem suas propriedades finais, como seu brilho, cor, porosidade, estabilidade dimensional, resistência à flexão, ao gretamento, a altas temperaturas, à água, ao ataque de agentes químicos, entre outros (CETESB, 2006).

O processo de queima ocorre em três fases, que podem variar em relação ao tempo em função do tipo do produto, e envolve uma série de mudanças em relação aos componentes da massa, como: perda de massa, formação de fase vítrea, entre outros (CETESB, 2006). As três fases envolvidas são: Aquecimento até a temperatura desejada; patamar em tempo determinado na temperatura desejada; resfriamento até temperaturas inferiores a 200°C (CETESB, 2006).

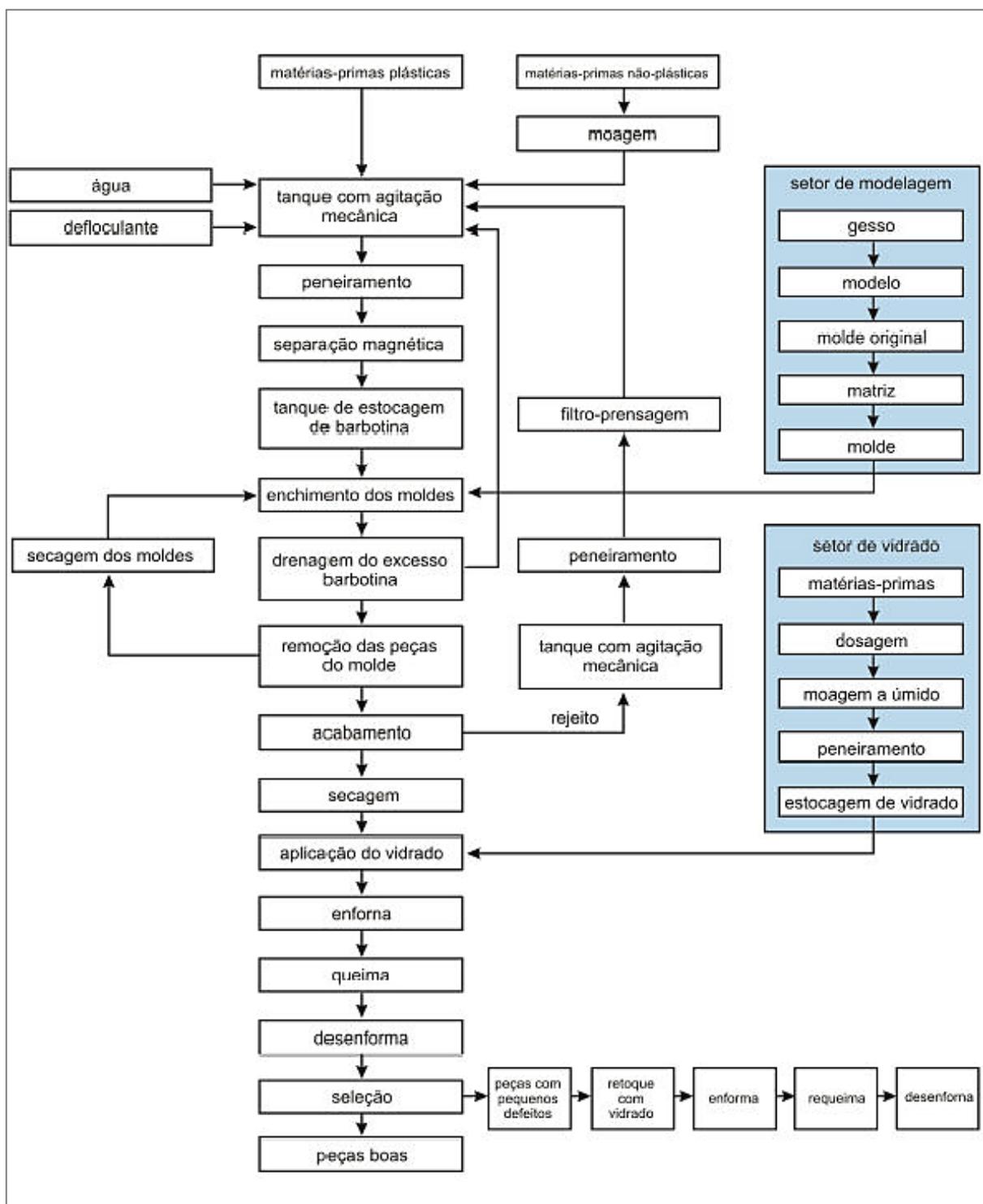
Os fornos mais utilizados nesse subsegmento são: forno tipo contínuo (câmaras Hoffmann), forno tipo túnel ou de rolamento, ou intermitentes (CNI – Confederação Nacional da Indústria, 2010).



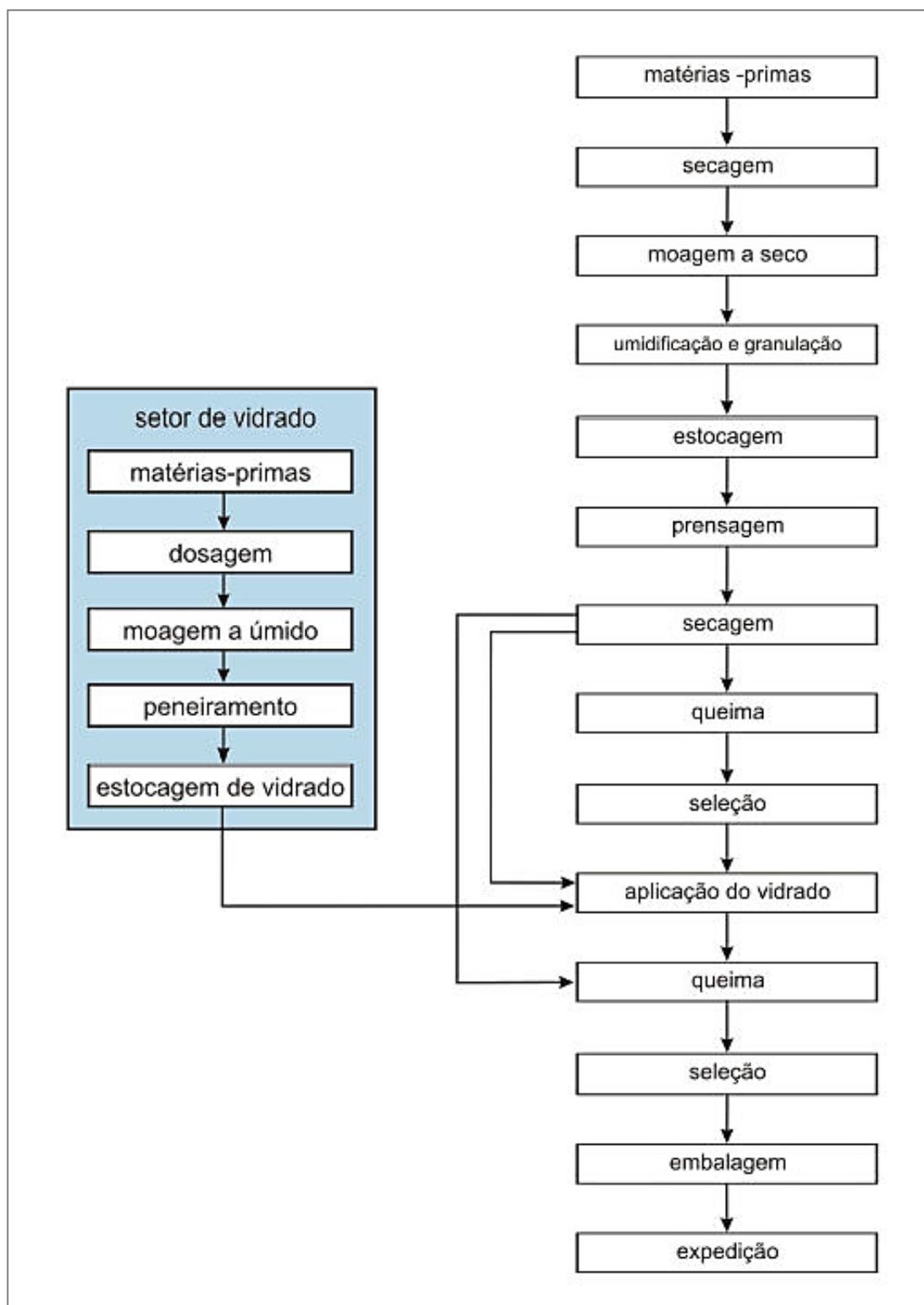
**Figura 22** – Forno contínuo.  
**Fonte:** (CETESB, 2006)

Após sair dos fornos, as peças passam pela etapa da inspeção e classificação para então serem embaladas. Na inspeção, as peças são analisadas visualmente ou por máquinas em relação às suas dimensões, envergadura, ou qualquer defeito que possa tirar elas do padrão desejado. Passando pela inspeção, as peças são classificadas quanto às suas características físicas e são embaladas para expedição.

Para algumas peças ainda existe a etapa do acabamento, antes da inspeção e classificação para embalagem, que pode incluir polimento, corte, furação ou outro acabamento que não é conseguido no processo padrão.

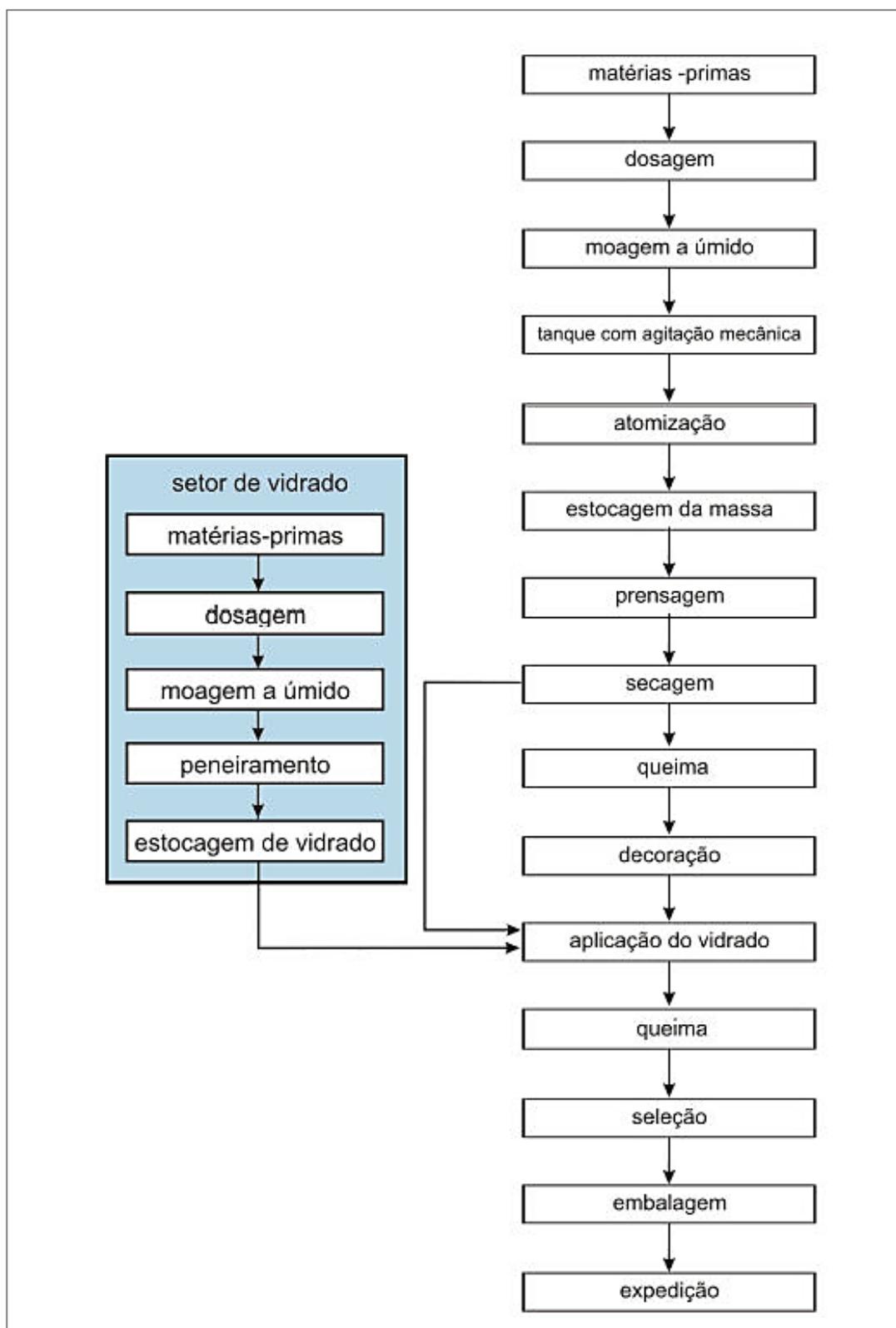


**Gráfico 19** – Fluxograma de produção de louça sanitária.  
**Fonte:** (ABCERAM - Associação Brasileira de Cerâmica, 2017)



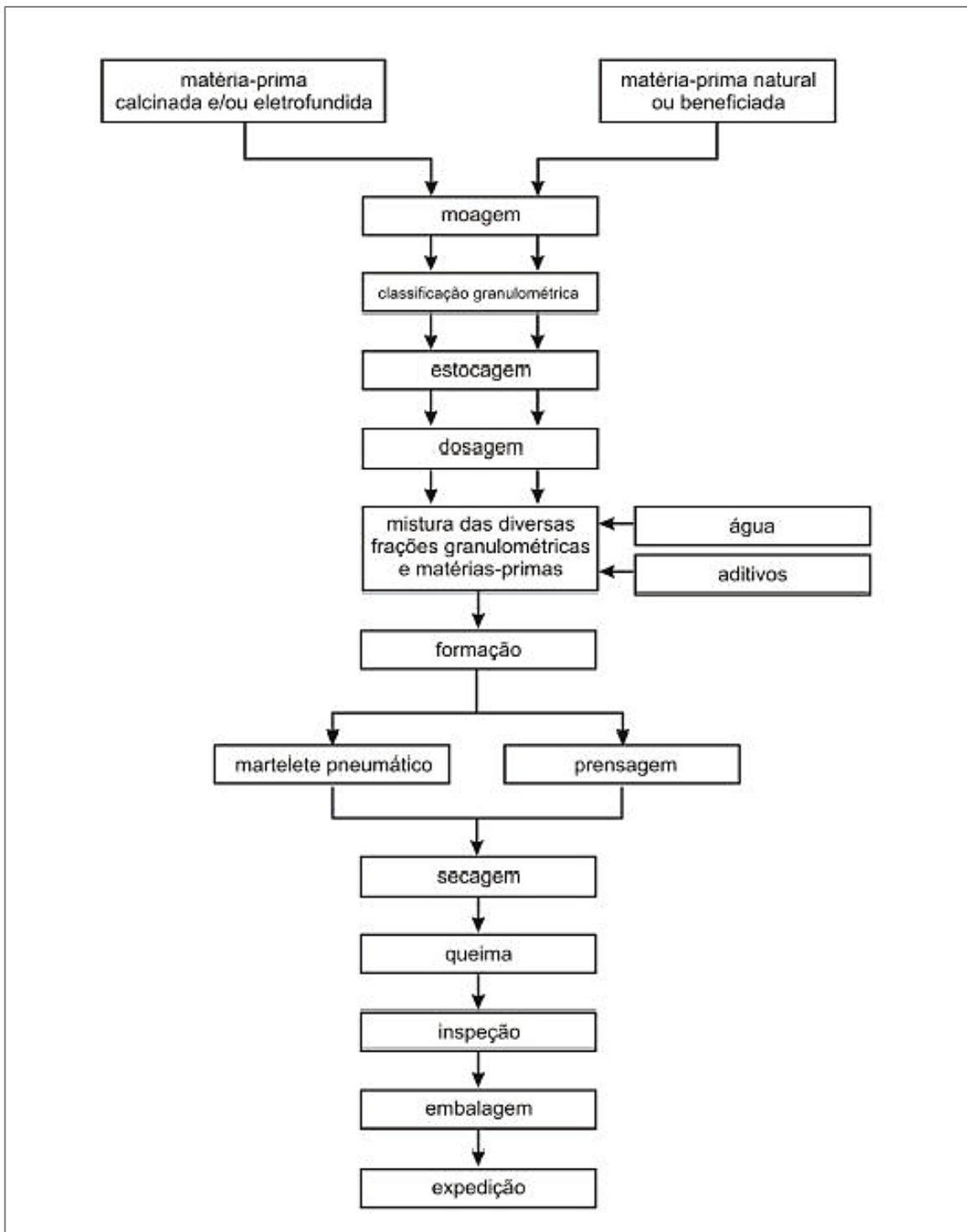
**Gráfico 20** – Fluxograma de produção de revestimento – via seca.

**Fonte:** (ABCERAM - Associação Brasileira de Cerâmica, 2017)



**Gráfico 21** – Fluxograma de produção de revestimento – via úmida.

**Fonte:** (ABCERAM - Associação Brasileira de Cerâmica, 2017)



**Gráfico 22** – Fluxograma de produção de refratários.  
**Fonte:** (ABCERAM - Associação Brasileira de Cerâmica, 2017)

### c. Processos de Produção Principais do Segmento Vidro

As principais matérias-primas envolvidas na fabricação do vidro são: sílica, barrilha, calcário, dolomita, feldspato e alguns aditivos, como por exemplo o sulfato de sódio, ferro, cobalto, cromo, selênio, magnésio, cálcio, entre outros (Banco do Nordeste, 2016).

Para algumas indústrias, a preparação das matérias-primas não ocorre na planta, pois a matéria-prima já chega na fábrica pronta para aplicação no processo, mas quando a mesma não é recebida, a fábrica possui instalações para moagem, peneiramento, secagem e análise do material preparado (CNI - Confederação Nacional da Indústria, 2010).

As matérias-primas preparadas são levadas via correias transportadoras para o centro do processo de produção do vidro, que é o forno onde será produzida a massa de vidro e onde é consumido grande parte do combustível. Na mistura vitrificável ainda são adicionados cacos de vidro para que a temperatura de fusão do forno seja diminuída (Pinheiro, 2007). Após fundida a uma temperatura de até aproximadamente 1600°C, a massa passa pelo processo de afinação, onde o vidro fundido se torna homogêneo e liberto de bolhas, e então para o acondicionamento térmico, onde o vidro pouco viscoso é resfriado para sua temperatura ideal de processo (Pinheiro, 2007).

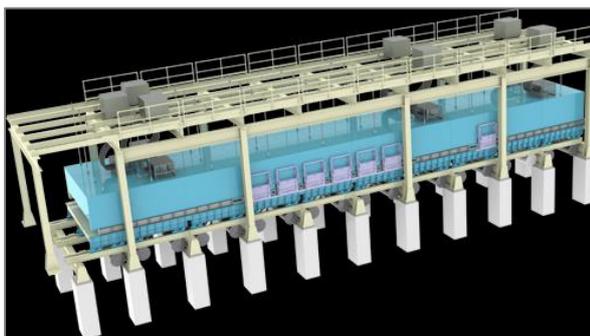
No processo de fusão do vidro, dois tipos de fornos são geralmente utilizados, o forno de operação contínua e os de operação em batelada. Os fornos contínuos são os de maior capacidade de produção e, com isso, os mais importantes, caracterizados por manterem sempre um volume de vidro fundido em seu tanque e sendo constantemente alimentados (Pinheiro, 2007). Já os fornos de operação em batelada são de baixa capacidade de produção, sendo utilizados em plantas pequenas (Pinheiro, 2007).



**Figura 23** – Forno contínuo da indústria vidreira.  
**Fonte: (Vidro Impresso, 2016)**

A próxima etapa do processo é a que mais possui diferença de processo entre os tipos de vidros produzidos, que é a etapa de conformação. Essa etapa consome mais energia elétrica do que térmica e possui etapas como sopragem, prensagem, estiramento e entre outras envolvidas (CNI - Confederação Nacional da Indústria, 2010).

Para o vidro plano, a técnica mais utilizada é a chamada “float bath” ou banho de estanho, onde a massa de vidro fundido sai do forno continuamente e é derramada de forma plana em um banho de flutuação em estanho fundido, que está a uma temperatura de aproximadamente 232°C (CNI - Confederação Nacional da Indústria, 2010). Por conta da diferença de densidade entre os fluidos, o vidro flutua sobre o banho de estanho, ocorrendo um paralelismo entre as duas superfícies (Pinheiro, 2007).



**Figura 24** – “Float bath”.

**Fonte: (Stewart Engineers, s.d.)**

Um outro processo também utilizado para produção de vidro plano é o de laminação por rolos, onde, segundo o Relatório Setorial do Setor Vidreiro da CNI, a massa de vidro fundido passa por um vertedouro, formando lâminas de largura e espessura pré-determinadas que depois passam por dois rolos laminadores, que podem ser lisos ou com gravações (CNI - Confederação Nacional da Indústria, 2010).

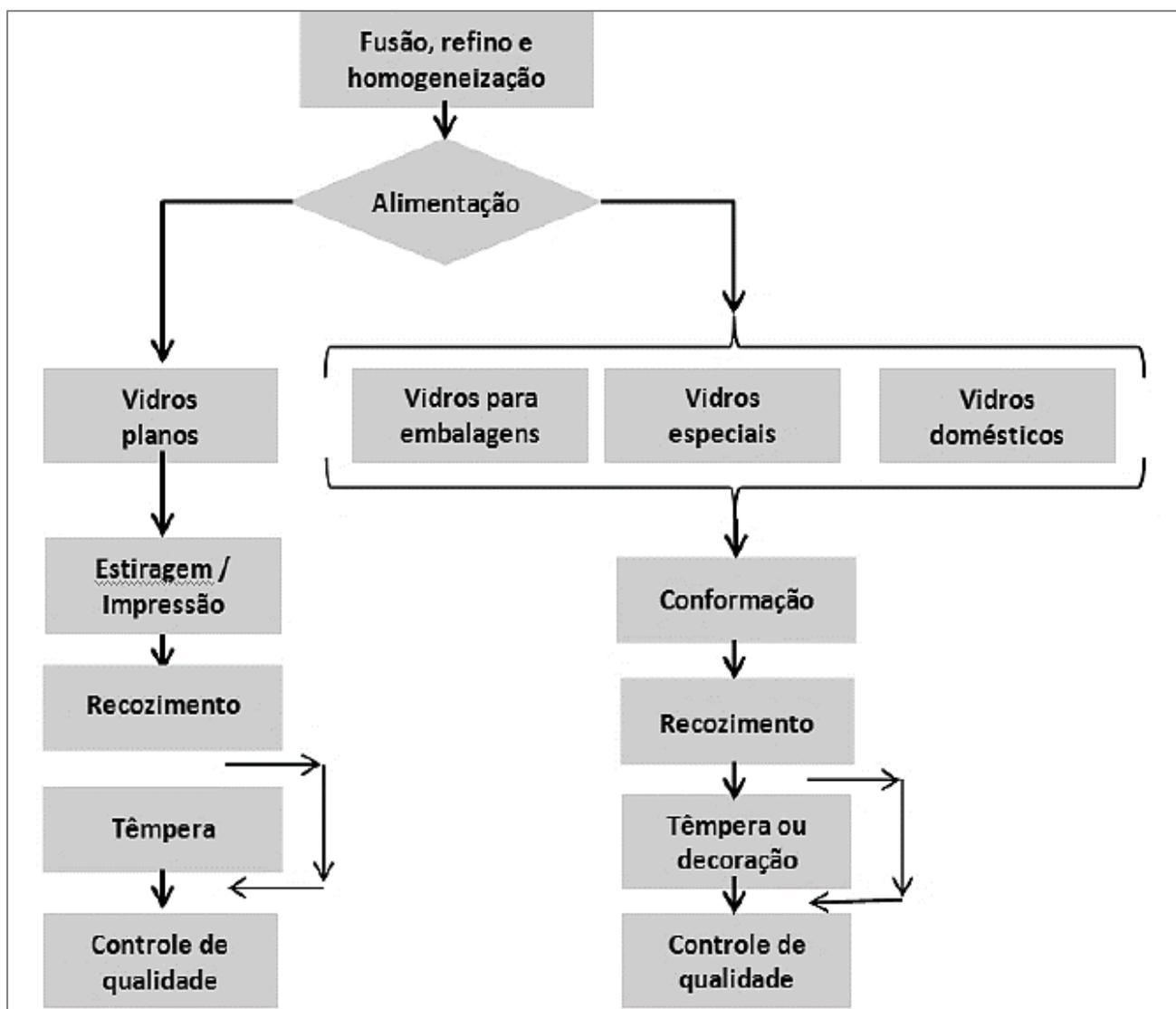
Já para fabricação de vidros de embalagem e vidros domésticos são utilizados dois tipos de processos: o “soprado-soprado” e o “prensado-soprado” (CNI - Confederação Nacional da Indústria, 2010).

O processo “soprado-soprado” utiliza ar comprimido na formação da embalagem, tanto no molde quanto na forma, e é mais utilizado nos processos de fabricação de garrafas de boca estreita (CNI - Confederação Nacional da Indústria, 2010).

O processo “prensado-soprado” utiliza uma punção para fazer a compressão do vidro no molde, e é normalmente utilizado na fabricação de embalagens de boca larga (CNI - Confederação Nacional da Indústria, 2010).

Após a etapa de conformação, as peças são levadas a etapa de recozimento, onde elas terão sua temperatura reduzida gradualmente para que sejam eliminadas as tensões internas advindas do processo de conformação que poderiam provocar quebras nas próximas etapas do processo.

As próximas etapas do processo são as chamadas operações secundárias, que envolvem têmpera, curvamento, decoração, espelhamento, lapidação e gravação (CNI - Confederação Nacional da Indústria, 2010).



**Gráfico 23** – Fluxograma de produção de vidro.  
**Fonte:** Caderno Setorial ETENE - (Banco do Nordeste, 2016)

## 4. DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA ADOTADA NO ESTUDO

### a. Seleção da amostra da pesquisa

Em primeiro lugar, para proceder à seleção das amostras significativas para a pesquisa, se estabeleceram subsegmentos dentro do segmento industrial da cadeia de cerâmica resultando na seguinte subdivisão, cujos processos de produção principais já foram descritos anteriormente:

- Produção de Cerâmica Vermelha;
- Produção de Cerâmica Branca;
- Produção de Vidro;

Com isso, se estabeleceu um universo de empresas que estão produzindo atualmente e possuem preferencialmente certificação de qualidade e/ou regularidade e licenciamento ambiental, tomando como base principal as informações disponíveis nas principais associações, ANICER (Associação Nacional da Indústria Cerâmica), ANFACER (Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimento, Louças Sanitárias e Congêneres) e ABIVIDRO (Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro), e foram coletados dados de produção e dados de consumo de energia.

Com base nas informações de consumo de energia anteriormente levantadas, foi feita uma análise estatística utilizando neste caso o critério de estatística de proporcionalidade, após ser definido um tamanho amostral via Equação 1.

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot (1 - p)}{(N - 1) \cdot e^2 + Z^2 \cdot p \cdot (1 - p)}$$

**Equação 1** – Cálculo do tamanho amostral.

Onde:

N = tamanho do universo;

Z = desvio do valor médio que aceitamos para alcançar o nível de confiança desejado. Se o nível de confiança é de um 90% estamos englobando os valores que cobrem 90% dos casos, isso corresponde a definir uma margem de erro entre -1,645 e +1,645, supondo uma distribuição de probabilidade normal dos dados, hipótese que se dá como válida quando se desconhece essa distribuição, como é nosso caso;

p = proporção que se espera dos dados. Esse é um parâmetro que está em relação a heterogeneidade dos dados. Como desconhecemos esse fator, tomamos o pior dos casos onde a heterogeneidade é máxima, e que corresponde a uma variância máxima da média (p=0,5);

q = p-1 (no caso de variância máxima q=0,5);

$e$  = margem de erro máximo da média a ser calculada. Se assumo 10% do erro e a média calculada é, por exemplo, de 25.073 tep, estou assumindo que esse valor está entre  $25.073 - 2.507,3(10\%) = 22.565,7$  tep e  $25.073 + 2.507,3(10\%) = 27.580,3$  tep.

Utilizando-se um universo de  $N=237$  plantas,  $Z=1,645$ ,  $p=0,5$  e  $e=10\%$ , foi calculado pela Equação 1 o tamanho amostral e em seguida, para determinar o tamanho de cada estrato (cerâmica vermelha, cerâmica branca e vidro) foi utilizado a proporcionalidade de cada estrato em relação ao consumo energético. Dando como resultado uma amostra de  $n=41$  plantas.

Para a seleção final, considerou-se em primeiro lugar o número de amostras por subsegmento calculado pelo critério de proporcionalidade e partindo dessa base, a seleção foi feita seguindo os seguintes critérios:

- Principais polos produtivos: foram identificadas as regiões geográficas que representam os principais polos produtivos de cada subsegmento, assumindo que nessas regiões encontraríamos as plantas industriais mais significativas para a pesquisa.
- Representatividade teórica: foi dada importância para as empresas que se mostravam líderes de cada setor nas literaturas consultadas, dando prioridade a elas, porém, sem deixar de selecionar empresas menos representativas de forma a se ter uma diversidade de cenários tanto em relação à produção quanto em relação à tecnologia.
- Produtos produzidos: Sabendo-se que em cada subsegmento existe uma gama de produtos produzidos, foi dada atenção na escolha de empresas de forma a abranger a produção de todos os tipos possíveis de produtos referente a cada subsegmento.
- Rotas produtivas: Para aqueles subsegmentos que apresentam diferentes rotas produtivas na produção de produtos semelhantes, foi dada prioridade para selecionar empresas que utilizam todas as principais rotas de produção de cada subsegmento.

## **b. Seleção das etapas do processo de produção**

Para fins de pesquisa de consumo energético serão consideradas as seguintes etapas de processo por subsegmento:

- Subsegmento Cerâmica Vermelha:
  - Preparação da massa (envolvendo diferentes etapas)
  - Extrusão/Prensa
  - Secagem
  - Queima
- Subsegmento Cerâmica Branca:
  - Preparação da massa (envolvendo diferentes etapas)
  - Prensa

- Secagem
  - Esmaltação
  - Decoração
  - Queima
  - Classificação
- Subsegmento Vidro:
    - Silo
    - Mistura
    - Forno
    - Formação
    - Recozimento
    - Palletização

### **c. Tratamento de dados**

Todos os dados referentes aos consumos energéticos utilizados nesta pesquisa foram fornecidos pelas empresas visitadas.

Os dados utilizados são dos anos de 2016 e 2017. Algumas informações foram estimadas pelas empresas pois elas não a tinham ou não faziam seu acompanhamento conforme o desenvolvido nesse estudo.

Para a obtenção dos valores médios de cada subsegmento realizou-se uma média dos valores das empresas ponderada pela produção, em cada subsegmento.

## 5. INDICADORES DE CONSUMO ENERGÉTICO POR SUBSEGMENTO

### 5. a. Subsegmento Cerâmica Vermelha

#### 5. a. i. Situação atual

##### Produção, etapas de processo e equipamentos utilizados

Em cerâmica vermelha, embora tenhamos um universo e amostra grandes, temos um processo homogêneo, ou seja, não há alteração representativa no processo fabril que possa ocasionar grande impactos, mesmo havendo mudanças no tipo de tecnologia empregada em cada etapa (ex.: tipo do forno, tipo do secador, etc.).

No processo de produção de cerâmica vermelha, a argila é extraída da cava (podendo estar localizado na planta ou nas proximidades), levada até a planta industrial, deixada em descanso e então entra no processo na parte de preparação da massa. Na preparação da massa, é feita a dosagem entre argilas e mistura, moagem, homogeneização com água e laminação. Depois segue para uma extrusora, onde sai um produto contínuo que será cortado e dependendo da finalidade ainda passará pela etapa da prensagem (no caso de telhas, por exemplo). As peças úmidas passam então pelo secador, diminuindo sua umidade, para após serem gradativamente queimadas no forno.



**Figura 25** – Macro etapas do processo de produção de cerâmica vermelha.

Para alguns casos, ainda existe uma etapa de pintura ou adição de camada impermeabilizante. Após todas as etapas do processo, as peças são inspecionadas, classificadas, embaladas e levadas para expedição. As peças defeituosas são quebradas e recicladas no começo do processo.

Segue abaixo um esquema para se visualizar as finalidades energéticas presentes nas etapas do processo de produção.

Força Motriz	• Presente em todas as etapas, através de, por exemplo, motores para funcionamento de máquinas e deslocamento de empilhadeiras.
Aquecimento Direto	• Refere-se a etapa de queima e secagem, onde mais se consome energia térmica no processo, que é feita no forno e secador.
Refrigeração	• Representado mais pela parte administrativa e de laboratórios de teste e análise dentro da fábrica.
Iluminação	• Presente em todas as etapas, através das lâmpadas usadas para iluminação local.

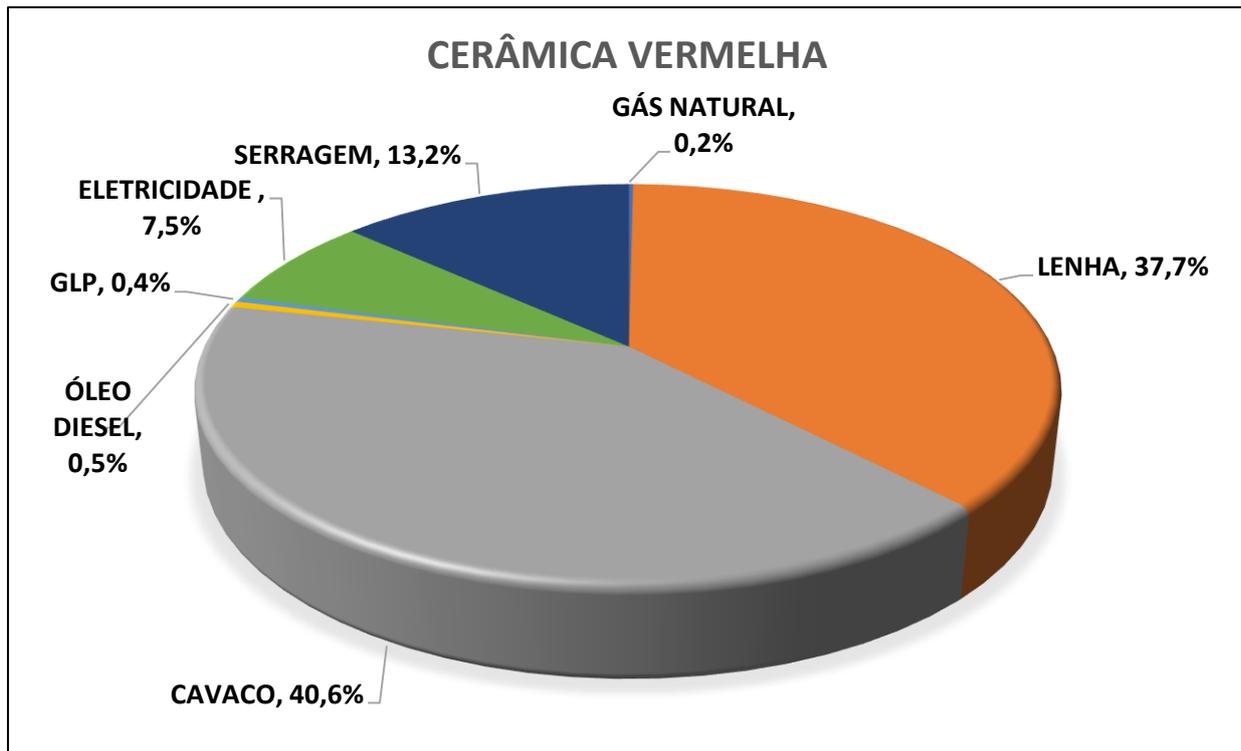
**Figura 26** – Etapas de processo para cada serviço energético em cerâmica vermelha.

### Fontes de energia

As indústrias de cerâmica vermelha utilizam a energia elétrica em quase todas as etapas do processo, desde a preparação da massa em misturadores, moedores e esteiras, até mesmo na secagem, por exemplo, quando a mesma é feita via ventiladores, fora seu uso para iluminação e refrigeração. A eletricidade é fornecida pela rede de energia, não sendo comum a cogeração ou geração própria, na indústria brasileira.

Em relação à energia térmica, vemos a predominância na utilização de lenha, cavaco, serragem e outros resíduos da madeira, que são utilizados no processo de queima em diferentes tipos de fornos e nas fornalhas que fornecem calor para secadores. Os pedaços de madeiras utilizadas são obtidos através da extração de madeira, de reflorestamento, ou a compra dos resíduos de madeira de outras fábricas. Com o estudo, fora identificado a inviabilidade financeira, por parte das empresas, da utilização do gás natural na indústria de cerâmica vermelha.

O óleo diesel e o GLP têm como finalidade a força motriz, onde são utilizados em motores para deslocamento de carregadores, em sua maioria.



**Gráfico 24** – Consumo energético do subsegmento de cerâmica vermelha.

**Fonte: Elaboração própria com base nos dados de campo.**

### Principais equipamentos consumidores de energia

Como informado anteriormente, as plantas do segmento de cerâmica vermelha utilizam eletricidade em praticamente todas as etapas, porém, existem alguns equipamentos que consomem uma porcentagem mais significativa de eletricidade comparados a outros. Entre os equipamentos energointensivos, temos as extrusoras na etapa de conformação das peças, moinhos e misturadores na etapa de preparação da massa cerâmica e compressores.

Os únicos equipamentos consumidores de energia térmica na indústria de cerâmica vermelha são o forno e o secador. Entre os dois equipamentos, o forno é o maior consumidor de energético térmico, sendo para algumas plantas o único, visto que a secagem pode ser feita de forma natural; ou utilizando apenas energia elétrica (utilização de ventiladores) e/ou realizando o reaproveitamento dos gases quentes do forno transferindo (via dutos com ventiladores) para os secadores.

Essa recuperação de calor dos fornos para a secagem, empregada por algumas empresas, torna essa uma vantagem energética dos secadores. Como nos fornos são atingidas altas temperaturas e tem-se um grande excedente de energia que seria liberado para o ambiente, é feito, por integração energética, o direcionamento desse calor para os secadores, que utilizam temperaturas bem menores que os fornos. Quando essa energia

recuperada não é suficiente para realizar a secagem, é então utilizado o energético diretamente para o fornecimento do calor necessário.

### Indicadores energéticos

A partir da pesquisa realizada, o consumo específico médio atual para o subsegmento de cerâmica vermelha é de aproximadamente 0,04071 tep/t, feito por média ponderada pela produção de cada planta, tendo um consumo específico mínimo de 0,01166 tep/t e um máximo de 0,11601 tep/t.

Em relação a energia elétrica, foi observado um consumo específico médio atual de aproximadamente 0,00304 tep/t (35,35 kWh/t).

Em relação a energia térmica, foi observado um consumo específico médio atual de aproximadamente 0,03767 tep/t.

### Rendimento energético

FORMAS DE ENERGIA	RENDIMENTO ENERGÉTICO (%)						
	Força Motriz	Calor de Processo	Aquecimento Direto	Refrigeração	Iluminação	Eletroquímica	Outras
Gás Natural	-	-	39%	-	-	-	-
Lenha	-	-	42%	-	-	-	-
Outras Fontes (CAVACO)	-	-	41%	-	-	-	-
Outras Fontes (SERRAGEM)	-	-	41%	-	-	-	-
Óleo Diesel	44%	-	-	-	-	-	-
GLP	28%	-	-	-	-	-	-
Eletricidade	90%	-	-	62%	27%	-	-

**Tabela 7** – Rendimento energético atual do segmento de cerâmica vermelha.

**Fonte: Elaboração própria.**

### Coeficientes de Destinação

FORMAS DE ENERGIA	COEFICIENTE DE DESTINAÇÃO (%)						
	Força Motriz	Calor de Processo	Aquecimento Direto	Refrigeração	Iluminação	Eletroquímica	Outras
Gás Natural	-	-	100%	-	-	-	-
Lenha	-	-	100%	-	-	-	-
Outras Fontes (CAVACO)	-	-	100%	-	-	-	-
Outras Fontes (SERRAGEM)	-	-	100%	-	-	-	-
Óleo Diesel	100%	-	-	-	-	-	-
GLP	100%	-	-	-	-	-	-
Eletricidade	91,2%	-	-	1,3%	7,5%	-	-

**Tabela 8** – Coeficiente de destinação atual do segmento de cerâmica vermelha.

**Fonte: Elaboração própria.**

## Investimentos necessários para reposição de equipamentos

Abaixo seguem os investimentos médios referentes a reposição de equipamentos atualmente utilizados no setor e que poderiam ser trocados por outros mais eficientes.

<i>EQUIPAMENTO</i>	<i>INVESTIMENTO ATUAL<sup>1</sup></i>
Motor de 40CV	R\$5.157
Motor de 75CV	R\$11.420
Motor de 100CV	R\$23.076
Motor de 150CV	R\$25.034
Motor de 125CV	R\$28.569
Motor de 250CV	R\$36.481
Motor de 175CV	R\$36.830
Motor de 200CV	R\$49.866
Motor de 300CV	R\$51.740
Prensa	R\$119.348
Extrusora	R\$210.628
Misturador	R\$231.140
Moinho	R\$394.636
Secador intermitente	R\$728.000
Secador contínuo	R\$1.443.524
Forno semi contínuo	R\$1.915.778
Forno intermitente	R\$2.645.067
Forno contínuo	R\$5.231.489

<sup>1</sup> Para equipamentos em valores dólar americano fora considerado a taxa do dólar do dia 22/05/2018 R\$3,64 (<https://economia.uol.com.br/cotacoes/cambio/dolar-comercial-estados-unidos>).

**Tabela 9** – Investimentos na situação atual – cerâmica vermelha.

**Fonte: WEG, EM Enselli Motores Elétricos, Alibaba – Machinery, Dados de pesquisa de campo. Todos do ano base de 2018**

Os valores dos equipamentos podem variar conforme a especificação técnica, e não foram considerados os valores de: impostos, transporte e instalações.

### 5. a. ii. Condições com tecnologias mais eficientes

#### Produção, etapas de processo e oportunidades de eficiência energética

Em relação às etapas de processo produtivo, no cenário alternativo, continuarão sendo as mesmas.

Porém, é válido destacar que neste segmento as empresas são de grande maioria familiares, e os seus investimentos nem sempre são realizados de maneira estruturada,

podendo ocasionar a compra de equipamentos usados, reparos constantes dos equipamentos existentes, entre outros.

Pode-se destacar como oportunidades de eficiência energética o controle do consumo de energéticos e o controle de umidade do produto no processo de secagem e queima (que são os maiores consumidores de energia térmica). E por outro lado, a atualização dos equipamentos consumidores de eletricidade por equipamentos atuais e mais eficientes.

### Fontes de energia

No cenário alternativo, continuarão sendo utilizados os mesmos energéticos: energia elétrica para iluminação; força motriz, lenha e outros derivados de madeira para queima e secagem, quando necessário, sendo dada a preferência para derivados da madeira com maior área superficial, como o cavaco e a serragem.

### Principais equipamentos consumidores de energia

Os principais equipamentos consumidores continuarão sendo os mesmos, porém com as medidas de eficiência aplicadas.

### Indicadores energéticos

O consumo específico médio mais eficiente para o subsegmento de cerâmica vermelha é de aproximadamente 0,02442 tep/t.

Em relação a energia elétrica, tem-se um consumo específico médio mais eficiente de aproximadamente 0,00230 tep/t (26,74 kWh/t).

Em relação a energia térmica, tem-se um consumo específico médio mais eficiente de aproximadamente 0,02212 tep/t.

### Rendimento energético

FORMAS DE ENERGIA	RENDIMENTO ENERGÉTICO (%)						
	Força Motriz	Calor de Processo	Aquecimento Direto	Refrigeração	Iluminação	Eletroquímica	Outras
Gás Natural	-	-	91%	-	-	-	-
Lenha	-	-	70%	-	-	-	-
Outras Fontes (CAVACO)	-	-	70%	-	-	-	-
Outras Fontes (SERRAGEM)	-	-	70%	-	-	-	-
Óleo Diesel	45%	-	-	-	-	-	-
GLP	30%	-	-	-	-	-	-
Eletricidade	95,5%	-	-	90%	85%	-	-

**Tabela 10** - Rendimento energético mais eficiente do segmento de cerâmica vermelha.

**Fonte: Elaboração própria com base em HTL Brasil, WEG, Portal O Mecânico, INT/MCTI, Yale, informações de campo, conhecimento do consultor.**

### Coeficientes de Destinação

FORMAS DE ENERGIA	COEFICIENTE DE DESTINAÇÃO (%)						
	Força Motriz	Calor de Processo	Aquecimento Direto	Refrigeração	Iluminação	Eletroquímica	Outras
Gás Natural	-	-	100%	-	-	-	-
Lenha	-	-	100%	-	-	-	-
Outras Fontes (CAVACO)	-	-	100%	-	-	-	-
Outras Fontes (SERRAGEM)	-	-	100%	-	-	-	-
Óleo Diesel	100%	-	-	-	-	-	-
GLP	100%	-	-	-	-	-	-
Eletricidade	97%	-	-	1%	2%	-	-

**Tabela 11** - Coeficiente de destinação mais eficiente do segmento de cerâmica vermelha.

**Fonte: Elaboração própria.**

### Investimentos necessários para reposição de equipamentos de tecnologia mais eficiente

EQUIPAMENTO	INVESTIMENTO ATUAL	INVESTIMENTO MAIS EFICIENTE
Motor de alto rendimento de 40CV	R\$5.157	R\$14.631
Motor de alto rendimento de 75CV	R\$11.420	R\$19.212
Motor de alto rendimento de 100CV	R\$23.076	R\$31.373
Motor de alto rendimento de 125CV	R\$25.034	R\$32.474
Motor de alto rendimento de 150CV	R\$28.569	R\$34.124
Motor de alto rendimento de 175CV	R\$36.481	R\$43.334
Motor de alto rendimento de 250CV	R\$36.830	R\$51.560
Motor de alto rendimento de 200CV	R\$49.866	R\$59.109
Motor de alto rendimento de 300CV	R\$51.740	R\$60.500
Prensa	R\$119.348	R\$127.400
Misturador	R\$210.628	R\$260.260
Extrusora	R\$231.140	R\$260.588
Moinho	R\$394.636	R\$546.000
Forno semicontínuo	R\$728.000	R\$1.700.000
Secador contínuo	R\$1.443.524	R\$1.804.667
Secador intermitente	R\$1.915.778	R\$2.184.000
Forno contínuo	R\$2.645.067	R\$5.756.667
Forno intermitente	R\$5.231.489	R\$7.280.000

**Tabela 12** – Comparação do Investimento de equipamentos na situação mais eficiente com o equivalente na situação atual – cerâmica vermelha.

**Fonte: WEG, EM Enselli Motores Elétricos, Proengel Distribuidora, Alibaba – Machinery, Pinezi Madeiras, Copafar, Dados de pesquisa de campo. Todos do ano base de 2018.**

A seguir são apresentadas medidas de eficiência energética identificadas para o setor de cerâmica vermelha. Para cada medida são apresentados os custos para reposição do equipamento atual (quando aplicável), o custo do equipamento eficiente, o percentual de economia de energia e economia por tonelada produzida.

<b>MEDIDAS DE MELHORIA ADOTADAS</b>	<b>INVESTIMENTO ATUAL<sup>1</sup> (R\$/ton produzida)</b>	<b>INVESTIMENTO MAIS EFICIENTE<sup>1</sup> (R\$/ton produzida)</b>	<b>% ECONOMIA DE ENERGIA</b>	<b>ECONOMIA DE ENERGIA (tep/ton produzida)</b>
Troca de motor de alto rendimento	1,59	1,98	5,09%	0,00015
Instalação de inversor de frequência	-	1,26	3,08%	0,00008
Troca/Manutenção Extrusora	6,08	7,61	0,32%	0,00001
Troca/Manutenção Moinho	9,07	12,55	0,46%	0,00001
Troca/Manutenção Misturador	6,64	7,48	0,24%	0,00001
Troca/Manutenção Prensa	17,15	18,30	0,40%	0,00002
Automatização do processo	-	3,03	0,39%	0,00001
Instalação de paletizadora	-	12,01	0,22%	0,00000
TPM na força motriz e principalmente limpezas dos painéis - MO Interna	-	0,39	0,42%	0,00001
TPM Caminhão, Carregadeira e Escavadeira	-	0,53	1,00%	0,00000
TPM nas empilhadeiras	-	0,14	1,01%	0,00000
Troca/Manutenção Forno	119,73	134,55	5,44%	0,00198
Troca/Manutenção Secador	24,87	40,29	3,07%	0,00038
Retirada dos queimadores de Gás Natural	-	0,57	100,01%	0,00192
TPM - MO interna	-	0,20	0,38%	0,00011
TPM no sistema de Ar condicionado	-	0,07	0,49%	0,00000
Troca de lâmpadas de LED e instalação de telha translúcidas	-	0,71	63,52%	0,00014

<sup>1</sup> Para equipamentos em valores dólar americano fora considerado a taxa do dólar do dia 22/05/2018 R\$3,64 (<https://economia.uol.com.br/cotacoes/cambio/dolar-comercial-estados-unidos>).

<sup>2</sup> TPM = Total productive maintenance.

**Tabela 13** – Investimento na situação melhorada – cerâmica vermelha.

**Fonte: WEG, EM Enselli Motores Elétricos, Proengel Distribuidora, Alibaba – Machinery, Pinezi Madeiras, Copafar, Grupo RCA Lâmpadas, Dados de pesquisa de campo. Todos do ano base de 2018**

Sendo cada medida caracterizada por:

Troca de motores de alto rendimento – substituição do motor atual que apresente desgaste, grande quantidade de manutenção, hiperdimensionado, por motor mais moderno com rendimento de até 93% (conforme informações obtidas nas visitas e com

o fabricante WEG). Adotou-se a premissa de ganhos de 2% a 6% após a troca, dependendo da planta e potência do motor.

Instalação de inversor de frequência – instalação de inversor de frequência, para auxiliar na rampa de partida de motor, controlar a velocidade do motor, frenagem direta, variação de velocidade, entre outros. Foi adotada a premissa de que poderá chegar a uma melhoria de 10% a 50% de economia de energia (conforme a nota do fabricante Yashawa), dependendo da planta e do motor instalado.

Troca/Manutenção – Extrusora, Moinho, Misturador e Prensa - Após a vida útil de operação, que pode variar conforme a utilização da planta, o equipamento deverá passar por uma manutenção geral/troca, pois com o passar dos anos o equipamento deixa de ser eficiente tanto produtiva quanto energeticamente. Adicionalmente, observa-se a chegada no mercado de equipamentos mais eficientes. Conforme dados obtidos na pesquisa, esses valores de perda produtivas e energéticas dependerá da planta, e adotou-se como premissa uma melhoria de:

- 0 a 20% para extrusora;
- 0 a 25% para moinho;
- 0 a 25% para misturador;
- 0 a 20% para prensa.

Automatização do processo – automatização do processo auxiliará com a menor intervenção humana no processo produtivo, podendo ocasionar principalmente a diminuição de perda de produtos, mas a maior vantagem é a diminuição da mão de obra em alguns processos produtivos. Conforme dados obtidos na pesquisa, dependerá da planta, mas podendo obter como premissa uma melhoria de 0 a 20% no consumo energético.

Instalação de paletizadora – instalação de paletizadora vem com a diminuição de perda de produtos (e conseqüente redução do consumo de energia), a eliminação de alguns micros processos manuais e principalmente a diminuição de mão de obra.

TPM na força motriz e principalmente limpezas dos painéis – devido à grande quantidade de poeira no processo fabril como todo, além do risco do pó danificar os equipamentos, o que pode ocasionar principalmente paradas por sobre aquecimento. Sendo assim, uma constante maior em processos internos de manutenção preventivas, como Termografia, limpeza e lubrificação, etc. pode gerar ganhos energéticos de 0,5% a 4%, dependendo da planta e equipamentos.

TPM Caminhão, Carregadeira e Escavadeira – manutenção se deve para não ocorrer problemas com o processo produtivo e logístico, vindo a prejudicar os posteriores processos, além do próprio consumo do equipamento. A manutenção pode gerar uma melhora de 0,5% a 4% do consumo energético, dependendo da planta e potência do motor.

TPM nas empilhadeiras – manutenção se deve para não ocorrer problemas com o processo logístico, vindo a prejudicar os processos anteriores e posteriores processos, além do próprio consumo do equipamento. A manutenção pode gerar uma melhora de 0,5% a 4% do consumo energético, dependendo da planta e potência do motor.

Troca/Manutenção – Forno e Secador - Após a vida útil de operação, que pode variar conforme a utilização da planta, o equipamento deverá passar por uma manutenção geral/troca, pois com o passar dos anos o equipamento deixa de ser eficiente tanto produtiva quanto energeticamente. Conforme dados obtidos na pesquisa, esses valores de perda produtivas e energéticas dependerá de cada planta, mas adotou-se como premissa uma melhora de no máximo (ideal) 60% para forno e 40% para secador.

Retirada dos queimadores de Gás Natural – a retirada dos queimadores de gás natural pode ser consequência do preço do combustível, que implica no preço final do produto e na competitividade do fabricante.

TPM - MO interna - manutenção constante em parte dos secadores e fornos, como queimadores, ventiladores/circuladores de ar, termopares, isolante térmicos, portas de acesso, etc. Adotou-se a premissa de melhora de 0,5% a 5% (conforme informações obtidas nas visitas) e dependendo da planta e situação de manutenção.

TPM no sistema de Ar condicionado – manutenção constante, principalmente a limpeza dos equipamentos, devido à grande quantidade de pó no processo fabril. O pó pode ocasionar a parada do equipamento, que são responsáveis pelo condicionamento de painéis elétricos/comandos. Adotou-se a premissa de melhora de 0% a 4% (conforme informação obtidas nas visitas) e dependendo da planta e os equipamentos condicionados.

Troca de lâmpadas para LED e instalação de telha translúcida – troca/instalação de lâmpadas energeticamente eficientes (LED), em locais onde é permitida. Além do menor consumo de energia, a troca leva à maior vida útil da lâmpada e à padronização de itens de manutenção (gerando menor custo de estoque de manutenção). Adotou-se como premissa de melhora de 5% a 60%, o que dependerá do projeto de iluminação, conforme a NBR5410 e as lâmpadas utilizadas atualmente. Na instalação de telhas translúcidas, consegue-se uma redução na utilização de luz elétrica no período do dia, aproveitando a luz do sol com uma premissa de horas de sol úteis de 2.368,3 h/Ano de Brasília-DF.

Para realização dos cálculos, os valores dos equipamentos podem variar conforme a especificação técnica, e não foram considerados os valores de: impostos; transporte e instalações.

A seguir são destacadas as medidas nas quais foram verificados os maiores potenciais de economia de energia, relativas aos usos finais que mais consomem energia:

- Força Motriz: 4,95% a troca de motores de alto rendimento;
- Força Motriz: 2,94% a instalação de inversores de frequência;
- Aquecimento Direto (biomassa): 5,36% a troca/manutenção forno.

Sobre a utilização do Gás Natural no processo cerâmico vermelho, foi identificado a sua melhoria no processo, porém o grande problema identificado foi o impacto do custo de

compra do Gás Natural, sendo considerado inviável deixando o produto com o custo competitivamente superior ao mercado interno.

<b>FORMAS DE ENERGIA (tep/t)</b>	<b>FORÇA MOTRIZ</b>	<b>CALOR DE PROCESSO</b>	<b>AQUECIMENTO DIRETO</b>	<b>REFRIGERAÇÃO</b>	<b>ILUMINAÇÃO</b>	<b>TOTAL (%)</b>
Gás Natural	-	-	0,00043	-	-	<b>57,14%</b>
Lenha	-	-	0,00652	-	-	<b>40,35%</b>
Cavaco	-	-	0,00665	-	-	<b>41,81%</b>
Óleo Diesel	0,000002	-	-	-	-	<b>2,80%</b>
GLP	0,000004	-	-	-	-	<b>7,38%</b>
Eletricidade	0,00017	-	-	0,00059	0,00056	<b>24,24%</b>
Serragem	-	-	0,00080	-	-	<b>41,25%</b>
<b>TOTAL (%)</b>	<b>6,11%</b>	<b>0,00%</b>	<b>41,43%</b>	<b>31,21%</b>	<b>68,47%</b>	<b>38,98%</b>

**Tabela 14** – Potencial de economia – cerâmica vermelha.

**Fonte: Elaboração própria.**

## 5. b. Subsegmento Cerâmica Branca

### 5. b. i. Situação atual

#### **Produção, etapas de processo e equipamentos utilizados**

Na produção de cerâmica branca, existem particularidades envolvidas na produção de cada tipo de produto (revestimento, louças sanitárias, refratário, etc.). Especificamente para produção de revestimento, existem duas rotas de produção usadas: via úmida e via seca.

Na produção de louça sanitária, o processo começa com a preparação da massa por uma dosagem, moagem, diluidor, peneiramento e estocagem. Após a preparação, a massa é levada para a etapa de fundição onde é preenchida nos moldes desejados. As peças úmidas são encaminhadas para o secador para retirada do excesso de umidade gradualmente. Logo após para uma inspeção, com a finalidade de correções ou descarte. Em seguida, passam para a etapa de esmaltação, finalizando o processo pela queima nos fornos.

Na produção de refratários, a matéria-prima é calcinada, moída, dosada e misturada com aditivos e água para então entrar no processo. A massa pronta é enviada diretamente para a etapa de moldagem feita nas prensas. As peças úmidas são encaminhadas para o secador para retirar o excesso de umidade gradualmente, finalizando o processo pela queima nos fornos.



**Figura 27** – Macro etapas do processo de produção de cerâmica branca.

Na produção de revestimentos via úmida, a preparação da massa é feita por dosagem, moagem a úmido, atomização e estocagem. Já para o processo via seca, a preparação da massa é feita por dosagem, moagem a seco, umidificação, granulação e estocagem. As demais etapas são iguais para ambas as rotas utilizadas, que se trata de prensagem para formação da peça, secagem para retirada de umidade, esmaltação e decoração, finalizando nos fornos com a queima das peças.

Após todas as etapas do processo, as peças passam pela inspeção, classificação e embalagem para ir para expedição. Algumas peças de revestimento ainda passam pela etapa de retificação, onde recebem um acabamento na peça que não está incluído nas outras etapas do processo.

Segue abaixo um esquema para se visualizar as finalidades energéticas presentes nas etapas do processo de produção.

<b>Força Motriz</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presente em todas as etapas, através de, por exemplo, motores para funcionamento de máquinas e deslocamento de empilhadeiras.</li> </ul>
<b>Calor de Processo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Refere-se a cogeração e recuperação de calor para o sistema, onde é gerado calor para o sistema e recuperado de outras etapas para o sistema.</li> </ul>
<b>Aquecimento Direto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Refere-se a etapa de queima, onde mais se consome energia térmica no processo, que é feita no forno.</li> </ul>
<b>Refrigeração</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Representado mais pela parte administrativa e de laboratórios de teste e análise dentro da fábrica.</li> </ul>
<b>Iluminação</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presente em todas as etapas, através das lâmpadas usadas para iluminação local.</li> </ul>

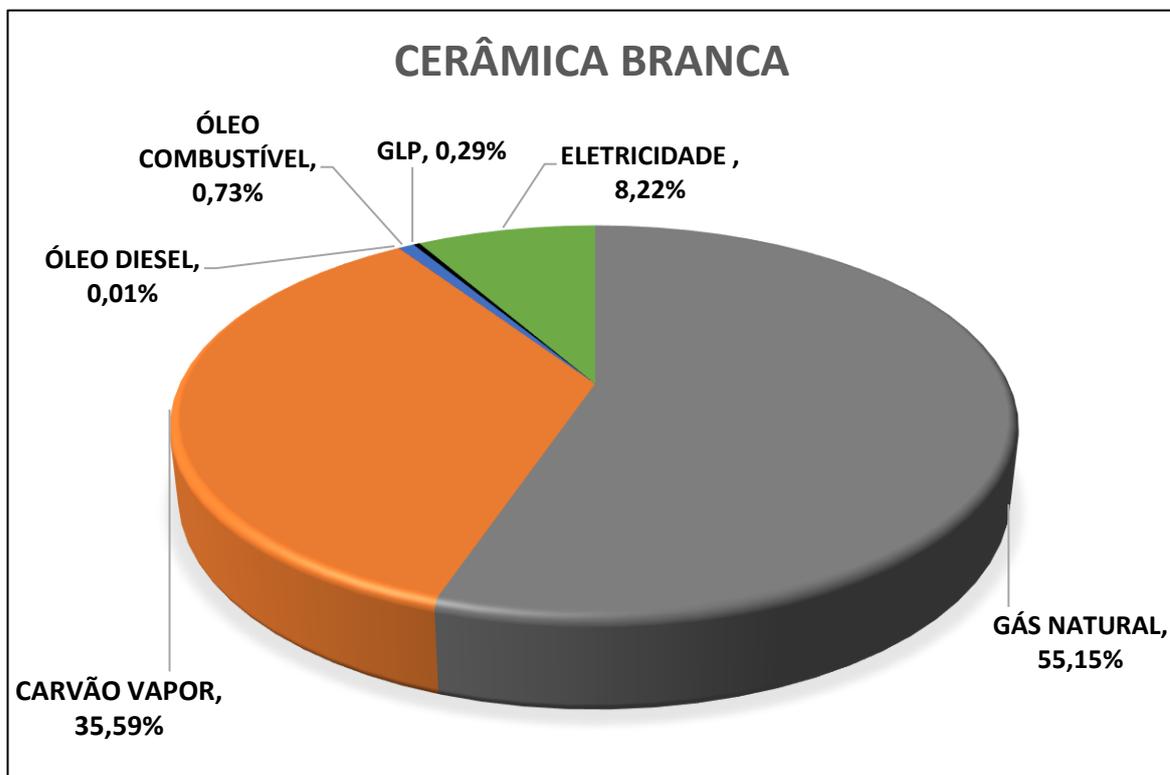
**Figura 28** - Etapas de processo para cada serviço energético em cerâmica branca.

## Fontes de energia

As indústrias de cerâmica branca também utilizam a energia elétrica em quase todas as etapas do processo, desde a preparação da massa, refrigeração, iluminação e até mesmo nas etapas de aquecimento. A eletricidade também é fornecida pela rede de energia na maioria dos casos, sendo bem menos comum a cogeração e/ou geração própria.

Em relação à energia térmica, tem-se a predominância na utilização do gás natural para aquecimento direto, sendo o mesmo utilizado por praticamente todas as empresas. Porém, para aquecimento direto também se utilizam o carvão mineral e, em bem menos casos, o óleo BPF.

O óleo diesel e o GLP têm como finalidade a força motriz, onde são utilizados em motores para deslocamento de carregadores, em sua maioria.



**Gráfico 25** - Consumo energético do subsegmento de cerâmica branca.

**Fonte: Elaboração própria com base nos dados de campo.**

## Principais equipamentos consumidores de energia

As plantas do segmento de cerâmica branca utilizam eletricidade em praticamente todas as etapas, porém, existem alguns equipamentos que consomem uma porcentagem mais significativa de eletricidade comparados a outros, como os moinhos, compressores e prensas.

Já os equipamentos consumidores de energia térmica na indústria de cerâmica branca são: o forno, o secador e o atomizador. Entre os equipamentos citados, o forno consome a maior parcela de energia térmica e o secador a menor parcela, pois em muitos casos tem-se o reaproveitamento do calor dos fornos nos secadores, uma vez que nos fornos são atingidas altas temperaturas e tem-se um grande excedente de energia que seria liberado para o ambiente. O direcionamento desse calor é feito, por integração energética, para os secadores, que utilizam temperaturas bem menores que os fornos. Quando essa energia recuperada não é suficiente para realizar a secagem, é, então, utilizado o energético diretamente para o fornecimento do calor necessário.

### Indicadores energéticos

A partir da pesquisa realizada, o consumo específico médio atual para o subsegmento de cerâmica branca como um todo é de aproximadamente 0,10665 tep/t, feito por média ponderada pela produção de cada planta do segmento como um todo, tendo como consumo mínimo de 0,03735 tep/t, referente a revestimento, e máximo de 0,31528 tep/t, referente a louça sanitária.

Porém, devido a suas particularidades de produtos, podemos analisar o segmento separadamente. Sendo assim, o consumo específico médio de refratário é de 0,12201 tep/t; o consumo específico médio de louça sanitária de 0,23876 tep/t; o consumo específico médio de revestimento é de 0,10231 tep/t.

Em relação a energia elétrica, do segmento como um todo, foi observado um consumo específico médio atual de aproximadamente 0,00864 tep/t (100,46 kWh/t).

Em relação a energia térmica, do segmento como um todo, foi observado um consumo específico médio atual de aproximadamente 0,09801 tep/t.

### Rendimento energético

FORMAS DE ENERGIA	RENDIMENTO ENERGÉTICO (%)						
	Força Motriz	Calor de Processo	Aquecimento Direto	Refrigeração	Iluminação	Eletroquímica	Outras
Gás Natural	-	74%	56%	-	-	-	-
Carvão Vapor	-	-	42%	-	-	-	-
Óleo Diesel	44%	-	-	-	-	-	-
Óleo Combustível	-	-	55%	-	-	-	-
GLP	28%	-	-	-	-	-	-
Eletricidade	90%	-	60%	63%	26%	-	-

**Tabela 15** - Rendimento energético atual do segmento de cerâmica branca.

**Fonte: Elaboração própria.**

### Coeficientes de destinação

<b>FORMAS DE ENERGIA</b>	<b>COEFICIENTE DE DESTINAÇÃO (%)</b>						
	Força Motriz	Calor de Processo	Aquecimento Direto	Refrigeração	Iluminação	Eletroquímica	Outras
Gás Natural	-	8%	92%	-	-	-	-
Carvão Vapor	-	-	100%	-	-	-	-
Óleo Diesel	100%	-	-	-	-	-	-
Óleo Combustível	-	-	100%	-	-	-	-
GLP	100%	-	-	-	-	-	-
Eletricidade	87%	-	1%	7%	5%	-	-

**Tabela 16** – Coeficiente de destinação atual do segmento de cerâmica branca.

**Fonte: Elaboração própria.**

### **Investimentos necessários para reposição de equipamentos**

Abaixo seguem os investimentos médios referentes a reposição de equipamentos atualmente utilizados no setor e que poderiam ser trocados por outros mais eficientes.

<b>EQUIPAMENTOS</b>	<b>INVESTIMENTO ATUAL</b>
Motor de 10CV	R\$2.008
Motor de 15CV	R\$2.537
Motor de 25CV	R\$4.601
Motor de 30CV	R\$4.981
Motor de 40CV	R\$10.275
Motor de 50CV	R\$12.999
Motor de 75CV	R\$14.271
Motor de 100CV	R\$18.160
Motor de 150CV	R\$28.680
Filtro de Mangas	R\$119.625
Compressor de Ar	R\$171.688
Forno Rotativo	R\$382.200
Forno Intermitente	R\$782.600
Retificador	R\$845.583
Prensa manual - Refratários	R\$945.000
Classificador	R\$1.249.820
Decoradora	R\$1.408.550
Esmaltador	R\$1.637.350
Prensa hidráulica automática - Refratários	R\$2.395.000
Secador	R\$3.280.134
Forno contínuo	R\$4.004.535

<i>EQUIPAMENTOS</i>	<i>INVESTIMENTO ATUAL</i>
Moinho	R\$4.100.893
Moagem modular	R\$4.776.200
Prensa Vertical - Revestimento	R\$5.058.881
Atomizador	R\$5.994.138

Nota: Para equipamentos em valores dólar americano fora considerado a taxa do dólar do dia 22/05/2018 R\$3,64 (<https://economia.uol.com.br/cotacoes/cambio/dolar-comercial-estados-unidos>) e para equipamentos e euro fora considerado a taxa do euro do dia 22/05/2018 R\$4,29 (<https://economia.uol.com.br/cotacoes/cambio/euro-uniao-europeia>).

**Tabela 17** – Investimento médio na situação atual – cerâmica branca.

**Fonte: WEG, EM Enselli Motores Elétricos, Alibaba – Machinery, Made-in-China.com – Industrial Equipment & Components, Dados de pesquisa de campo. Todos do ano base de 2018**

Os valores dos equipamentos podem variar conforme a especificação técnica, e não fora considerado os valores de: impostos; transporte e instalações.

## 5. b. ii. Condições com tecnologias mais eficientes

### Produção, etapas de processo e oportunidades de eficiência energética

As etapas de processo produtivo, no cenário alternativo, continuarão sendo as mesmas.

O controle de consumo dos energéticos e o controle de umidade do produto no processo de secagem e queima (que são os maiores consumidores de energia térmica) podem ser destacados como oportunidades de eficiência energética. Além da atualização dos equipamentos consumidores de eletricidade por equipamentos atuais e mais eficientes.

### Fontes de energia

No cenário alternativo, continuarão sendo usados os mesmos energéticos. Energia elétrica para iluminação e força motriz, e gás natural para queima e secagem.

O óleo diesel e o GLP têm como finalidade a força motriz, onde são utilizados em motores para deslocamento de carregadores, em sua maioria.

### Principais equipamentos consumidores de energia

Os principais equipamentos consumidores continuarão sendo os mesmos, porém com as medidas de eficiência aplicadas.

## Indicadores energéticos

O consumo específico médio mais eficiente para o subsegmento de cerâmica branca é de aproximadamente 0,06688 tep/t.

Em relação a energia elétrica, temos um consumo específico médio mais eficiente de aproximadamente 0,00767 tep/t (89,19 kWh/t).

Em relação a energia térmica, temos um consumo específico médio mais eficiente de aproximadamente 0,05921 tep/t.

## Rendimento energético

FORMAS DE ENERGIA	RENDIMENTO ENERGÉTICO (%)						
	Força Motriz	Calor de Processo	Aquecimento Direto	Refrigeração	Iluminação	Eletroquímica	Outras
Gás Natural	-	89%	91%	-	-	-	-
Carvão Vapor	-	-	90%	-	-	-	-
Óleo Diesel	45%	-	-	-	-	-	-
Óleo Combustível	-	-	85%	-	-	-	-
GLP	30%	-	-	-	-	-	-
Eletricidade	95,5%	-	88%	90%	85%	-	-

**Tabela 18** - Rendimento energético mais eficiente do segmento de cerâmica branca.

**Fonte: Elaboração própria com base em HTL Brasil, WEG, Portal O Mecânico, Yale, informações de campo, conhecimento do consultor.**

## Coefficientes de Destinação

FORMAS DE ENERGIA	COEFICIENTE DE DESTINAÇÃO (%)						
	Força Motriz	Calor de Processo	Aquecimento Direto	Refrigeração	Iluminação	Eletroquímica	Outras
Gás Natural	-	16%	84%	-	-	-	-
Carvão Vapor	-	-	100%	-	-	-	-
Óleo Diesel	100%	-	-	-	-	-	-
Óleo Combustível	-	-	100%	-	-	-	-
GLP	100%	-	-	-	-	-	-
Eletricidade	91%	-	1%	6%	2%	-	-

**Tabela 19** – Coeficiente de destinação mais eficiente do segmento de cerâmica branca.

**Fonte: Elaboração própria.**

## Investimentos necessários para reposição de equipamentos de tecnologia mais eficiente

<i>EQUIPAMENTO</i>	<i>INVESTIMENTO ATUAL<sup>1</sup></i>	<i>INVESTIMENTO MAIS EFICIENTE<sup>1</sup></i>
Motor de 10CV	R\$2.008	R\$2.791
Motor de 15CV	R\$2.537	R\$3.350
Motor de 25CV	R\$4.601	R\$5.487
Motor de 30CV	R\$4.981	R\$8.505
Motor de 40CV	R\$10.275	R\$14.631
Motor de 50CV	R\$12.999	R\$16.063
Motor de 75CV	R\$14.271	R\$19.212
Motor de 100CV	R\$18.160	R\$31.373
Motor de 150CV	R\$28.680	R\$34.124
Filtro de Mangas	R\$119.625	R\$131.040
Compressor de Ar	R\$171.688	R\$249.333
Forno Rotativo	R\$382.200	R\$611.520
Retificador	R\$782.600	R\$1.028.560
Forno Intermitente	R\$845.583	R\$1.092.000
Classificador	R\$945.000	R\$1.587.300
Decoradora	R\$1.249.820	R\$1.716.000
Prensa manual - Refratários	R\$1.408.550	R\$1.750.000
Esmaltador	R\$1.637.350	R\$2.059.200
Prensa hidráulica automática - Refratários	R\$2.395.000	R\$3.400.000
Secador	R\$3.280.134	R\$4.271.999
Moinho	R\$4.004.535	R\$4.941.733
Forno contínuo	R\$4.100.893	R\$5.035.875
Moagem modular	R\$4.776.200	R\$6.006.000
Atomizador	R\$5.058.881	R\$6.456.125
Prensa Vertical - Revestimento	R\$5.994.138	R\$8.522.625

<sup>1</sup> Para equipamentos em valores dólar americano fora considerado a taxa do dólar do dia 22/05/2018 R\$3,64 (<https://economia.uol.com.br/cotacoes/cambio/dolar-comercial-estados-unidos>) e para equipamentos e euro fora considerado a taxa do euro do dia 22/05/2018 R\$4,29 (<https://economia.uol.com.br/cotacoes/cambio/euro-uniao-europeia>).

**Tabela 20** – Comparação do Investimento de equipamentos na situação mais eficiente com o equivalente na situação atual – cerâmica branca.

**Fonte: WEG, EM Enselli Motores Elétricos, Alibaba – Machinery, Made-in-China.com – Industrial Equipment & Components, Dados de pesquisa de campo. Todos do ano base de 2018**

A seguir são apresentadas medidas de eficiência energética identificadas para o setor de cerâmica branca. Para cada medida são apresentados os custos para reposição do equipamento atual (quando aplicável), o custo do equipamento eficiente, o percentual de economia de energia e economia por tonelada produzida.

<i>MEDIDAS DE MELHORIA ADOTADAS</i>	<i>INVESTIMENTO ATUAL<sup>1</sup> (R\$/ton produzida)</i>	<i>INVESTIMENTO MAIS EFICIENTE<sup>1</sup> (R\$/ton produzida)</i>	<i>% ECONOMIA DE ENERGIA</i>	<i>ECONOMIA DE ENERGIA (tep/ton produzida)</i>
Troca de motor de alto rendimento	1,39	1,80	3,18%	0,00021
Instalação de inversor de frequência	-	5,50	1,53%	0,00056
Automatização de esteiras	-	0,20	0,78%	0,00004
Troca/Manutenção Compressores de Ar	24,90	36,32	2,51%	0,00078
Troca/Manutenção Robô	-	18,88	0,04%	0,00001
Troca/Manutenção Misturador Eirich	11,57	15,43	0,63%	0,00001
Troca/Manutenção Classificador	5,25	6,67	0,06%	0,00000
Troca/Manutenção Esmaltador	6,88	8,65	0,05%	0,00000
Troca/Manutenção Decoradora	5,92	7,21	0,13%	0,00001
Troca/Manutenção Retífica	3,23	3,93	0,09%	0,00001
Troca/Manutenção Moinho	19,53	24,09	0,27%	0,00002
Troca/Manutenção Prensa	29,75	49,87	0,15%	0,00001
Troca/Manutenção Filtro de Mangas	0,40	0,44	0,11%	0,00001
TPM Manutenção Compressor de Ar	0,30	0,83	1,05%	0,00004
TPM Manutenção Sistema de Vácuo	-	0,03	0,69%	0,00002
TPM - MO Interna	-	0,10	0,11%	0,00006
TPM nas empilhadeiras	-	0,07	1,00%	0,00000
Caldeira recuperativa	-	29,40	25,00%	0,01175
Plano de troca e limpeza de queimadores	-	0,90	0,30%	0,00011
Troca/Manutenção Atomizador	18,52	19,17	1,30%	0,00029
Troca/Manutenção Forno	48,55	51,44	1,69%	0,00119
Troca/Manutenção Secador	12,53	16,31	1,01%	0,00050
TPM no sistema de Ar condicionado	-	0,04	0,32%	0,00000
Troca de lâmpadas de LED e instalação de telha translúcida	-	0,18	63,52%	0,00030

<sup>1</sup> Para equipamentos em valores dólar americano fora considerado a taxa do dólar do dia 22/05/2018 R\$3,64 (<https://economia.uol.com.br/cotacoes/cambio/dolar-comercial-estados-unidos>) e para equipamentos e euro fora considerado a taxa do euro do dia 22/05/2018 R\$4,29 (<https://economia.uol.com.br/cotacoes/cambio/euro-uniao-europeia>).

<sup>2</sup> TPM = Total productive maintenance.

**Tabela 21** – Investimento médio na situação melhorada – cerâmica branca.

**Fonte: WEG, EM Enselli Motores Elétricos, Alibaba – Machinery, Made-in-China.com – Industrial Equipment & Components, Dados de pesquisa de campo. Todos do ano base de 2018.**

Sendo cada medida caracterizada por:

Troca de motores de alto rendimento – substituição do motor atual que apresente desgaste, grande quantidade de manutenção, hiperdimensionado, por motor mais moderno com rendimento de até 93% (conforme informações obtidas nas visitas e com o fabricante WEG). Adotou-se a premissa de ganhos de 2% a 6% após a troca, dependendo da planta e potência do motor.

Instalação de inversor de frequência – instalação de inversor de frequência, para auxiliar na rampa de partida de motor, controlar a velocidade do motor, frenagem direta, variação de velocidade, entre outros. Foi adotada a premissa de que poderá chegar a uma melhoria de 10% a 50% de economia de energia (conforme a nota do fabricante Yashawa), dependendo da planta e do motor instalado.

Automatização de esteiras - automatização do processo auxiliará com a menor intervenção humana no processo produtivo, podendo ocasionar principalmente a diminuição de perda de produtos, mas a maior vantagem é a diminuição da mão de obra em alguns processos produtivos, além da possibilidade de ligar e desligar as esteiras automaticamente quando identificar se há ou não produto no processo anterior. Conforme dados obtidos na pesquisa, dependerá da planta, mas podendo adotar como premissa uma melhoria de 0 a 15% no consumo energético (conforme informações obtidas nas visitas).

Troca/Manutenção Compressores de Ar - Após a vida útil de operação, que pode variar conforme a utilização da planta, o compressor de ar deverá passar por uma manutenção geral/troca do equipamento, pois com o passar dos anos o equipamento deixa de ser eficiente tanto produtiva quanto energeticamente. Adicionalmente, observa-se a chegada no mercado de equipamentos mais eficientes. Conforme dados obtidos na pesquisa, esses valores de perda produtivas e energéticas dependerá da planta, e adotou-se como premissa uma melhoria de 0 a 45% (conforme informações obtidas nas visitas).

Troca/Manutenção Robô – o robô é utilizado no processo de paletização automática com braços robóticos, após a vida útil de operação que pode variar conforme a utilização da planta, o robô deverá passar por uma manutenção geral/troca do equipamento, pois com o passar dos anos o equipamento deixa de ser eficiente tanto produtiva quanto energeticamente. Adicionalmente, observa-se a chegada no mercado de equipamentos mais eficientes. Conforme dados obtidos na pesquisa, esses valores de perda produtivas e energéticas dependerá da planta, e adotou-se como premissa uma melhoria de 0 a 10% (conforme informações obtidas nas visitas).

Troca/Manutenção - Misturador, Classificador, Esmaltador, Decoradora, Retífica, Moinho, Prensa e Filtro manga - Após a vida útil de operação, que pode variar conforme a utilização da planta, o equipamento deverá passar por uma manutenção geral/troca, pois com o passar dos anos o mesmo deixa de ser eficiente tanto produtiva quanto energeticamente. Adicionalmente, observa-se a chegada no mercado de equipamentos mais eficientes. Conforme dados obtidos na pesquisa, esses valores de perda produtivas e energéticas dependerá da planta, e adotou-se como premissa uma melhoria, conforme informações obtidas nas visitas, de:

- 0 a 25% para misturador Eirich;

- 0 a 5% para classificador;
- 0 a 5% para esmaltador;
- 0 a 5% para decoradora;
- 0 a 5% para retífica;
- 0 a 10% para moinho;
- 0 a 10% para prensa;
- 0 a 10% para filtro manga.

TPM Manutenção - Compressor de Ar e Sistema de Vácuo - devido à grande quantidade de poeira no processo fabril como todo, além do risco do pó danificar os equipamentos, o que pode ocasionar principalmente paradas por sobre aquecimento. Sendo assim, uma constante maior em processos internos de manutenção preventivas, como Termografia, limpeza e lubrificação, verificação dos filtros, mangueiras, conexões, etc. pode gerar ganhos energéticos de 0,5% a 30% para compressores de ar e de 0,5% a 15% para sistema de vácuo (conforme informações obtidas nas visitas), dependendo da planta e equipamentos instalados e utilizados.

TPM - MO Interna (Força Motriz, Calor de Processo e Aquecimento Direto) - devido à grande quantidade de poeira no processo fabril como todo, além do risco do pó danificar os equipamentos, o que pode ocasionar principalmente paradas por sobre aquecimento. Sendo assim, uma constante maior em processos internos de manutenção preventivas, como Termografia, limpeza e lubrificação, etc. pode gerar ganhos energéticos de 0,5% a 4% para força motriz, 0,5% a 5% para calor de processo e aquecimento direto (conforme informações obtidas nas visitas) dependendo da planta e equipamentos.

TPM nas empilhadeiras – manutenção se deve para não ocorrer problemas com o processo logístico, vindo a prejudicar os demais processos, além do próprio consumo do equipamento. A manutenção pode gerar uma melhora de 0,5% a 4% do consumo energético (conforme informações obtidas nas visitas), dependendo da planta e potência do motor.

Caldeira recuperativa - Reaproveitamento de calor dos fornos para aquecimento do ambiente, ou até em outros processos internos ou externos. A recuperação do calor mais a sua economia dependerá diretamente dos processos que geram o calor e dos que utilizam esse calor. Adotando-se a premissa de melhoria de 5% a 25% (conforme informações obtidas nas visitas).

Plano de troca e limpeza de queimadores direto – com a utilização constante e a qualidade do gás natural fornecido, é comum a criação de cristais no bico do queimador, podendo ocasionar o entupimento parcial ou até a perda do mesmo. Sendo assim, torna-se necessária a criação de um plano de troca/limpeza desses equipamentos, para não perder a eficiência da queima no equipamento, ou ter alteração indireta na curva de temperatura desnecessariamente (forçando o funcionamento de um queimador devido o entupimento

do outro). Adotou-se a premissa de melhoria de 0,5% a 15% (conforme informações obtidas nas visitas), dependendo da planta e situação de manutenção.

Troca/Manutenção Atomizador - Após a vida útil de operação, que pode variar conforme a utilização da planta, o atomizador deverá passar por uma manutenção geral/troca do equipamento, pois com o passar dos anos o equipamento deixa de ser eficiente tanto produtiva quanto energeticamente. Adicionalmente, observa-se a chegada no mercado de equipamentos mais eficientes. Conforme dados obtidos na pesquisa, esses valores de perda produtivas e energéticas dependerá da planta, e adotou-se como premissa uma melhoria de 0 a 25% (conforme informações obtidas nas visitas).

Troca/Manutenção – Forno e Secador - Após a vida útil de operação, que pode variar conforme a utilização da planta, o equipamento deverá passar por uma manutenção geral/troca, pois com o passar dos anos o equipamento deixa de ser eficiente tanto produtiva quanto energeticamente. Conforme dados obtidos na pesquisa, esses valores de perda produtivas e energéticas dependerá de cada planta, mas adotou-se como premissa uma melhoria de no máximo (ideal) 60% para forno e 40% para secador.

TPM no sistema de Ar condicionado – manutenção constante, principalmente a limpeza dos equipamentos, devido à grande quantidade de pó no processo fabril. O pó pode ocasionar a parada do equipamento, que são responsáveis pelo condicionamento de painéis elétricos/comandos. Adotou-se a premissa de melhoria de 0% a 4% (conforme informação obtidas nas visitas) e de dependendo da planta e os equipamentos condicionados.

Troca de lâmpadas de LED e instalação de telha translúcida – troca/instalação de lâmpadas energeticamente eficientes (LED), em locais onde é permitida. Além do menor consumo de energia, a troca leva à maior vida útil da lâmpada e à padronização de itens de manutenção (gerando menor custo de estoque de manutenção). Adotou-se como premissa de melhoria de 5% a 60%, o que dependerá do projeto de iluminação, conforme a NBR5410 e as lâmpadas utilizadas atualmente. Na instalação de telhas translúcidas, consegue-se uma redução na utilização de luz elétrica no período do dia, aproveitando a luz do sol com uma premissa de horas de sol úteis de 2.368,3 h/Ano de Brasília-DF.

Os valores dos equipamentos podem variar conforme a especificação técnica, e não fora considerado os valores de: impostos; transporte e instalações.

A seguir são destacadas as medidas nas quais foi verificado o maior potencial de economia de energia, relativas aos usos finais que mais consomem energia:

- Força Motriz: 3,61% a troca de motores de alto rendimento;
- Força Motriz: 2,78% a troca/manutenção compressores de ar
- Força Motriz: 1,54% a instalação de inversores de frequência;
- Aquecimento Direto: 2,75% a troca/manutenção atomizador;
- Aquecimento Direto: 1,70% a troca/ manutenção forno.

Sobre o item 'Caldeira recuperativa', relativo à medida de reaproveitamento de calor dos fornos para aquecimento de ambiente ou até mesmo para cogeração de energia, ressalta-se que o percentual de economia de energia apresentado está baseado em dados da pesquisa de campo, mas pode variar conforme o processo produtivo da geração de calor.

<b>FORMAS DE ENERGIA (tep/t)</b>	<b>FORÇA MOTRIZ</b>	<b>CALOR DE PROCESSO</b>	<b>AQUECIMENTO DIRETO</b>	<b>REFRIGERAÇÃO</b>	<b>ILUMINAÇÃO</b>	<b>TOTAL (%)</b>
Gás Natural	-	0,00079	0,02117	-	-	<b>36,52%</b>
Carvão Vapor	-	-	0,03405	-	-	<b>53,54%</b>
Óleo Diesel	0,00004	-	-	-	-	<b>2,22%</b>
Óleo Combustível	-	-	0,05066	-	-	<b>35,29%</b>
GLP	0,00002	-	-	-	-	<b>5,48%</b>
Eletricidade	0,00048	-	0,00003	0,00017	0,00032	<b>11,23%</b>
<b>TOTAL (%)</b>	<b>5,34%</b>	<b>17,42%</b>	<b>40,30%</b>	<b>29,55%</b>	<b>69,05%</b>	<b>38,68%</b>

**Tabela 22** – Potencial de economia – cerâmica branca.

**Fonte: Elaboração própria.**

## 5. c. Subsegmento Vidro

### 5. c. i. Situação atual

#### **Produção, etapas de processo e equipamentos utilizados**

O processo de produção de vidro é o que mais se difere dos três subsegmentos do setor cerâmico. Os únicos energéticos utilizados no processo são eletricidade e gás natural.

A preparação da massa para entrar no processo pode ser feita ou não dentro da própria fábrica. Quando a indústria não compra a matéria-prima já preparada para entrar no processo, a mesma passa por etapas de moagem, peneiramento, secagem e análise.

Com a matéria-prima já preparada entrando no processo, o primeiro passo é preparar a massa de vidro em forno de fusão, que pode ser contínuo ou em batelada. Após a fusão do vidro, a massa passa pelo processo de afinação para que fique homogênea, e então é resfriada para a temperatura ideal para o restante do processo.

Já fundido e na temperatura ideal, a massa é levada para o processo de conformação, que é a etapa que possui diferenças dependendo do tipo de vidro que se quer fabricar. Para vidros planos, pode-se usar o banho de estanho para a conformação da peça ou a laminação a rolos. Para a produção de embalagens de vidro, pode-se utilizar ar comprimido no processo soprado-soprado, ou uma compressão em molde no processo prensado-soprado.

Após conformado, o vidro passa pelo processo de resfriamento em câmara de recozimento e então segue para as operações secundárias que também variam com o tipo de vidro a ser fabricado, podendo ser curvamento, decoração, espelhamento, entre outros.



**Figura 29** - Macro etapas do processo de produção de vidro.

Após todo o processo de fabricação, as peças passam por um controle de qualidade antes de irem para embalagem e expedição.

Segue abaixo um esquema para se visualizar as finalidades energéticas presentes nas etapas do processo de produção.

Força Motriz	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presente em todas as etapas, através de, por exemplo, motores para funcionamento de máquinas e deslocamento de empilhadeiras.</li> </ul>
Aquecimento Direto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Refere-se as etapas de queima e secagem, onde mais se consome energia térmica no processo, que é feita no forno e secador.</li> </ul>
Refrigeração	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Representado mais pela parte administrativa e de laboratórios de teste e análise dentro da fábrica.</li> </ul>
Iluminação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presente em todas as etapas, através das lâmpadas usadas para iluminação local.</li> </ul>

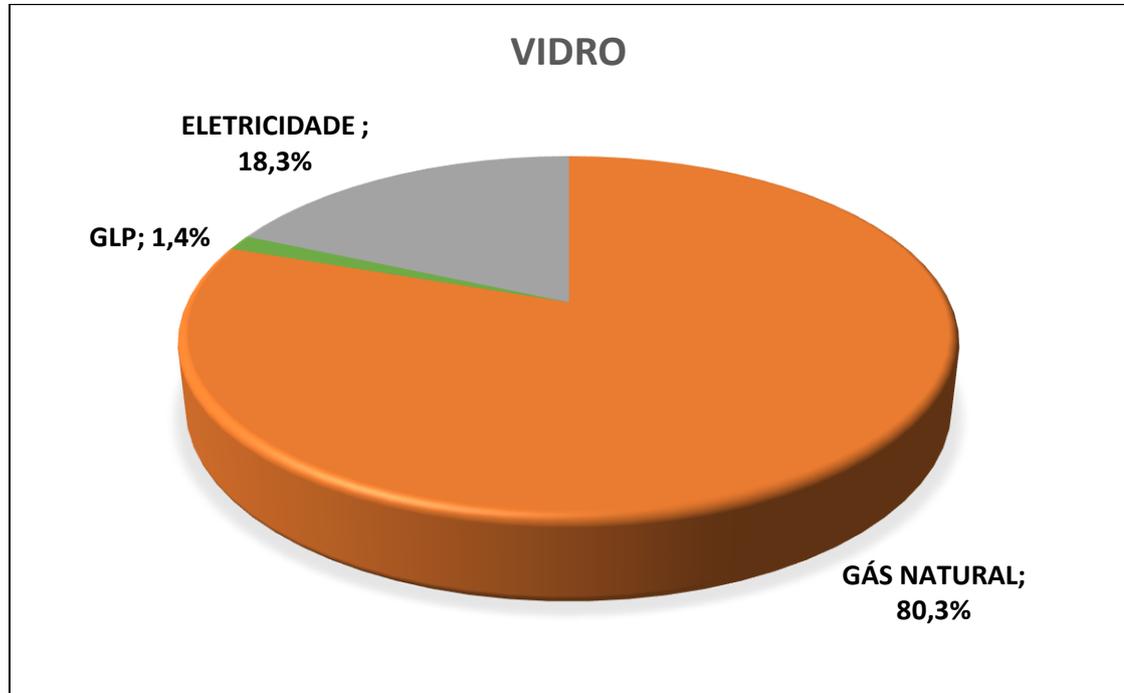
**Figura 30** - Etapas de processo para cada serviço energético em cerâmica branca.

### Fontes de energia

As indústrias vidreiras utilizam a energia elétrica em quase todas as etapas do processo, desde a preparação da massa em misturadores e peneiras, até mesmo no próprio forno e operações secundárias. A eletricidade é fornecida pela rede de energia.

Em relação à energia térmica, vemos que todas utilizam o gás natural como fonte de energia térmica, principalmente na etapa de fundição e tempera. Em alguns casos, o gás natural também é utilizado em força motriz.

Em algumas empresas, emprega-se ainda a utilização do GLP com finalidade a força motriz, onde são utilizados em motores para deslocamento de carregadores, em sua maioria.



**Gráfico 26** - Consumo energético do subsegmento de vidro.  
**Fonte:** Elaboração própria com base nos dados de campo.

### Principais equipamentos consumidores de energia

As plantas do segmento vidreiro utilizam eletricidade em praticamente todas as etapas, porém, existem alguns equipamentos que consomem uma porcentagem mais significativa de eletricidade comparado a outros. Entre os equipamentos energointensivos temos: o apoio elétrico do alto forno (boosting), forno de recozimento, ventiladores, compressores, entre outros. Já os equipamentos que mais consomem energia térmica no subsegmento de vidro, que no caso vem do gás natural, são o alto forno, forno de recozimento e forno de estanho.

### Indicadores energéticos

A partir da pesquisa realizada, o consumo específico médio atual para o subsegmento de vidro é de aproximadamente 0,18261 tep/t, feito por média ponderada pela produção de cada planta de vidro, tendo um consumo específico mínimo de 0,14477 tep/t e um máximo de 0,27332 tep/t.

Em relação a energia elétrica, foi observado um consumo específico médio atual de aproximadamente 0,03033 tep/t (352,67 kWh/t).

Em relação a energia térmica, foi observado um consumo específico médio atual de aproximadamente 0,15227 tep/t.

Rendimento energético:

FORMAS DE ENERGIA	RENDIMENTO ENERGÉTICO (%)						
	Força Motriz	Calor de Processo	Aquecimento Direto	Refrigeração	Iluminação	Eletroquímica	Outras
Gás Natural	34%	-	89%	-	-	-	-
GLP	28%	-	-	-	-	-	-
Eletricidade	91%	-	60%	64%	48%	-	-

**Tabela 23** - Rendimento energético atual do segmento de vidro.

**Fonte: Elaboração própria.**

Coefficientes de Destinação

FORMAS DE ENERGIA	COEFICIENTE DE DESTINAÇÃO (%)						
	Força Motriz	Calor de Processo	Aquecimento Direto	Refrigeração	Iluminação	Eletroquímica	Outras
Gás Natural	2%	-	98%	-	-	-	-
GLP	100%	-	-	-	-	-	-
Eletricidade	54%	-	29%	12%	5%	-	-

**Tabela 24** – Coeficiente de destinação atual do segmento de vidro.

**Fonte: Elaboração própria.**

**Investimento necessárias para reposição de equipamentos**

Abaixo seguem os investimentos médios referentes a reposição de equipamentos atualmente utilizados no setor e que poderiam ser trocados por outros mais eficientes.

EQUIPAMENTO	INVESTIMENTO ATUAL
Compressores de Ar	R\$45.000
Motor de 300CV	R\$57.283
Torre de resfriamento	R\$69.767
Ar condicionados	R\$185.370
Ventilador de combustão com motor 300CV	R\$212.576
Ventiladores com motor 300CV	R\$647.647
Ventilador de Maquina	R\$689.745
Ventilador de Forno	R\$703.976
Forno de recozimento	R\$969.489
Forno de recozimento - Float	R\$4.529.980

<i>EQUIPAMENTO</i>	<i>INVESTIMENTO ATUAL</i>
Forno de Estanho	R\$10.519.600
Alto Forno	R\$10.847.200

Nota: Para equipamentos em valores dólar americano fora considerado a taxa do dólar do dia 22/05/2018 R\$3,64 (<https://economia.uol.com.br/cotacoes/cambio/dolar-comercial-estados-unidos>).

**Tabela 25** - Investimento na situação atual – vidro.

**Fonte: WEG, Alibaba – Machinery, Made-in-China.com – Industrial Equipment & Components, Dados de pesquisa de campo. Todos do ano base de 2018**

Os valores dos equipamentos podem variar conforme a especificação técnica, e não fora considerado os valores de: impostos; transporte e instalações.

## 5. c. ii. Condições com tecnologias mais eficientes

### **Produção, etapas de processo e oportunidades de eficiência energética**

No cenário alternativo, as etapas de processo produtivo continuarão sendo as mesmas.

O controle de consumo dos energéticos no processo de queima, o controle de temperatura interna (calor da massa vítrea) e pontos externos dos equipamentos para não ocorrer perda térmica (que são os maiores consumidores de energia térmica), podem ser destacados como oportunidades de eficiência energética. Além da atualização dos equipamentos consumidores de eletricidade por equipamentos atuais e mais eficientes.

### **Fontes de energia**

Em relação aos energéticos utilizados, no cenário mais eficiente, a energia elétrica continuará sendo usada primordialmente para iluminação, refrigeração e força motriz, com uma contribuição em aquecimento direto.

Em relação ao gás natural, o mesmo continuará sendo usado para aquecimento direto e força motriz. Embora o aquecimento direto seja suprido em parte por energia elétrica, a maior contribuição vem do gás natural, tendo neste cenário uma concentração ainda maior para essa finalidade.

Assim como o GLP continuará sendo usado para força motriz.

### **Principais equipamentos consumidores de energia**

Os principais equipamentos consumidores continuarão sendo os mesmos, porém com as medidas de eficiência aplicadas.

## Indicadores energéticos

O consumo específico médio mais eficiente para o subsegmento de vidro é de aproximadamente 0,16648 tep/t.

Em relação a energia elétrica, temos um consumo específico médio mais eficiente de aproximadamente 0,02456 tep/t.

Em relação a energia térmica, temos um consumo específico médio mais eficiente de aproximadamente 0,14192 tep/t.

## Rendimento energético

FORMAS DE ENERGIA	RENDIMENTO ENERGÉTICO (%)						
	Força Motriz	Calor de Processo	Aquecimento Direto	Refrigeração	Iluminação	Eletroquímica	Outras
Gás Natural	45%	-	95%	-	-	-	-
GLP	30%	-	-	-	-	-	-
Eletricidade	95,5%	-	95%	90%	85%	-	-

**Tabela 26** - Rendimento energético mais eficiente do segmento de vidro.

**Fonte: Elaboração própria com base em HTL Brasil, WEG, Yale, informações de campo, conhecimento do consultor.**

## Coeficientes de Destinação

FORMAS DE ENERGIA	COEFICIENTE DE DESTINAÇÃO (%)						
	Força Motriz	Calor de Processo	Aquecimento Direto	Refrigeração	Iluminação	Eletroquímica	Outras
Gás Natural	1%	-	99%	-	-	-	-
GLP	100%	-	-	-	-	-	-
Eletricidade	62%	-	22%	12%	4%	-	-

**Tabela 27** – Coeficiente de destinação mais eficiente do segmento de vidro.

**Fonte: Elaboração própria.**

## Investimentos necessários para reposição de equipamentos de tecnologia mais eficiente

EQUIPAMENTO	INVESTIMENTO ATUAL	INVESTIMENTO MAIS EFICIENTE
Motor de 300CV	R\$45.000	R\$85.000
Torre de resfriamento	R\$57.283	R\$97.033
Compressores de Ar	R\$69.767	R\$175.829
Ventilador de combustão com motor 300CV	R\$185.370	R\$240.240
Ar condicionados	R\$212.576	R\$331.250

<i>EQUIPAMENTO</i>	<i>INVESTIMENTO ATUAL</i>	<i>INVESTIMENTO MAIS EFICIENTE</i>
Ventilador de Máquina	R\$647.647	R\$833.467
Ventilador de Forno	R\$689.745	R\$837.200
Ventiladores com motor 300CV	R\$703.976	R\$946.400
Forno de recozimento	R\$969.489	R\$2.082.889
Forno de recozimento - Float	R\$4.529.980	R\$5.005.000
Forno de Estanho	R\$10.519.600	R\$12.321.400
Alto Forno	R\$10.847.200	R\$15.562.517

Para equipamentos em valores dólar americano fora considerado a taxa do dólar do dia 22/05/2018 R\$3,64 (<https://economia.uol.com.br/cotacoes/cambio/dolar-comercial-estados-unidos>).

**Tabela 28** – Comparação do Investimento de equipamentos na situação mais eficiente com o equivalente na situação atual – vidro.

**Fonte: WEG, Alibaba – Machinery, Made-in-China.com – Industrial Equipment & Components, Dados de pesquisa de campo. Todos do ano base de 2018.**

A seguir são apresentadas medidas de eficiência energética identificadas para o setor de vidro. Para cada medida são apresentados os custos para reposição do equipamento atual (quando aplicável), o custo do equipamento eficiente, o percentual de economia de energia e economia por tonelada produzida.

<i>EQUIPAMENTO E MEDIDAS DE MELHORIA</i>	<i>INVESTIMENTO ATUAL<sup>1</sup> (R\$/ton produzida)</i>	<i>INVESTIMENTO MAIS EFICIENTE<sup>1</sup> (R\$/ton produzida)</i>	<i>% ECONOMIA DE ENERGIA</i>	<i>ECONOMIA DE ENERGIA (tep/ton produzida)</i>
Troca de motores de alto rendimento em ventilação	8,74	11,07	1,38%	0,00021
Troca/Manutenção compressores de ar alta	-	2,66	1,66%	0,00032
Troca/Manutenção compressores de ar baixa	-	1,68	1,28%	0,00027
TPM – MO interna	-	0,11	0,29%	0,00010
TPM nas empilhadeiras	-	0,23	1,05%	0,00006
Apoio elétrico (Boosting), planejamento de TPM e utilização	-	0,61	3,38%	0,00040
Troca/Manutenção nos fornos de recozimentos	13,96	17,63	0,78%	0,00020
Troca/Manutenção Forno de estanho	42,76	50,09	2,00%	0,00007
Troca/Manutenção Alto Forno	70,62	76,94	1,28%	0,00221
Troca/Manutenção Lehr (GN)	28,14	20,35	0,38%	0,00065
Plano de troca ou limpeza de queimadores (GN)	-	0,88	0,41%	0,00049
Troca/Manutenção torre de resfriamento de água	1,03	1,44	1,36%	0,00009

<i>EQUIPAMENTO E MEDIDAS DE MELHORIA</i>	<i>INVESTIMENTO ATUAL<sup>1</sup> (R\$/ton produzida)</i>	<i>INVESTIMENTO MAIS EFICIENTE<sup>1</sup> (R\$/ton produzida)</i>	<i>% ECONOMIA DE ENERGIA</i>	<i>ECONOMIA DE ENERGIA (tep/ton produzida)</i>
TPM no sistema de ar condicionado	-	0,49	0,38%	0,00002
Troca de lâmpadas de LED e instalação de telha translúcidas	-	8,61	63,52%	0,00251

<sup>1</sup> Para equipamentos em valores dólar americano fora considerado a taxa do dólar do dia 22/05/2018 R\$3,64 (<https://economia.uol.com.br/cotacoes/cambio/dolar-comercial-estados-unidos>).

<sup>2</sup> TPM = Total productive maintenance.

**Tabela 29** - Investimento médio na situação melhorada – vidro.

**Fonte: WEG, Alibaba – Machinery, Made-in-China.com – Industrial Equipment & Components, Dados de pesquisa de campo. Todos do ano base de 2018**

Sendo cada medida caracterizada por:

Troca de motores de alto rendimento – substituição do motor atual que apresente desgaste, grande quantidade de manutenção, hiperdimensionado, por motor mais moderno com rendimento de 93% (conforme informações obtidas nas visitas e com o fabricante WEG). Adotou-se a premissa de ganhos de 2% a 6% após a troca, dependendo da planta e potência do motor.

Troca/Manutenção - Compressores de Ar Alta e Ar Baixa - Após a vida útil de operação, que pode variar conforme a utilização da planta, o compressor de ar deverá passar por uma manutenção geral/troca do equipamento, pois com o passar dos anos o equipamento deixa de ser eficiente tanto produtiva quanto energeticamente. Adicionalmente, observa-se a chegada no mercado de equipamentos mais eficientes. Conforme dados obtidos na pesquisa, esses valores de perda produtivas e energéticas dependerá da planta, e adotou-se como premissa uma melhoria de 0 a 45% para ambos os tipos de compressores (conforme informações obtidas nas visitas).

TPM - MO Interna (Força Motriz, Aquecimento Direto) - devido à grande quantidade de poeira no processo fabril como todo, além do risco do pó danificar os equipamentos, o que pode ocasionar principalmente paradas por sobre aquecimento. Sendo assim, uma constante maior em processos internos de manutenção preventivas, como Termografia, limpeza e lubrificação, etc. pode gerar ganhos energéticos de 0,5% a 4% para força motriz e 0,5% a 5% para aquecimento direto (conforme informações obtidas nas visitas), dependendo da planta e equipamentos.

TPM nas empilhadeiras – manutenção se deve para não ocorrer problemas com o processo logístico, vindo a prejudicar os demais processos, além do próprio consumo do equipamento. A manutenção pode gerar uma melhora de 0,5% a 4% do consumo energético (conforme informações obtidas nas visitas), dependendo da planta e potência do motor.

Apoio elétrico (Boosting), planejamento de TPM e utilização - melhoria na modernização do equipamento, melhorando a eficiência no aquecimento. Segundo informações de empresas, com a troca/reparo geral pode-se gerar uma melhora de até 4,5%.

Troca/Manutenção - Fornos de Recozimentos (elétricos) e Forno de Estanho - Após a vida útil de operação, que pode variar conforme a utilização da planta, os fornos deverão passar por uma manutenção geral/troca do equipamento, pois com o passar dos anos o equipamento deixa de ser eficiente tanto produtiva quanto energeticamente. Adicionalmente pode-se observar riscos de perdas das estruturas internas, resistências danificadas, termopares, diminuição da espessura das esteiras transportadora, perda de isolante térmicos, etc. Conforme dados obtidos na pesquisa, esses valores de perda produtivas e energéticas dependerá da planta, e adotou-se como premissa uma melhoria de no máximo (ideal) 40% para ambos os tipos de fornos (visando não impactar a produção).

Troca/Manutenção Alto Forno – a vida útil do alto forno é variável conforme a produção da planta, por isso são realizadas verificações constantes de consumo, produção, estruturais (interno e externos), controle de temperatura, etc. Dependendo da situação do forno, em conjunto com a definição estratégica da empresa, é definido o tipo de manutenção, que podendo ser:

- Reparo menor/rápido (Minor Repair) – são trocadas somente os refratários e estruturas essenciais, podendo ser realizado a frio (sem vidro interno a temperatura ambiente) ou a quente (sem vidro, porém pré-aquecido – para esse tipo de serviço é utilizada roupas especiais de alta temperatura);
- Reparo grande (Major Repair) - é realizado uma análise antecipada do que poderá ser reaproveitado da estrutura metálica, porém é mais comum a utilização apenas da base estrutural, e montagem de um novo forno;
- Reparo emergencial - depende da situação da emergência, que infelizmente irá depender da ocorrência da planta.

Adota-se uma premissa de melhoria de 10% a 30% no consumo energético (conforme informações obtidas nas visitas).

Troca/Manutenção Lehr (GN) - Após a vida útil de operação, que pode variar conforme a utilização da planta, o lehr deverá passar por uma manutenção geral/troca do equipamento, pois com o passar dos anos o equipamento deixa de ser eficiente tanto produtiva quanto energeticamente. Adicionalmente, observam-se riscos de perdas das estruturas internas, queimadores entupidos/danificados, termopares danificados, diminuição da espessura das esteiras transportadora, perda de isolante térmicos, etc. Conforme dados obtidos na pesquisa, esses valores de perda produtivas e energéticas dependerá da planta, e adotou-se como premissa uma melhoria de no máximo (ideal) 40% (visando não impactar a produção).

Plano de troca e limpeza de queimadores – com a utilização constante e a qualidade do gás natural fornecido, é comum a criação de cristais no bico do queimador, podendo ocasionar o entupimento parcial ou até a perda do mesmo. Sendo assim, torna-se necessária a criação de um plano de troca/limpeza desses equipamentos, para não perder a eficiência da queima no equipamento, ou ter alteração indireta na curva de temperatura desnecessariamente (forçando o funcionamento de um queimador devido o entupimento do outro). Adotou-se a premissa de melhoria de 0,5% a 15% (conforme informações obtidas nas visitas), dependendo da planta e situação de manutenção.

Troca/Manutenção torre de resfriamento de água – devido a utilização constante do equipamento para refrigeração de água industrial, o mesmo sofre com a corrosão, sendo necessária a manutenção constante como lubrificação, Termografia do motor, etc. A torre de resfriamento é de vital importância, já que é responsável por resfriar a água industrial (geralmente em um circuito fechado - tubulações) que é utilizada para resfriamento de alguns equipamentos do alto forno (por exemplos: enforçadores e boosting) e prensas (por exemplos: faca e moldes). Adotou-se a premissa de melhoria de 0% a 4% (conforme informação obtidas nas visitas), dependendo da planta e dos equipamentos condicionados.

TPM no sistema de Ar condicionado – manutenção constante, principalmente a limpeza dos equipamentos, devido à grande quantidade de pó no processo fabril. O pó pode ocasionar a parada do equipamento, que são responsáveis pelo condicionamento de painéis elétricos/comandos. Adotou-se a premissa de melhoria de 0% a 4% (conforme informação obtidas nas visitas) e dependendo da planta e os equipamentos condicionados.

Troca de lâmpadas para LED e instalação de telha translúcida – troca/instalação de lâmpadas energeticamente eficientes (LED), em locais onde é permitida. Além do menor consumo de energia, a troca leva à maior vida útil da lâmpada e à padronização de itens de manutenção (gerando menor custo de estoque de manutenção). Adotou-se como premissa de melhoria de 5% a 60%, o que dependerá do projeto de iluminação, conforme a NBR5410 e as lâmpadas utilizadas atualmente. Na instalação de telhas translúcidas, consegue-se uma redução na utilização de luz elétrica no período do dia, aproveitando a luz do sol com uma premissa de horas de sol úteis de 2.368,3 h/Ano de Brasília-DF.

Os valores dos equipamentos podem variar conforme a especificação técnica, e não foram considerados os valores de: impostos; transporte e instalações.

A seguir são destacadas as medidas nas quais foi verificado o maior potencial de economia de energia, relativas aos usos finais que mais consomem energia:

- Força Motriz: 3,25% a troca/Manutenção em ventilação 300CV;
- Força Motriz: 2,08% a troca/Manutenção compressores de ar baixa;
- Força Motriz: 1,85% a troca de motores de alto rendimento em ventilação de máquinas 200CV;
- Força Motriz: 1,79% a troca/Manutenção compressores de ar alta;
- Força Motriz: 1,78% a troca de motores de alto rendimento em ventilação de máquinas 300CV;
- Aquecimento Direto (elétrico): 3,54% o apoio elétrico (Boosting), planejamento de TPM e utilização;
- Aquecimento Direto (elétrico): 2,00% a troca/manutenção Forno de estanho (para o segmento de vidro float);
- Aquecimento Direto (elétrico): 1,15% a troca/manutenção nos fornos de recozimentos (elétricos);
- Aquecimento Direto (Gás Natural): 1,15% a troca/ manutenção forno.

Apesar do equipamento alto forno apresentar um percentual baixo de economia no estudo, foi dado pelo motivo da pesquisa de campo, onde foi constatado que um grande percentual dos altos fornos do segmento de vidro visitados e que estavam com os seu

equipamentos em operação, tiveram recentemente os altos fornos reformados 100% (conceito técnico no segmento de Major Repair) ou reformado parcialmente, ou seja, pontos que estavam apresentando maior atenção por risco de queda/contaminação foram reformados, podendo ser realizado uma reforma a quente ou a frio (conceito técnico no segmento de Minor Repair). Mas alto forno pode a vir a representa aproximadamente 90% do consumo aquecimento direto de gás natural do processo (dados de pesquisa de campos).

<b>FORMAS DE ENERGIA (tep/t)</b>	<b>FORÇA MOTRIZ</b>	<b>AQUECIMENTO DIRETO</b>	<b>REFRIGERAÇÃO</b>	<b>ILUMINAÇÃO</b>	<b>TOTAL (%)</b>
Gás Natural	0,00086	0,00942	-	-	<b>6,80%</b>
GLP	0,00032	-	-	-	<b>6,75%</b>
Eletricidade	0,00089	0,00375	0,00115	0,00077	<b>19,04%</b>
<b>TOTAL (%)</b>	<b>7,73%</b>	<b>8,35%</b>	<b>28,96%</b>	<b>43,12%</b>	<b>9,02%</b>

**Tabela 30** – Potencial de economia – vidro.

**Fonte: Elaboração própria.**

## 6. ANÁLISE DE CONDICIONANTES À PENETREÇÃO DE TECNOLOGIAS EFICIENTES DE ENERGIA POR SUBSEGMENTO.

Entende-se como condicionante algo que condiciona ou restringe a aplicação das medidas de eficiência energética propostas, sendo muito importante a sua avaliação antes de iniciar o plano de implementação destas medidas. Neste estudo irão ser avaliados os condicionantes técnicos, econômico-financeiros, e outros condicionantes adicionais para cada subsegmento.

### 6. a. Subsegmento Cerâmica Vermelha

#### 6. a. i. Condicionantes Técnicos

Nas medidas de eficiência energética, que são consideradas no subsegmento de cerâmica vermelha, predominam o uso de força motriz (coeficiente de destinação: 91,2%) para energia elétrica e aquecimento direto para combustível de origem da madeira (cavaco, serragem, lenha, etc.), e os não predominantes para energia elétrica como iluminação (coeficiente de destinação: 7,5%) e refrigeração (coeficiente de destinação: 1,3%). Já as outras fontes de energia destinadas para força motriz, como óleo diesel e o GLP, possuem uma participação menor.

No caso da aplicação para força motriz é considerada a atualização dos motores, pois foram identificados alguns casos como: o reaproveitamento de motores antigos (de empresas inexistentes no mercado); aplicação de maneira errônea sendo que o motor instalado é superdimensionado para aplicação em questão; motores com muita manutenção, que ocasiona a perda do seu rendimento de placa; e a compra de motores de origem duvidosa. Mas, como uma medida para eficiência em relação a força motriz, temos a implantação de motores de alto rendimento, apresentando um rendimento de 93% a 95%, conforme a especificação e fabricante.

Além da implantação gradativa da troca de motores, tem-se a mais a consideração de instalação de inversores de frequência para suavização da rampa de partida do motor, controle da velocidade do motor sem grandes perdas de torque, frenagem direta no motor, além de diversas programações de velocidade, entre outras. Mas a utilização de inversores de frequência tem o seu rendimento muito variável conforme a sua utilização, que pode atingir no máximo de 50% a 10% de economia (conforme o fabricante Yashawa).

No caso da aplicação no aquecimento direto, podem ser consideradas diversas oportunidades como: o controle da umidade do produto a ser secado/queimado; o controle de umidade do energético (estocando o produto em local coberto); padronização do energético a ser utilizado, não realizando alterações que podem ocasionar perda de produto, perda de tempo; o reaproveitamento do ar quente do forno para ser utilizado nos secadores; a troca de secadores/fornos intermitente ou semi contínuo para secadores/fornos contínuos, que são mais eficientes.

Sobre a refrigeração em cerâmicas vermelhas, são utilizados nos equipamentos de controle e inspeção dos secadores/fornos contínuos (painéis de elétricos). Mas, devido a

situação do processo produtivo, é possível encontrar pó em diversas áreas, o que prejudica na refrigeração dos equipamentos, sendo uma ação simples a manutenção constante dos mesmos.

Nas ações de implantação de iluminação, são consideradas apenas a troca de algumas telhas por telhas translúcidas e a instalação de luminárias industriais LED, em locais que são considerados como possíveis (as luminárias industriais LED e as telhas translúcidas não suportam altas temperaturas), visando a melhoria da eficiência energética.

Sobre os energéticos: óleo diesel e GLP, que são utilizados para força motriz, são realizadas manutenções externas e a e como a principal oportunidade de melhoria da eficiência energética a conscientização dos operadores na utilização e verificação constante (TPM/Check list).

## **6. a. ii. Condicionantes econômico-financeiros**

Sobre os motores, é possível constatar que os custos de operação acabam por se tornar muito superiores aos custos iniciais de aquisição e instalação, tendo em conta o ciclo de vida útil dos mesmos.

É exatamente por esta razão que os motores de alto rendimento representam uma ótima alternativa.

A matriz de tecnologias inovadoras de uso geral mostra que os motores de alto rendimento e o inversor de frequência já estão bem consolidados no mercado brasileiro e mundial. Seus custos já são praticados como um preço de mercado mesmo, absorvido na cultura da indústria e nos projetos em geral, pois não se comercializam mais motores sem ser de alto rendimento. E sobre os investimentos na área de aquecimento direto, podem ser altos devido à falta de equipamentos nacionalizados e a falta de mão de obra especializada no mercado nacional, sendo necessário às vezes adquirir os equipamentos do mercado Europeu.

Empreendedores têm à sua mão soluções desenhadas com consultorias de energia, empresas de eficiência energética, linhas de crédito do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) ou chamadas públicas de distribuidoras de energia. Por sua vez, os fabricantes de máquinas mantêm planos de troca de motores elétricos, nos quais concedem desconto de até 12% no valor de aquisição do novo motor na entrega do equipamento antigo.

Os principais fatores econômicos que devem ser considerados numa hipotética situação de substituição, por exemplo, de um motor standard por um de alto rendimento, são os seguintes:

- **Custo da energia:** O custo do kWh, em geral, varia conforme o tipo de consumidor e concessionária, e é muito importante para saber se vale a pena investir em um novo motor ou não. Também pode variar em função do tipo de contrato entre consumidor e concessionária.

- **Taxas e juros:** É indispensável conhecer as taxas em vigor, de modo que possa proceder a uma análise econômica eficiente.
- **Vida útil:** Uma vez que a possível economia que o motor de alto rendimento irá proporcionar ocorrerá ao longo da sua vida útil, torna-se necessário estimar qual a vida útil do motor.

As lâmpadas de LED têm ainda seu custo elevado, mas ao longo do tempo são mais vantajosas, pois geram um ganho energético de aproximadamente 60%, comparadas com as lâmpadas de vapor de sódio. Essa economia de energia permite a amortização das lâmpadas em um período relativamente curto. Juntamente com a instalação de telhas translúcidas em locais que são possíveis a sua utilização, pois a grande maioria não suporta calor intenso.

No caso dos inversores de frequência, do mesmo modo que no caso das LED, devem ser feitos estudos técnicos/financeiros, avaliando o potencial de economia versus o seu custo.

O investimento realizado na troca dessas tecnologias, (motores de alto rendimento, inversores de frequência e lâmpadas LED), apresentadas ao longo do estudo, é amortizado pela energia economizada, onde um fluxo de caixa deverá mostrar essa equação onde poderá se verificar em quanto tempo se paga a troca de tecnologia.

Para os novos projetos é muito importante que as empresas de engenharia já desenvolvam seus projetos utilizando esses tipos de equipamentos mais eficientes, demonstrando seus ganhos aos clientes.

Sobre os energéticos: óleo diesel e GLP, que são utilizados para força motriz, irão depender muito da situação do equipamento, pois o processo de manutenção é externo e dependendo da necessidade pode ocasionar um custo mais alto ou mais baixo, não sendo possível obter um custo correto.

### **6. a. iii. Outros condicionantes**

Um grande condicionante está nas pessoas que operam os equipamentos e tomam conta das plantas industriais. Deve-se visar pela formação e contratação de profissionais capacitados na questão de energia, pois eles podem atuar tanto em projetos, garantindo que as tecnologias mais eficientes sejam utilizadas, quanto na operação também, auxiliando no uso dessas tecnologias.

Uma alternativa muito boa para essa consciência de eficiência energética é o emprego da ISO 50.001, que demonstra o mínimo necessário para ter um consumo energético eficiente.

## 6. b. Subsegmento Cerâmica Branca

### 6. b. i. Condicionantes Técnicos

Nas medidas de eficiência energética que são consideradas no subsegmento de cerâmica branca, é predominante o uso de força motriz (coeficiente de destinação: 87%) para energia elétrica e aquecimento direto em grande parte utilizando gás natural ou com a utilização de outros combustíveis (como óleo combustível e carvão mineral), e os não predominantes para energia elétrica, como iluminação (coeficiente de destinação: 5%) e refrigeração (coeficiente de destinação: 7%). Já as outras fontes de energia destinadas à força motriz, como óleo diesel e o GLP, possuem uma participação menor.

No caso da aplicação para força motriz, é considerada a atualização dos motores, pois foram identificados alguns casos como: aplicação de maneira errônea sendo que o motor instalado é superdimensionado para aplicação em questão; motores com muita manutenção, que ocasiona a perda do seu rendimento de placa; e a compra de motores de origem duvidosa. Mas, como uma medida para eficiência em relação a força motriz, temos a implantação de motores de alto rendimento, apresentando um rendimento de 93% a 95%, conforme a especificação e fabricante.

Além da implantação gradativa da troca de motores, tem-se a mais a consideração de instalação de inversores de frequência para suavização da rampa de partida do motor, controle da velocidade do motor sem grandes perdas de torque, frenagem direta no motor, além de diversas programações de velocidade, entre outras. Mas a utilização de inversores de frequência tem o seu rendimento muito variável conforme a sua utilização, que pode atingir no máximo de 50% a 10% de economia (conforme o fabricante Yashawa).

No caso da aplicação no aquecimento direto, podem ser consideradas diversas oportunidades como: a troca/limpeza dos queimadores; reaproveitamento do ar quente das seções de queima para outras seções ou até mesmo nos secadores; o reaproveitamento do ar quente para cogeração de energia elétrica, etc.

Sobre a refrigeração em cerâmica branca, são utilizados nos equipamentos de controle e inspeção dos secadores/fornos contínuos (painéis de elétricos), ou até de um departamento de qualidade. Mas, devido a situação do processo produtivo, é possível encontrar pó em diversas áreas, o que prejudica na refrigeração dos equipamentos, sendo uma ação simples a manutenção constante dos mesmos.

Nas ações de implantação de iluminação, são consideradas apenas a troca de algumas telhas por telhas translúcidas e a instalação de luminárias industriais LED, em locais que são considerados como possíveis (as luminárias industriais LED e as telhas translúcidas não suportam altas temperaturas), visando a melhoria da eficiência energética.

Sobre os energéticos: óleo diesel e GLP, que são utilizados para força motriz, são realizadas manutenções externas, e como a principal oportunidade de melhoria tem-se a conscientização dos operadores sobre a utilização e verificação constante dos equipamentos (TPM/Check list).

## 6. b. ii. Condicionantes econômico-financeiros

Sobre os motores, é possível constatar que os custos de operação acabam por se tornar muito superiores aos custos iniciais de aquisição e instalação, tendo em conta o ciclo de vida útil dos mesmos.

É exatamente por esta razão que os motores de alto rendimento representam uma ótima alternativa.

A matriz de tecnologias inovadoras de uso geral mostra que os motores de alto rendimento e o inversor de frequência já estão bem consolidados no mercado brasileiro e mundial. Seus custos já são praticados como um preço de mercado mesmo, absorvido na cultura da indústria e nos projetos em geral, pois não se comercializam mais motores sem ser de alto rendimento. E sobre os investimentos na área de aquecimento direto, podem ser altos devido à falta de equipamentos nacionalizados e a falta de mão de obra especializada no mercado nacional, sendo necessário às vezes adquirir os equipamentos do mercado Europeu.

Empreendedores têm à sua mão soluções desenhadas com consultorias de energia, empresas de eficiência energética, linhas de crédito do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) ou chamadas públicas de distribuidoras de energia. Por sua vez, os fabricantes de máquinas mantêm planos de troca de motores elétricos, nos quais concedem desconto de até 12% no valor de aquisição do novo motor na entrega do equipamento antigo. Mas de certa maneira, as empresas também acabam optando por um controle de CAPEX (Capital Expenditure), onde se encontram os principais investimentos com seus respectivos retornos financeiros, que por sua vez são analisados pelos seus investidores/donos.

Os principais fatores econômicos que devem ser considerados numa hipotética situação de substituição, por exemplo, de um motor standard por um de alto rendimento, são os seguintes:

- **Custo da energia:** O custo do kWh, em geral, varia conforme o tipo de consumidor e concessionária, e é muito importante para saber se vale a pena investir em um novo motor ou não. Também pode variar em função do tipo de contrato entre consumidor e concessionária.
- **Taxas e juros:** É indispensável conhecer as taxas em vigor, de modo que possa proceder a uma análise econômica eficiente.
- **Vida útil:** Uma vez que a possível economia que o motor de alto rendimento irá proporcionar ocorrerá ao longo da sua vida útil, torna-se necessário estimar qual a vida útil do motor.

As lâmpadas de LED têm ainda seu custo elevado, mas ao longo do tempo são mais vantajosas, pois geram um ganho energético de aproximadamente 60%, comparadas com as lâmpadas de vapor de sódio. Essa economia de energia permite a amortização das lâmpadas em um período relativamente curto. Juntamente com a instalação de telhas translúcidas em locais que são possíveis a sua utilização, pois a grande maioria não suporta calor intenso e pode atrapalhar nos sistemas de inspeção.

No caso dos inversores de frequência, do mesmo modo que no caso das LED, devem ser feitos estudos técnicos/financeiros, avaliando o potencial de economia versus o seu custo.

O investimento realizado na troca dessas tecnologias, (motores de alto rendimento, inversores de frequência e lâmpadas LED), apresentadas ao longo do estudo, é amortizado pela energia economizada, onde um fluxo de caixa deverá mostrar essa equação onde poderá se verificar em quanto tempo se paga a troca de tecnologia.

Para os novos projetos é muito importante que as empresas de engenharia já desenvolvam seus projetos utilizando esses tipos de equipamentos mais eficientes, demonstrando seus ganhos aos clientes.

Sobre os energéticos: óleo diesel e GLP, que são utilizados para força motriz, irão depender muito da situação do equipamento, pois o processo de manutenção é externo e dependendo da necessidade pode ocasionar um custo mais alto ou mais baixo, não sendo possível obter um custo correto.

### **6. b. iii. Outros condicionantes**

Um grande condicionante está nas pessoas que operam os equipamentos e tomam conta das plantas industriais. Deve-se visar pela formação e contratação de profissionais capacitados na questão de energia, pois eles podem atuar tanto em projetos, garantindo que as tecnologias mais eficientes sejam utilizadas, quanto na operação também, auxiliando no uso dessas tecnologias.

Uma alternativa muito boa para essa consciência de eficiência energética é o emprego da ISO 50.001, que demonstra o mínimo necessário para ter um consumo energético eficiente.

## **6. c. Subsegmento Vidro**

### **6. c. i. Condicionantes Técnicos**

Nas medidas de eficiência energética, que são consideradas no subsegmento de vidro, é o predominante o uso de força motriz (coeficiente de destinação: 54%) para energia elétrica e aquecimento direto, em grande parte utilizando gás natural, (coeficiente de destinação: 98%) e de eletricidade (coeficiente de destinação: 29%), e os não predominantes para energia elétrica como iluminação (coeficiente de destinação: 5%) e refrigeração (coeficiente de destinação: 12%). Já as outras fontes de energia destinadas à força motriz, como o GLP, possuem uma participação menor.

No caso da aplicação para força motriz, é considerada a atualização dos motores, pois foram identificados alguns casos como: aplicação de maneira errônea sendo que o motor instalado é superdimensionado para aplicação em questão; motores com muita manutenção, que ocasiona a perda do seu rendimento de placa; e a compra de motores de origem duvidosa. Mas, como uma medida para eficiência em relação a força motriz,

temos a implantação de motores de alto rendimento, apresentando um rendimento de 93% a 95%, conforme a especificação e fabricante.

No subsegmento vidreiro, é comum que as empresas de médias e grandes portes, utilizem o inversor de frequência nos principais motores, para suavizar a rampa de partida do motor, controlar a velocidade do motor sem grandes perdas de torque, frenagem direta no motor, além de diversas programações de velocidade, entre outras. Caso ocorra a necessidade de atualização de equipamento ou instalação, os inversores de frequência têm seu rendimento muito variável, e conforme a sua utilização podem atingir no máximo de 50% a 10% de economia (conforme nota do fabricante Yashawa).

No caso da aplicação no aquecimento direto, podem ser consideradas diversas oportunidades como: a troca/limpeza dos queimadores; controle de temperatura da massa vidro; controle de temperatura externa (isolamento térmico); reaproveitamento do ar quente das seções de queima para outras seções; utilização da temperatura do produto vidro para utilização no recozimento, etc.

Devido à alta temperatura do alto forno e a formação do vidro, são necessárias cabines de operação e instalação de painéis elétricos refrigerados, para não danificar os equipamentos. Sendo assim, é necessário um sistema de centrais de ar condicionados que consomem uma quantidade de energia elétrica considerada (coeficiente de destinação: 12%), ou ações de melhorias como: sistema de contra porta ou cortina de ventos para diminuir a perda térmica; melhoria no isolamento térmico das salas; manutenção preventiva e corretiva; troca de equipamentos antigos por sistema de água gelada ou centrais de ar condicionados; etc.

Nas ações de implantação de iluminação, são consideradas apenas a troca de algumas telhas por telhas translúcidas e a instalação de luminárias industriais LED, em locais que são considerados como possíveis (as luminárias industriais LED e as telhas translúcidas não suportam altas temperaturas, excesso de claridade pode atrapalhar o sistema de inspeção manual e automática), visando a melhoria da eficiência energética.

Sobre o energético GLP, que é utilizado para força motriz, são realizadas manutenções externas e a conscientização dos operadores. Porém, há empresas que utilizam o gás natural como força motriz (instalando pitstop de abastecimento para suas empilhadeiras). E como a principal oportunidade de melhoria da eficiência energética a conscientização dos operadores na utilização e verificação constante (TPM/Check list).

## **6. c. ii. Condicionantes econômico-financeiros**

Um fator importante do subsegmento de vidro é que 100% das empresas de médio e grande porte compram a sua energia elétrica do mercado livre (sendo necessário pagar pela energia comprada e mais a distribuição da energia – locação da linha de transmissão), e possui empresas consultoras no mercado de energia visando gerenciar a situação do mercado de energia atual e futuro, onde são realizados relatórios e prospectos, podendo obter um preço diferenciado na compra de energia. Por isso que todas as empresas entrevistadas nas pesquisas optaram por não fornecer os dados de custos com energéticos, pois para o segmento se trata do segundo maior custo, ficando atrás do custo

de matérias primas. O mesmo acontece com a aquisição de gás natural que a empresa acaba pagando um valor diferenciado pela faixa de consumo.

Sobre os motores, é possível constatar que os custos de operação acabam por se tornar muito superiores aos custos iniciais de aquisição e instalação, tendo em conta o ciclo de vida útil dos mesmos.

É exatamente por esta razão que os motores de alto rendimento representam uma ótima alternativa.

A matriz de tecnologias inovadoras de uso geral mostra que os motores de alto rendimento e o inversor de frequência já estão bem consolidados no mercado brasileiro e mundial. Seus custos já são praticados como um preço de mercado mesmo, absorvido na cultura da indústria e nos projetos em geral, pois não se comercializam mais motores sem ser de alto rendimento. Já os investimentos na área de aquecimento direto são altos devido ao fato de não haver equipamentos nacionalizados e devido à falta de mão de obra especializada no mercado nacional, sendo necessário importar os equipamentos e projetos. Por exemplo, no alto forno, além do custo de desmontagem, é necessário pagar sobre a destinação dos refratários (aterros); o custo de projeto; material refratários; mão de obra especializada; aquecimento; além do custo operacional.

Empreendedores têm à sua mão soluções desenhadas com consultorias de energia, empresas de eficiência energética, linhas de crédito do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) ou chamadas públicas de distribuidoras de energia. Por sua vez, os fabricantes de máquinas mantêm planos de troca de motores elétricos, nos quais concedem desconto de até 12% no valor de aquisição do novo motor na entrega do equipamento antigo. Mas de certa maneira, as empresas também acabam optando por um controle de CAPEX (Capital Expenditure), onde se encontram os principais investimentos com seus respectivos retornos financeiros, que por sua vez são analisados pelos seus investidores/donos.

Os principais fatores econômicos que devem ser considerados numa hipotética situação de substituição, por exemplo, de um motor standard por um de alto rendimento, são os seguintes:

- **Custo da energia:** O custo do kWh, em geral, varia conforme o tipo de consumidor e concessionária, e é muito importante para saber se vale a pena investir em um novo motor ou não. Também pode variar em função do tipo de contrato entre consumidor e concessionária.
- **Taxas e juros:** É indispensável conhecer as taxas em vigor, de modo que possa proceder a uma análise econômica eficiente.
- **Vida útil:** Uma vez que a possível economia que o motor de alto rendimento irá proporcionar ocorrerá ao longo da sua vida útil, torna-se necessário estimar qual a vida útil do motor.

As lâmpadas de LED têm ainda seu custo elevado, mas ao longo do tempo são mais vantajosas, pois geram um ganho energético de aproximadamente 60%, comparadas com as lâmpadas de vapor de sódio. Essa economia de energia permite a amortização das

lâmpadas em um período relativamente curto. Juntamente com a instalação de telhas translúcidas em locais que são possíveis a sua utilização, pois a grande maioria não suporta calor intenso, o que pode atrapalhar nos sistemas de inspeção.

No caso dos inversores de frequência, do mesmo modo que no caso das LED, devem ser feitos estudos técnicos/financeiros, avaliando o potencial de economia versus o seu custo.

O investimento realizado na troca dessas tecnologias, (motores de alto rendimento, inversores de frequência e lâmpadas LED), apresentadas ao longo do estudo, é amortizado pela energia economizada, onde um fluxo de caixa deverá mostrar essa equação onde poderá se verificar em quanto tempo se paga a troca de tecnologia.

Para os novos projetos é muito importante que as empresas de engenharia já desenvolvam seus projetos utilizando esses tipos de equipamentos mais eficientes, demonstrando seus ganhos aos clientes.

Sobre os energéticos: óleo diesel e GLP, que são utilizados para força motriz, irão depender muito da situação do equipamento, pois o processo de manutenção é externo e dependendo da necessidade pode ocasionar um custo mais alto ou mais baixo, não sendo possível obter um custo correto.

### **6. c. iii. Outros condicionantes**

Um grande condicionante está nas pessoas que operam os equipamentos e tomam conta das plantas industriais. Deve-se visar pela formação e contratação de profissionais capacitados na questão de energia, pois eles podem atuar tanto em projetos, garantindo que as tecnologias mais eficientes sejam utilizadas, quanto na operação também, auxiliando no uso dessas tecnologias.

Uma alternativa muito boa para essa consciência de eficiência energética é o emprego da ISO 50.001, que demonstra o mínimo necessário para ter um consumo energético eficiente.

## 7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O setor cerâmico, dividido em três subsegmentos (cerâmica vermelha, cerâmica branca e vidro) é um segmento heterogêneo, de grande importância econômica e responsável por 1,7% do consumo energético do setor industrial no país, segundo dados do BEN 2017 (EPE - Empresa de Pesquisa Energética, 2017).

A análise do segmento foi feita de acordo com seus dados de produção, consumo energético e tecnologias atuais, possíveis medidas para melhora do consumo energético e as condições potenciais para os subsegmentos estudados.

### Cerâmica Vermelha

O subsegmento de cerâmica vermelha é, entre os três subsegmentos estudados do setor cerâmico, o que apresenta o menor consumo de energia por tonelada produzida.

Em relação ao consumo de energia atual, este subsegmento apresenta os seguintes dados:

	<b>CONSUMO ESPECÍFICO (tep/t)</b>		
	<b>Médio</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
<b>Total</b>	0,04071	0,01166	0,11601
<b>Elétrico</b>	0,00304	0,00114	0,01720
<b>Térmico</b>	0,03767	0,00978	0,11250

**Tabela 31** – Variação do consumo específico – cerâmica vermelha.

**Fonte: Elaboração própria.**

Por meio desses dados podemos perceber que existe uma grande variação de consumo específico, na ordem de 10 vezes no consumo específico total, sendo uma diferença de aproximadamente 15 vezes em energia elétrica e aproximadamente 12 vezes para energia térmica. Conclui-se assim que o subsegmento de cerâmica vermelha não é um subsegmento homogêneo em relação ao consumo energético.

Em relação ao consumo de energia elétrica, foi observado que o nível de automação da planta tem grande influência sobre esse consumo. Sendo assim, um maior consumo de eletricidade por tonelada produzida não está ligado necessariamente à eficiência energética, mas pode estar ligada ao nível de automação do processo produtivo, visto em etapas como a movimentação das peças, inspeção e paletização, além da fabricação de produtos distintos.

Em relação a energia térmica, foi observado que, entre as etapas do processo, a queima é a maior consumidora de energia térmica. Somado a isso, temos alguns fatores que exercem maior influência na variação desse consumo, como o tipo de forno utilizado, manutenção e controle de queima.

Analisando o cenário atual para se aplicar possíveis melhorias, vemos que o setor de cerâmica vermelha é um subsegmento bem homogêneo em relação ao seu processo produtivo, apresentando um processo relativamente simples e com poucas diferenças entre as tecnologias utilizadas.

As maiores diferenças observadas e que impactam diretamente no consumo energético estão no tipo de forno, como mencionado anteriormente, uma vez que esse é um setor que possui diversos tipos de fornos que ainda são empregados nas diversas empresas do mercado e que são responsáveis pela maior parte do consumo de energia térmica do processo e do consumo total de energia da planta. Vemos também diferença no tipo de secagem utilizada, que pode ser natural, sem a utilização de nenhum energético, ou forçada, utilizando secadores ou até mesmo ventiladores. Somando-se a isso, uma prática observada em algumas empresas é a recuperação de calor do forno, que é direcionada para a etapa de secagem, conseqüentemente diminuindo o consumo de energia térmica, uma vez que se necessita de menos queima de lenha, cavaco e/ou serragem para gerar calor para a secagem.

Analisando as possíveis medidas de eficiência energética para se melhorar as condições atuais das plantas, temos a aplicação de medidas padrão, como TPM (*Total Productive Maintenance*) que ajuda a prevenir falhas e eliminar perdas no fluxo de produção, otimizando o processo. Essa medida é aplicável a todas as empresas.

Além da medida de manutenção, temos também medidas mais gerais aplicáveis na maioria das empresas, como a troca da iluminação de lâmpadas comuns para lâmpadas LED, assim como a troca de motores comuns para motores de alto rendimento.

Outras medidas existentes são:

- Instalação de inversor de frequência;
- Troca/Manutenção de equipamento;
- Automatização do processo;
- Instalação de paletizadora;
- Troca de queimadores;
- Instalação de novos secadores;

Considerando o cenário mais eficiente para uma indústria de cerâmica vermelha, a utilização dos melhores equipamentos é representada pelos rendimentos energéticos apresentados na Tabela 10.

Comparando a situação atual com o melhor cenário possível, temos um percentual do potencial de economia de energia em relação à energia utilizada atualmente de:

ENERGÉTICOS	POTENCIAL DE ECONOMIA (%)				
	Força Motriz	Aquecimento Direto	Refrigeração	Iluminação	Total (%)
Eletricidade	6,2%	-	31,2%	68,5%	<b>24,2%</b>
Gás Natural	-	57,1%	-	-	<b>57,1%</b>
Lenha	-	40,4%	-	-	<b>40,4%</b>
Cavaco	-	41,8%	-	-	<b>41,8%</b>
Serragem	-	41,3%	-	-	<b>41,3%</b>
GLP	7,4%	-	-	-	<b>7,4%</b>
Óleo Diesel	2,8%	-	-	-	<b>2,8%</b>
<b>Total (%)</b>	<b>6,1%</b>	<b>41,4%</b>	<b>31,2%</b>	<b>68,5%</b>	<b>39,0%</b>

**Tabela 32** - Potencial de economia de energia na indústria de cerâmica vermelha.

**Fonte: Elaboração própria.**

## Cerâmica Branca

O subsegmento de cerâmica branca é o subsegmento intermediário entre os três do setor cerâmico em relação a energia por tonelada produzida.

Este estudo contempla os resultados analisados dos processos de produção de revestimento cerâmico, louça sanitária e cerâmica refratária.

Em relação ao consumo de energia atual, este subsegmento apresenta os seguintes dados:

	<b>CONSUMO ESPECÍFICO (tep/t)</b>		
	<b>Médio</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
<b>Total</b>	0,10665	0,03735	0,31528
<b>Elétrico</b>	0,00864	0,00223	0,05601
<b>Térmico</b>	0,09801	0,03454	0,26297

**Tabela 33** - Variação do consumo específico – cerâmica branca.

**Fonte: Elaboração própria.**

Por meio desses dados podemos perceber que existe uma grande variação de consumo específico, na ordem de 9 vezes no consumo específico total, sendo uma diferença de aproximadamente 25 vezes em energia elétrica e aproximadamente 8 vezes para energia térmica. Conclui-se assim que o subsegmento de cerâmica branca é um subsegmento heterogêneo em relação ao consumo energético.

Porém, percebemos que para este subsegmento é válido realizar a análise por tipo de produto, devido suas particularidades no processo produtivo.

	<b>CONSUMO ESPECÍFICO (tep/t)</b>		
	<b>Total</b>	<b>Elétrico</b>	<b>Térmico</b>
<b>Refratário</b>	0,12201	0,00223	0,11978
<b>Revestimento</b>	0,10231	0,00792	0,09439
<b>Louça sanitária</b>	0,23876	0,03834	0,20042

**Tabela 34** – Consumo específico dos subsegmentos de cerâmica branca.

**Fonte: Elaboração própria.**

Nota-se que o consumo de energia térmica é consideravelmente superior ao consumo de energia elétrica, representando de 84% a 98% do consumo específico total.

Pode-se observar através dessa análise que o subsegmento de louça sanitária é o que mais consome energia por tonelada produzida, tal fato pode ser justificado pelo fato de trabalharem com peças de conformação mais complexas, onde espera-se que o processo de secagem e queima, que são etapas críticas para a qualidade das peças, exija mais tempo e mais energético.

Analisando o cenário atual para se aplicar possíveis melhorias, vemos que o setor de cerâmica branca é um subsegmento de cerâmica heterogêneo em relação ao seu processo produtivo, devido às suas diferenças de produtos fabricados.

A maior diferença vista e que impactam diretamente no consumo energético para louça sanitária está no tipo de forno, sabendo que os fornos intermitentes têm um rendimento energético menor que os fornos contínuos.

Já para revestimento, vemos diferença no tipo de processo empregado para produção, que pode ser via úmida ou pode ser por via seca, onde notamos que o consumo energético é menor.

Analisando as possíveis medidas de eficiência energética para se melhorar as condições atuais das plantas, temos a aplicação de medidas padrão, como TPM (*Total Productive Maintenance*) que ajuda a prevenir falhas e eliminar perdas no fluxo de produção, otimizando o processo. Essa medida é aplicável a todas as empresas.

Além das medidas de manutenção, temos também medidas mais gerais aplicáveis na maioria das empresas, como a troca da iluminação por lâmpadas comuns para lâmpadas LED, assim como a troca de motores comuns para motores de alto rendimento.

Outras medidas existentes são:

- Instalação de inversor de frequência;
- Automatização de esteiras;
- Troca/manutenção de equipamentos;
- Reaproveitamento de calor dos fornos;
- Plano de troca e limpeza de queimadores;

Considerando o cenário mais eficiente para uma indústria de cerâmica branca, a utilização dos melhores equipamentos é representada pelos rendimentos energéticos apresentados na Tabela 18.

Comparando a situação atual com o melhor cenário possível, temos um percentual do potencial de economia de energia em relação à energia utilizada atualmente de:

ENERGÉTICOS	POTENCIAL DE ECONOMIA (%)					Total (%)
	Força Motriz	Calor de Processo	Aquecimento Direto	Refrigeração	Iluminação	
Gás Natural	-	17,4%	38,1%	-	-	<b>36,5%</b>
Carvão Vapor	-	-	53,5%	-	-	<b>53,5%</b>
Óleo Diesel	2,2%	-	-	-	-	<b>2,2%</b>
Óleo Combustível	-	-	35,3%	-	-	<b>35,3%</b>
GLP	5,5%	-	-	-	-	<b>5,5%</b>
Eletricidade	6,1%	-	31,8%	29,6%	69,1%	<b>11,2%</b>
<b>Total (%)</b>	<b>5,3%</b>	<b>17,4%</b>	<b>40,3%</b>	<b>29,6%</b>	<b>69,1%</b>	<b>38,7%</b>

**Tabela 35** - Potencial de economia de energia na indústria de cerâmica branca.

**Fonte: Elaboração própria.**

## Vidro

O subsegmento de vidro é, entre os três subsegmentos estudados do setor cerâmico, o que mais consome energia por tonelada produzida.

Em relação ao consumo de energia atual, este subsegmento apresenta os seguintes dados:

	<b>CONSUMO ESPECÍFICO (tep/t)</b>		
	<b>Médio</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
<b>Total</b>	0,18261	0,14477	0,27332
<b>Elétrico</b>	0,03033	0,01290	0,05017
<b>Térmico</b>	0,15227	0,10894	0,21611

**Tabela 36** - Variação do consumo específico – vidro.

**Fonte: Elaboração própria.**

Apresentando uma variação da ordem de 2 vezes, sendo a variação de energia elétrica de aproximadamente 4 vezes e de energia térmica de aproximadamente 2 vezes, percebe-se por meio desses dados que existe uma homogeneidade no consumo energético total.

Analisando o cenário atual para se aplicar possíveis melhorias, vemos que o setor de vidro é um subsegmento de cerâmica relativamente homogêneo em relação ao seu processo produtivo, apresentando maiores diferenças em sua etapa de conformação de acordo com o tipo de vidro que se quer produzir.

As maiores diferenças no processo observadas e que podem gerar mais impacto no consumo de energia estão relacionadas ao forno de fusão para energia térmica e ao processo de conformação para energia elétrica.

Na etapa de fusão do vidro, o forno utilizado pode ser contínuo, que possui uma maior capacidade de produção, ou o forno em batelada, que possui uma menor capacidade de produção.

Já para a etapa de conformação, temos diferentes técnicas que podem ser empregadas para cada tipo de produto que se deseja. Por exemplo, para o vidro plano podemos utilizar as técnicas de banho de estanho e laminação a rolos, e para vidros de embalagens pode-se usar as técnicas soprado-soprado e prensado-soprado. Para cada técnica temos um consumo específico de energia.

Analisando as possíveis medidas de eficiência energética para se melhorar as condições atuais das plantas, temos a aplicação de medidas padrão, como TPM (*Total Productive Maintenance*) que ajuda a prevenir falhas e eliminar perdas no fluxo de produção, otimizando o processo. Essa medida é aplicável a todas as empresas.

Além das medidas de manutenção, temos também medidas mais gerais aplicáveis na maioria das empresas, como a troca da iluminação por lâmpadas comuns para lâmpadas LED, assim como a troca de motores comuns para motores de alto rendimento.

Outras medidas existentes são:

- Troca/manutenção de equipamentos;
- Apoio elétrico (boosting);
- Plano de troca ou limpeza de queimadores.

Considerando o cenário mais eficiente para uma indústria de vidro, a utilização dos melhores equipamentos é representada pelos rendimentos energéticos apresentados na Tabela 26.

Comparando a situação atual com o melhor cenário possível, temos um percentual do potencial de economia de energia em relação à energia utilizada atualmente de:

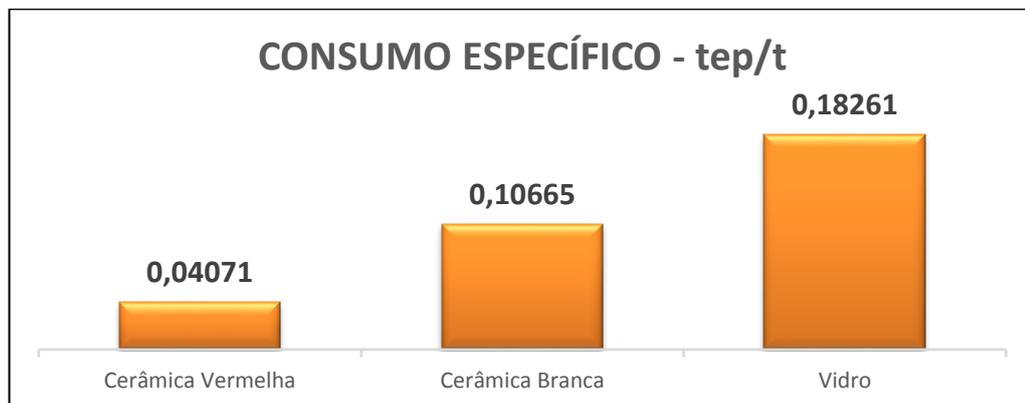
ENERGÉTICOS	POTENCIAL DE ECONOMIA (%)				
	Força Motriz	Aquecimento Direto	Refrigeração	Iluminação	Total (%)
Eletricidade	4,8%	37,2%	29,0%	43,1%	<b>19,0%</b>
Gás Natural	24,9%	6,4%	-	-	<b>6,8%</b>
GLP	6,8%	-	-	-	<b>6,8%</b>
<b>Total (%)</b>	<b>7,7%</b>	<b>8,4%</b>	<b>29,0%</b>	<b>43,1%</b>	<b>8,9%</b>

**Tabela 37** - Potencial de economia de energia na indústria de vidro.

**Fonte: Elaboração própria.**

### Setor Cerâmico

Como citado anteriormente, vemos que o subsegmento de cerâmica vermelha é o que menos consome energia por tonelada produzida, enquanto o subsegmento de vidro é o que mais consome energia por tonelada produzida.



**Gráfico 27** - Consumos específicos atuais dos subsegmentos cerâmicos.

**Fonte: Elaboração própria.**

Com os dados levantados e estudados juntamente com as visitas realizadas, é possível observar que há potencial de melhoria no setor cerâmico.

Porém, como visto, existem oportunidades de melhorias que permeiam o setor cerâmico. Para algumas oportunidades os ganhos são compulsórios, como a troca de motores, pois os motores de hoje já têm uma eficiência da ordem de 90%.

Adicionalmente, destaca-se que ter profissionais capacitados em energia nas plantas garante que haverá olhos voltados para um consumo mais eficiente dos energéticos, também irá garantir que os novos projetos já sejam planejados utilizando as tecnologias mais eficientes, mostrando seus ganhos. Além da necessidade de realização de conscientização da utilização da energia para todos os funcionários, pois poderão identificar oportunidades de redução ou de desperdícios.

## 8. REFERÊNCIAS UTILIZADAS

- ABCERAM - Associação Brasileira de Cerâmica. (2017). *Fluxogramas*. Fonte: Site da ABCERAM: <http://abceram.org.br/fluxograma/>
- ABCERAM - Associação Brasileira de Cerâmica. (s.d.). *Matérias-Primas Naturais*. Fonte: Site da ABCERAM: <http://abceram.org.br/materias-primas-naturais/>
- ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. (s.d.). *Estudos - Estudo Técnico Setorial da Cerâmica Vermelha*. Fonte: Site da ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial: [http://www.abdi.com.br/Estudo/05prova\\_p%C3%A1gina%20%C3%BAnica%20-%20Cer%C3%A2mica%20Vermelha.pdf](http://www.abdi.com.br/Estudo/05prova_p%C3%A1gina%20%C3%BAnica%20-%20Cer%C3%A2mica%20Vermelha.pdf)
- ANFACER - Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres. (s.d.). *O Mercado Brasileiro*. Fonte: Site da ANFACER: <http://www.anfacer.org.br/brasil>
- ANFACER - Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres. (s.d.). *Perfil da Produção*. Fonte: Site da ANFACER : <http://www.anfacer.org.br/produo>
- ANICER - Associação Nacional da Indústria Cerâmica. (s.d.). *Dados do Setor*. Fonte: Site da ANICER - Associação Nacional da Indústria Cerâmica: <http://anicer.com.br/setor/>
- ANICER - Associação Nacional da Indústria Cerâmica. (s.d.). *Sala de Imprensa - Relatório Anual - 2015*. Fonte: Site da ANICER - Associação Nacional da Indústria Cerâmica: [http://anicer.com.br/wp-content/uploads/2016/11/relatorio\\_2015.pdf](http://anicer.com.br/wp-content/uploads/2016/11/relatorio_2015.pdf)
- B2B Máquinas. (s.d.). *Moinho cônico de bolas*. Fonte: Site da B2B Máquinas: [http://b2bmaquinas.com.br/Anuncios/Moinhos\\_Equipamentos/Moinhos\\_de\\_Bolas/moinho\\_canico\\_de\\_bolas/5957\\_690\\_5/](http://b2bmaquinas.com.br/Anuncios/Moinhos_Equipamentos/Moinhos_de_Bolas/moinho_canico_de_bolas/5957_690_5/)
- Banco do Nordeste. (Novembro de 2016). *Caderno Setorial - ETENE - Indústria - A Indústria de Vidros Planos*. Fonte: Site do Banco do Nordeste: [https://www.bnb.gov.br/documents/80223/1218176/2\\_vidros.pdf/d8f77da8-9f00-7968-f918-9068e4fc560e](https://www.bnb.gov.br/documents/80223/1218176/2_vidros.pdf/d8f77da8-9f00-7968-f918-9068e4fc560e)
- Cerâmica 6. (s.d.). *Matéria-prima*. Fonte: Site da Cerâmica 6: <http://www.ceramica6.com.br/materia-prima-ceramica6.php>
- CETESB. (2006). *Produção Mais Limpa - Manuais da Cetesb - GUIA TÉCNICO AMBIENTAL DA INDÚSTRIA DE CERÂMICA BRANCA E DE REVESTIMENTO*. Fonte: Site do CRQ4 - Conselho Regional de Química IV Região: <http://www.crq4.org.br/downloads/ceramica.pdf>
- CNI – Confederação Nacional da Indústria. (2010). *Oportunidades de Eficiência Energética para a Indústria: Relatório Setorial: Setor Cerâmico*. Brasília.

CNI - Confederação Nacional da Indústria. (2010). *Oportunidades de Eficiência Energética para a Indústria: Relatório Setorial: Setor Vidreiro*. Brasília.

do Prado, U. S., & Bressiani, J. C. (2013). Panorama da Indústria Cerâmica Brasileira na Última Década. *Cerâmica Industrial*, 7-11.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética . (2017). *Publicações - Balanço Energético Nacional* .  
Fonte: Site da EPE - Empresa de Pesquisa Energética : <http://epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Balanco-Energetico-Nacional-2017>

EPSI. (s.d.). *Prensas Isostáticas*. Fonte: Site da EPSI: <http://epsi-highpressure.com/es/productos/prensas-isostaticas/>

FIEMG/FEAM. (2013). *Guias Técnicos Ambientais - Guia Técnico Ambiental da Indústria de Cerâmica Vermelha*. Fonte: Site da FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente: <http://www.feam.br/noticias/1/1293-guias-tecnicos-ambientais>

Global Sources. (s.d.). *Product List*. Fonte: Site do Global Sources: <http://www.globalsources.com/si/AS/Zhengzhou-Dahua/6008824983442/pdtl/Wet-Pan-Mill---Edge-Runner-Wet-Mill---Gold-Pan-Mill---Edge-Mill/1091538396.htm>

HTL Brasil. (2018). *Tabela de equivalência entre lâmpadas LED e lâmpadas convencionais*.  
Fonte: Site da HTL Brasil: <http://www.htlbrasil.com/Arquitetura/PDF/tabela-de-equivalencia-deiluminacao->

IBGE. (2017). *Pesquisa Industrial Anual - Produto*. Fonte: SIDRA: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5806>

INT/MCTI. (2013). *Programa de Eficiência Energética na Indústria de Cerâmica Vermelha da América Latina Visando Mitigar a Mudança Climática - EELA*. Rio de Janeiro.

J Mendo Consultoria . (2009). *PRODUTO 45 - Cadeia de Refratários - Relatório Técnico 71 - Refratários* .

J Mendo Consultoria. (2009). *PRODUTO 48 - Cadeia de Louças - Relatório Técnico 74 - Perfil de Louças Sanitárias e de Mesa* .

Máquina Industrial. (s.d.). *Moinho de cilindro - Rousselle*. Fonte: Site do Máquina Industrial: [https://www.maquinaindustrial.com.br/maquinario-usado/?e=Moinho+de+cilindro++Rousselle\\_578-446](https://www.maquinaindustrial.com.br/maquinario-usado/?e=Moinho+de+cilindro++Rousselle_578-446)

Marrocos de Oliveira, F. E. (2011). *Acompanhamento da Produção Industrial em Cerâmica da Microrregião do Vale do Assu: Estudo de Caso*. Angicos: Universidade Federal Rural do Semi-Árido - Campos Angicos.

Mecânica Industrial. (s.d.). *Conceito primário da prensa hidráulica*. Fonte: Site da Mecânica Industrial : <https://www.mecanicaindustrial.com.br/507-o-conceito-primario-da-prensa-hidraulica/>

Ministério de Minas e Energia. (2005). *BEU - Balanço de Energia Útil*.

- MME - Ministério de Minas e Energia. (2017). *Anuário Estatístico do Setor de Transformação de Não Metálicos*. Fonte: Site do MME - Ministério de Minas e Energia: <http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/geologia-mineracao-e-transformacao-mineral/publicacoes/anuario-estatistico-do-setor-metalurgico-e-do-setor-de-transformacao-de-nao-metalicos>
- MS Souza - Marca da Força. (s.d.). *Produtos - Forno Túnel*. Fonte: Site da MS Souza: <http://mssouza.com.br/produtos/detalhes/22/12>
- Pinheiro, F. C. (2007). *Evolução do Uso do Vidro como Material de Construção Civil*. Itatiba: Universidade São Francisco.
- Portal Brasil. (21 de Agosto de 2014). *Produção de cerâmica na Caatinga será sustentável*. Fonte: Site do Governo do Brasil : <http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2014/08/mostra-apresenta-tecnologias-para-a-producao-sustentavel-de-ceramica/forno.jpg/view>
- Portal O Mecânico. (23 de Junho de 2015). *Common Rail Mercedes-Benz*. Fonte: Site do Portal O Mecânico: <http://omecanico.com.br/commom-rail-mercedes-benz/>
- Revista Edificar. (20 de Janeiro de 2015). *Notícias - Indústria de cerâmica vermelha da Paraíba faturou R\$157 milhões em 2014*. Fonte: Site da Revista Edificar: <https://revistaedificar.com.br/noticias/industria-de-ceramica-vermelha-da-paraiba-faturou-r157-milhoes-em-2014/>
- Royal - Máquinas e Ferramentas. (s.d.). *Prensa hidráulica*. Fonte: Site da Royal - Máquinas e Ferramentas: <https://www.royalmaquinas.com.br/prensa-hidraulica-capacidade-de-60-toneladas-mph-60.html>
- Stewart Engineers. (s.d.). *Float Glass Manufacturing Process*. Fonte: Site do Stewart Engineers: <http://stewartengineers.com/products/stewartfloat/technology/>
- Tamaki, L. (Março de 2011). *Materiais e Ferramentas: Louças Sanitárias*. Fonte: Site da Equipe de Obra: <http://equipedeobra17.pini.com.br/construcao-reforma/34/loucas-sanitarias-producao-de-lavatorios-e-vasos-sanitarios-passa-211873-1.aspx>
- UFRGS. (s.d.). *Operações Unitárias - Redução de Tamanho: Moagem*. Fonte: Site da UFRGS: <http://www.ufrgs.br/alimentus1/feira/optransf/moagem.htm>
- Vidro Impresso. (03 de Agosto de 2016). *A ALMA DO VIDRO MODERNO*. Fonte: Site do Vidro Impresso: <http://vidroimpresso.com.br/noticia-setor-vidreiro/a-alma-do-vidro-moderno>
- WEG. (2018). *Eficiência energética em motores elétricos*. Fonte: Site da WEG: [http://ecatalog.weg.net/tec\\_cat/tech\\_motor\\_sel\\_web.asp](http://ecatalog.weg.net/tec_cat/tech_motor_sel_web.asp)
- WhatMat - Technical Ceramics. (s.d.). *Cerâmica*. Fonte: Site do WhatMat: <http://www.whatmat.pt/industrias/ceramica/>
- Yale. (2018). *Empilhadeiras a Combustão (Pneus Pneumáticos)*. Fonte: Site da Yale: <http://www.yale.com/brasil/pt-br/product-overview/ice-trucks/>