



**UNITAU**

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**

**Fernando de Souza**

**OTIMIZAÇÃO DO CICLO DA AUTOCLAVE  
PARA VIDRO LAMINADO AUTOMOTIVO  
BUSCANDO A REDUÇÃO DE ENERGIA  
ELÉTRICA**

**Taubaté – SP**

**2016**

**Fernando de Souza**

**OTIMIZAÇÃO DO CICLO DA AUTOCLAVE  
PARA VIDRO LAMINADO AUTOMOTIVO  
BUSCANDO A REDUÇÃO DE ENERGIA  
ELÉTRICA**

Monografia apresentada para obtenção do Título de Especialista pelo Curso de Pós-graduação em Gestão de Processos Industriais do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

Área de Concentração: Engenharia de Produção

Orientador: Prof. Dawilmar Guimaraes Araújo, Me.

**Taubaté – SP**

**2016**

**FERNANDO DE SOUZA**

**OTIMIZAÇÃO DO CICLO DA AUTOCLAVE PARA VIDRO LAMINADO  
AUTOMOTIVO BUSCANDO A REDUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

Monografia apresentada para obtenção do Título de Especialista pelo Curso de Pós-graduação em Gestão de Processos Industriais do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

Área de Concentração: Engenharia de Produção

Orientador: Prof. Dawilmar Guimaraes Araújo

Data: \_\_\_\_\_

Resultado: \_\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Dr. Giorgio Eugênio Oscare Giacaglia Universidade de Taubaté

Assinatura :

Prof. Dawilmar Guimarães de Araújo

Universidade de Taubaté

Assinatura :

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus e a minha família, que são a base para toda minha trajetória.

Ao companheiro de trabalho Hernani Costa pela sua contribuição durante toda análise.

Ao Prof. Dawilmar Guimaraes Araújo, uma honra em ser seu aluno, que desde o início do curso contribuiu com seus conhecimentos, sendo fundamental para a finalização deste trabalho. Além de professor um grande amigo.

Ao Prof. Dr. Giorgio Eugênio Oscare Giacaglia, um privilégio estar próximo a uma mente tão brilhante que disponibilizou toda a sua experiência.

“O acaso só favorece a mente preparada”

Louis Pasteur

SOUZA, FERNANDO. **OTIMIZAÇÃO DO CICLO DA AUTOCLAVE PARA VIDRO LAMINADO AUTOMOTIVO BUSCANDO A DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA.** 2016 42 f. Monografia (Especialização em Gestão de Processos Industriais) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Taubaté, Taubaté. 2016.

## RESUMO

Com necessidade de redução de consumo de energia elétrica impactado pela crise hídrica e a constante racionalização de recursos industriais presente nas decisões gerenciais embasam o presente trabalho, que visa demonstrar redução de consumo de energia elétrica no ciclo de trabalho da etapa de pressurização e em modo vazio do processo de produção de vidros automotivos, a autoclave. Para tanto, estudou-se o funcionamento do processo de vidro laminado, a autoclave, com os quatro motores, os mesmos responsáveis pela circulação de ar. Foi realizada uma análise de demanda de carga da mesma produzindo opções de redução do número de motores em funcionamento. Investigou-se por meio de técnica empírico-operacional e testou-se o mesmo utilizando apenas dois motores e um acompanhamento em tempo real de temperatura e pressão. Resultados significativos de redução da ordem de 50% puderam, comparativamente ao ciclo normal com quatro motores, registrar uma economia de energia elétrica na ordem de R\$ 320 mil. Além de aumentar a vida útil dos motores e diminuindo o tempo de manutenção dedicado a possíveis falhas nos motores, pode-se confirmar que a autoclave tem a capacidade de operar com redução de dois motores sem qualquer avaria e interferência na qualidade do vidro produzido.

**Palavras chave:** Autoclave para vidro laminado, Vidros Laminados automotivos, Redução de Energia elétrica.

**SOUZA, FERNANDO OPTIMIZING THE AUTOCLAVE CYCLE FOR LAMINATED AUTOMOTIVE GLASS SEEKING THE REDUCTION OF ELECTRICITY CONSUMPTION. 2016** 42 f. Monograph (Specialization in Industrial Processes Management) - Department of Mechanical Engineering, University of Taubaté, Taubaté.2016.

### **ABSTRACT**

Due to the need of reducing electricity consumption affected by the water crisis and the constant rationing of industrial resources present in managerial decisions underlying the present work, which aims to demonstrate the reduction of electricity consumption during the duty cycle of the autoclave process for production of laminated automotive glass. To this end, we studied the operation of the laminated glass process in autoclave with four engines, the same responsible for air circulation. A demand analysis producing the same load reducing the number of engines running was performed. It was investigated by means of empirical operative technique and tested using only two motors and a real-time monitoring of temperature and pressure.

Significant results in reduction of approximately 50 %, compared to the normal cycle with four engines, registering an electricity savings of approximately R\$ 320.000,00. In addition to increasing the service life of engines and reducing maintenance time devoted to possible faults in engines, it can be confirmed that the autoclave has the ability to operate with reduction of two motors without any damage and interference in the quality of glass produced.

**Keywords:** Reduction of electricity consumption, automotive laminated glass, Autoclave for laminated glass.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Custo de energia elétrica para a indústria no países.....	13
Figura 2 - Custo de energia elétrica para a indústria no Brasil por estado.....	14
Figura 3 - Principais formatos de vasos de pressão.....	15
Figura 4 - Alguns tipos de tampos.....	16
Figura 5 - Ciclo de etapas da aplicação da Pesquisa-ação.....	24
Figura 6 - Lâminas de vidro e pvb.....	26
Figura 7 - Fechamento da porta.....	29
Figura 8 - Fechamento da porta.....	30
Figura 9 - Autoclave.....	32
Figura 10 - Ciclos com motores 1 e 3.....	33
Figura 11 - Ciclos com motores 2 e 4.....	34
Figura 12 - Ciclos das três situações analisadas.....	35
Figura 13 - Receita do ciclo da autoclave.....	36

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Calculo de consumo de energia elétrica.....	36
Tabela 2 - Calculo de consumo de energia elétrica em cada passo.....	37
Tabela 3 - Calculo do valor de energia gasto por período.....	37
Tabela 4 - Calculo de consumo de energia elétrica.....	37
Tabela 5 - Calculo de consumo de energia elétrica em cada passo.....	38
Tabela 6 - Calculo do valor de energia gasto por período.....	38

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivo .....</b>	<b>11</b>
<b>1.2</b>	<b>Estrutura do Trabalho.....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>13</b>
<b>2.2</b>	<b>Conceito de vaso de pressão .....</b>	<b>14</b>
<b>2.2.1</b>	<b>Projetos de Vasos de Pressão.....</b>	<b>16</b>
<b>2.3</b>	<b>Desenvolvimento do Vidro.....</b>	<b>17</b>
<b>2.4</b>	<b>Vidro .....</b>	<b>17</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA APLICADA NESTA PESQUISA.....</b>	<b>22</b>
<b>4</b>	<b>HISTÓRICO DA EMPRESA DE VIDRO AUTOMOTIVO.....</b>	<b>25</b>
<b>4.4</b>	<b>Autoclave para vidro laminado.....</b>	<b>27</b>
<b>4.5</b>	<b>Particularidades da autoclave .....</b>	<b>28</b>
<b>4.5.1</b>	<b>Sistema de pressurização.....</b>	<b>28</b>
<b>4.5.2</b>	<b>Sistema de despressurização .....</b>	<b>28</b>
<b>4.5.3</b>	<b>Sistema de eliminação de resíduos.....</b>	<b>28</b>
<b>4.5.4</b>	<b>Sistema Selado para o fechamento das Portas .....</b>	<b>29</b>
<b>4.5.5</b>	<b>Fechamento de segurança .....</b>	<b>30</b>
<b>4.5.6</b>	<b>Limites e usos.....</b>	<b>31</b>
<b>4.6</b>	<b>ESTUDO DA AUTOCLAVE PARA VIDRO LAMINADO AUTOMOTIVO .....</b>	<b>32</b>
<b>4.7</b>	<b>CÁLCULOS DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA COM QUATRO MOTORES.....</b>	<b>35</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS COMENTADOS .....</b>	<b>39</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>40</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>41</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Com o atual cenário da economia nacional, que obriga todo e qualquer ramo industrial a pensar em novos meios de economia, somada a crise hídrica que tem impactado no aumento de custos da empresa, a energia elétrica tem tido aumentos significativos que geram interferências no faturamento mensal, sendo assim criar alternativas para redução de custos é crucial no momento em questão.

O presente só foi possível através do seredipismo<sup>1</sup>, onde em um determinado problema com um motor da autoclave houve a necessidade de trabalhar com apenas três. Por conta disso, o acaso proporcionou que gerasse um estudo analisando seu comportamento sem os quatro motores, surgiu então a idéia de poupar os motores, que conseqüentemente interfere diretamente no consumo de energia elétrica.

### 1.1 Objetivo

É objetivo deste trabalho, demonstrar uma solução de redução de consumo de energia elétrica aplicada na etapa de pressurização e em modo vazio no processo de produção de vidros automotivos através do arranjo alternado do uso de motores.

### 1.2 Estrutura do Trabalho

Neste primeiro Capítulo, *Introdução*, apresenta-se o desafio que norteou esta pesquisa. Na essência, a ideia de aplicar os conceitos da racionalização industrial ou da engenharia aos processos de produção, tanto introduzindo o método experimental (*observar, efetuar medições* no objeto de investigação do processo *enquanto ele ocorre* e no caso a autoclave, em lugar de meramente especular a respeito dele).

No *Capítulo 2º*, empreende-se uma revisão bibliográfica do assunto em questão, parte como método complementar da pesquisa, parte apresentando e comentando as principais e mais recentes contribuições para uma real aplicação da racionalização que permita caracterizar os elementos do processo de produção de vidros e tudo o que o cerca. Efetua-se, ainda, um mapeamento acerca de características gerais do processo utilizado, visando a subsidiar as decisões do conjunto de ações da pesquisa.

---

<sup>1</sup> ato de fazer descobertas por acidente

O *Capítulo 3º* concretiza a pesquisa proposta, definindo operacionalmente o processo de produção de vidros, em particular a autoclave, seus parâmetros e valores que são utilizados no estudo tratado.

No *Capítulo 4º* são apresentados e discutidos o processo e os resultados da metodologia.

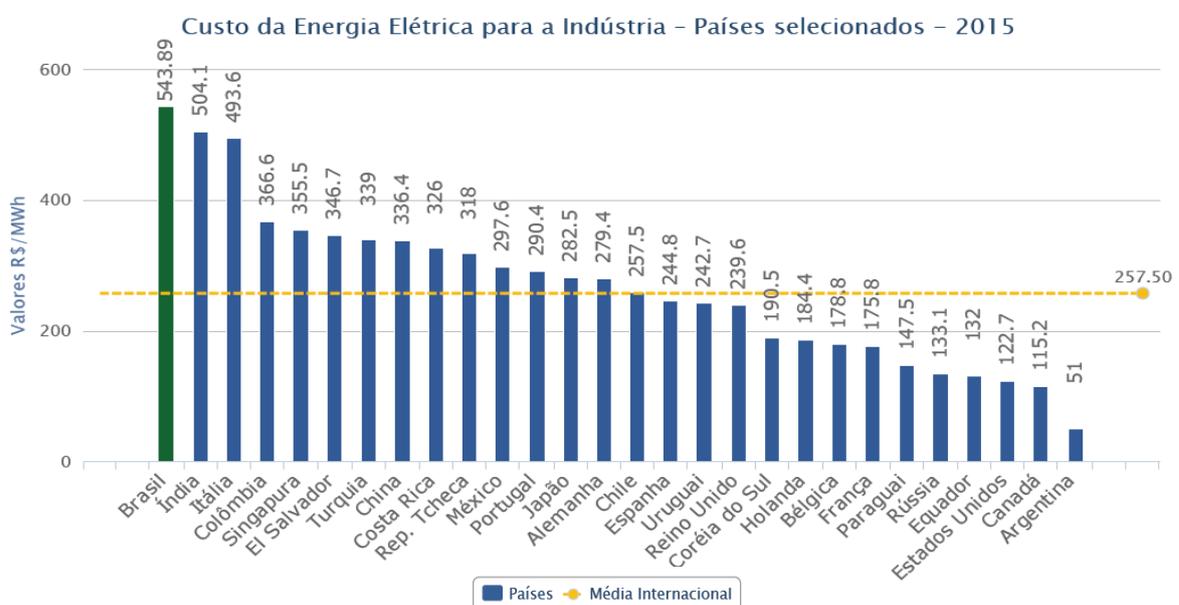
Finalmente, o *Capítulo 5º* dá as conclusões e as recomendações gerais do trabalho, no que se refere à sua validade, à sua aplicabilidade e aos seus desdobramentos e consequências.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

O Brasil está incluído entre os principais produtores mundiais de vidro e é atualmente o maior fabricante da América Latina. Com uma capacidade instalada anual de cerca de 3,1 milhões de toneladas, em 2006, o setor tem uma produção estimada em 2,6 milhões de toneladas e faturamento de R\$ 3,9 bilhões. Historicamente, a evolução da indústria do vidro no Brasil tem acompanhado o desenvolvimento da economia brasileira, especialmente nos últimos anos, com o crescimento do consumo de automóveis, o incremento do nível de atividade da construção civil e o aumento significativo no consumo de produtos alimentícios industrializados e bebidas. No entanto, a indústria de vidro constitui um setor relativamente pouco conhecido da economia brasileira, no que diz respeito aos aspectos produtivos e econômicos. Apesar disso, o setor não pode ser desprezado, considerando-se que, segundo a Pesquisa Industrial Anual (PIA) de 2005, do IBGE, era responsável por 0,2% do PIB, quando o conjunto da indústria de transformação correspondia, naquele ano, a 28%. (BNDES, set. 2007).

A fabricação de vidro pode ser classificada como intensiva em energia, considerando-se que consome, por tonelada, cerca de 1,8 milhão de kcal de energia térmica na fusão (o que equivale a cerca de 200 m<sup>3</sup> de gás) e cerca de 200 kWh/t de energia elétrica em outras etapas do processo. (BNDES, set. 2007).

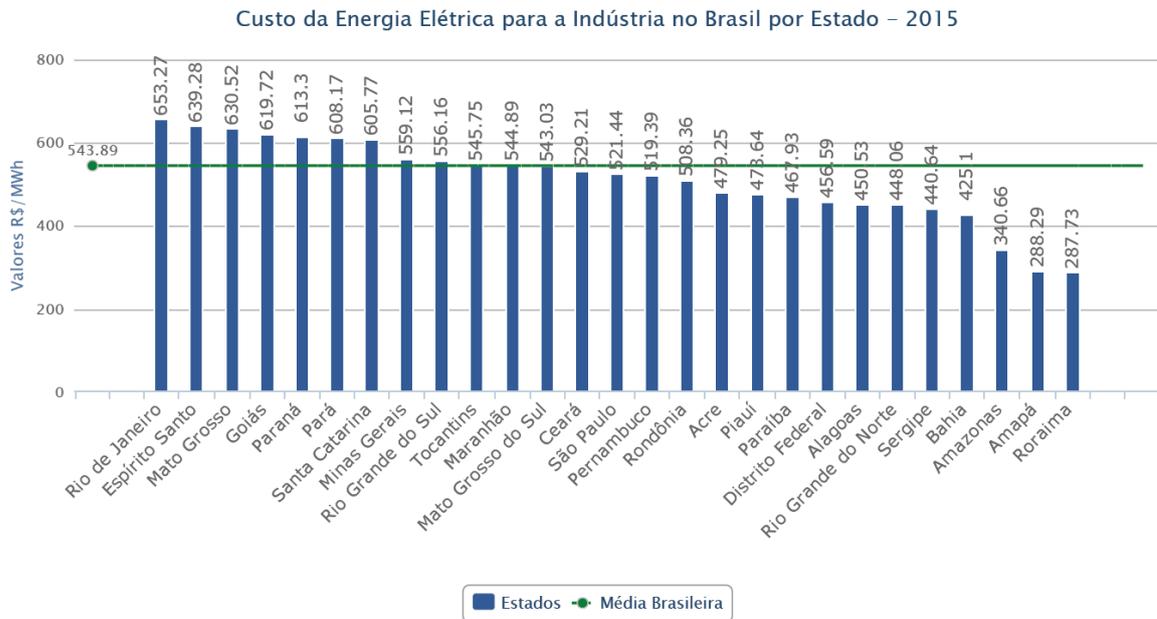
Na **Figura 1**, é possível visualizar o consumo de energia elétrica em alguns países, sendo o Brasil com um custo maior.



**Figura 1.** Custo de energia elétrica para a indústria nos países.

Fonte: FIRJAN, 2015.

Na **Figura 2**, há o custo de energia elétrica no Brasil por Estado. Como destaque o Rio de Janeiro com o custo maior.



**Figura 2.** Custo de energia elétrica para a indústria no Brasil por estado.

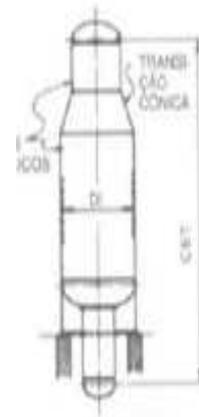
**Fonte:** FIRJAN, 2015.

## 2.2 Conceito de vaso de pressão

Segundo Telles (1991, p.1), o nome vasos de pressão designa genericamente todos os recipientes estanques, de qualquer tipo, dimensões formatos ou finalidades, capazes de conter um fluido pressurizado. Dentro de uma definição tão abrangente inclui-se uma enorme variedade de equipamentos, (ilustrados alguns exemplos na **Figura 3**) desde uma simples panela de pressão de cozinha, até os mais sofisticados reatores nucleares.



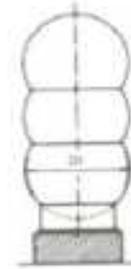
(a) Cilindro vertical simples



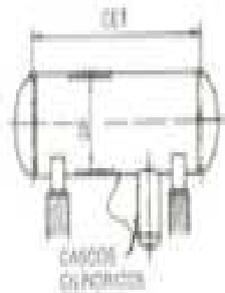
(b) Cilindro vertical composto



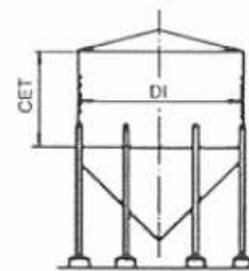
(c) Esférico



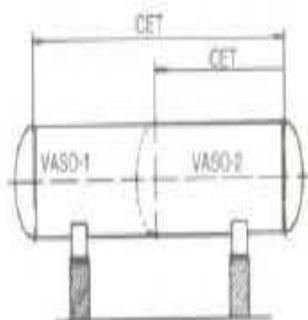
(d) Esféricas múltiplas



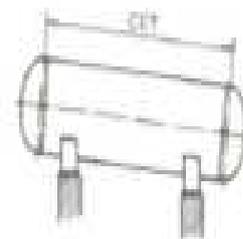
(e) Cilíndrico horizontal



(f) Cilíndrico cônico



(g) Cilíndrico horizontal geminado



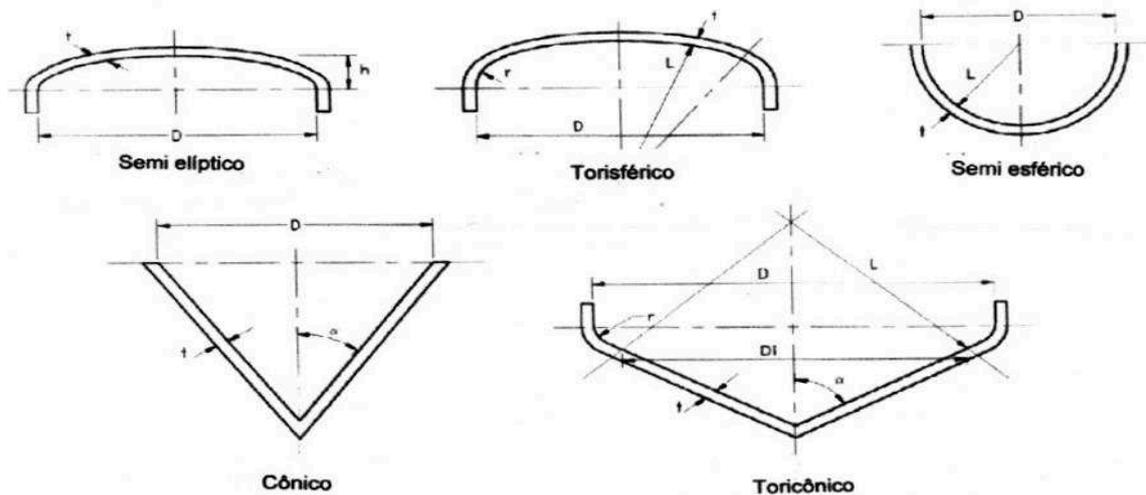
(f) Cilíndrico inclinado

**Figura 3** - Principais formatos de vasos de pressão

Fonte: Telles, 1991. p. 10.

Embora o formato ideal para um vaso de pressão seja uma esfera, a maioria dos vasos é de formato cilíndrico, com tampos esféricos nas extremidades.

Denominam-se tampos (*heads*) as peças de fechamento dos cascos cilíndricos dos vasos de pressão. Os tampos mais usuais são os elípticos, toriesféricos, hemisféricos, cônicos e calotas esféricas, conforme observa-se na **Figura 4**. (TELLES, 1991. p. 9)



**Figura 4** - Alguns tipos de tampos  
**Fonte:** Telles. 1991. p. 9.

Embora não muito utilizado, existem alguns tampos planos, mas que não será o foco deste trabalho, pois a maioria deles são forjados comercializados.

### 2.2.1 Projetos de Vasos de Pressão

Segundo Telles (1991), contrariamente ao que acontece com quase todos os outros equipamentos, máquinas, veículos, objetos e materiais de uso corrente, a grande maioria dos vasos de pressão não é item de linhas de fabricação: salvo raras exceções, os vasos são, quase todos, projetados e construídos por encomenda, sob medida, para atenderem, em cada caso, a determinadas finalidades ou a determinadas condições de desempenho. Com consequência, o projeto é quase sempre feito individualmente para cada vaso a ser construído. O projeto de um vaso de pressão inclui não somente o seu dimensionamento físico para resistir a pressão e de mais cargas atuantes, como também a seleção técnica e econômica dos materiais adequados, dos processos de fabricação, detalhes, peças internas etc.

### **2.3 Desenvolvimento do vidro**

Apenas próximo ao ano 100 a.C., as técnicas de fabricação se desenvolveram. Foi quando os romanos começaram a utilizar o sopro, dentro de moldes, na fabricação do vidro, o que possibilitou sua produção em série. O apogeu desse processo se deu no século XIII, em Veneza. Após incêndios provocados pelos fornos de vidro da época, a indústria de vidros foi transferida para Murano, ilha próxima de Veneza. As vidrarias de Murano produziam vidros em diversas cores, um marco da história do vidro, e a fama de seus cristais e espelhos perduram até hoje. Até 1900, a produção dessa matéria-prima ainda era considerada uma arte quase secreta. (CEBRACE, 2015).

A França já fabricava o vidro desde a época dos romanos. Porém, só no final do século XVIII foi que a indústria prosperou e alcançou um grau de perfeição notável. Em meados desse século, o rei francês Luís XIV reuniu alguns mestres vidreiros e montou a Companhia de Saint-Gobain, para que fossem feitos os espelhos do Palácio de Versalhes na França, uma das mais antigas empresas do mundo, hoje, uma companhia privada. (CEBRACE, 2015).

A indústria moderna do vidro surgiu com a revolução industrial e a mecanização dos processos. Em 1952, na Inglaterra, a empresa onde está sendo realizado este trabalho desenvolveu o processo para produção do vidro Float, conhecido também como cristal, que revolucionou a tecnologia dessa próspera indústria. (CEBRACE, 2015).

### **2.4 Vidro**

O vidro é uma das descobertas mais surpreendentes do homem e sua história é cheia de mistérios. Embora os historiadores não disponham de dados precisos sobre sua origem, foram descobertos objetos de vidro nas necrópoles egípcias, por isso, imagina-se que o vidro já era conhecido há pelo menos 4.000 anos antes da Era Cristã, e que fora descoberto de forma casual.

Alguns autores apontam os navegadores fenícios como os precursores da indústria do vidro. Ancorados em uma praia da costa da Síria, os Fenícios improvisaram uma fogueira utilizando blocos de salitre e soda e, algum tempo depois, notaram que do fogo escorria uma substância brilhante que se solidificava imediatamente. Ali nascia o vidro.

## 2.5 Definição

O vidro é uma substância inorgânica, homogênea e amorfa, obtida através do resfriamento de uma massa em fusão. Suas principais qualidades são a transparência e a dureza. O vidro tem incontáveis aplicações nas mais variadas indústrias, dada suas características de inalterabilidade, dureza, resistência e propriedades térmicas, ópticas e acústicas, tornando-se um dos poucos materiais ainda insubstituível, estando cada vez mais presente nas pesquisas de desenvolvimento tecnológico para o bem-estar do homem.

O vidro é um material não biodegradável, inerte, impermeável e tem total reciclabilidade. Na indústria de vidro automotivo o rejeito diário é de quatro toneladas. O aproveitamento do caco na fabricação do vidro reduz a poluição atmosférica, pois permite que os fornos operem a temperaturas mais baixas, reduzindo assim a emissão de dióxido de carbono, dióxido de enxofre e óxidos de nitrogênio, ao mesmo tempo economizando até 22% no consumo de energia. Além disso, o trabalho em temperatura mais baixa resulta no aumento do período de vida útil dos fornos, pois o desgaste dos refratários é reduzido. O uso do caco permite que se reduza o consumo de matérias primas como a areia, barrilha e calcário, além de facilitar o processo de fusão do refino do vidro (MAIA, 2003).

## 2.6 Tipos de vidros

Segundo a Associação Brasileira de Distribuidores e Processadores de Vidro Plano (Abravidro), são oferecidos ao mercado vidros transformados de vários tipos, entre os quais merecem destaque: espelho, laminado, temperado, insulado, refletivo, baixo emissivo e autolimpante. (BNDES, fev. 2013).

O processo do vidro float foi desenvolvido pela empresa em 1952 e é padrão mundial para a fabricação de vidro plano de alta qualidade.

O processo, que originalmente produzia somente vidros com espessura de 6mm, produz atualmente vidros que variam entre 1,8 e 19 mm. As matérias-primas são misturadas com precisão e fundidas no forno. O vidro fundido, a aproximadamente 1600°C, é continuamente derramado num tanque de estanho liquefeito, quimicamente controlado. Ele flutua no estanho, espalhando-se uniformemente. A espessura é controlada pela velocidade da chapa de vidro que se solidifica à medida que continua avançando. Após o recozimento (resfriamento controlado), o processo termina com o vidro apresentando superfícies polidas e paralelas. (CEBRACE, 2015).

### 2.6.1 Espelho

O espelho é produzido com base em um vidro comum, que recebe sobre uma de suas superfícies camadas de metal, como prata, alumínio ou cromo, e também uma tinta protetora. Atualmente, existem dois processos de produção de espelho: o galvânico, que utiliza cobre para proteger a prata de oxidações, e o *copper-free*, que não faz uso desse componente. É o metal que produz o efeito reflexivo do espelho, hoje utilizado principalmente em decoração de interiores, para dar a sensação de ampliação do ambiente e proporcionar maior aproveitamento da luz natural. (BNDES, fev. 2013)

### 2.6.2 Vidro laminado

O vidro laminado tem como característica não desprender os fragmentos, ele obtém esta vantagem através de um longo processo.

O para-brisa laminado possui essa característica através da junção de duas laminas de vidro e uma película no meio de PVB (Polivinil Butiral). O filme de PVB é definido como sendo películas ou filmes de polivinil butiral (PVB), que, quando submetidos a calor e pressão, aderem ao vidro formando o vidro laminado de segurança contendo várias funções no laminado, como: controle de porcentagem de UV, atenuação acústica, proteção e segurança. (ABNT - NBR 14697)

### 2.6.3 Vidro temperado

O vidro temperado é produzido por meio de um forno de têmpera horizontal ou vertical. Depois de submetido a um processo de aquecimento e resfriamento rápido, o vidro *float* passa a ter uma resistência até cinco vezes maior, comparando-se a seu estado natural. Depois de temperado, o vidro não pode mais ser beneficiado, cortado ou furado. Portanto, qualquer processo de transformação tem de ser feito antes do processo de têmpera. O vidro temperado é resistente a choque térmico, flexão, flambagem, torção e peso. Quando é quebrado, fragmenta-se em pequenos pedaços, reduzindo também o risco de acidentes com cortes. (BNDES, fev. 2013).

O vidro temperado é produzido por meio de um forno de têmpera horizontal ou vertical. Depois de submetido a um processo de aquecimento e resfriamento rápido, o vidro *float* passa a ter uma resistência até cinco vezes maior, comparando-se a seu estado natural.

Depois de temperado, o vidro não pode mais ser beneficiado, cortado ou furado. Portanto, qualquer processo de transformação tem de ser feito antes do processo de têmpera. O vidro temperado é resistente a choque térmico, flexão, flambagem, torção e peso. Quando é quebrado, fragmenta-se em pequenos pedaços, reduzindo também o risco de acidentes com cortes. (BNDES, fev. 2013)

#### **2.6.4 Vidro insulado**

O vidro insulado é também conhecido como vidro duplo, pois é formado por meio da junção de duas camadas de vidro com uma camada interna de ar ou gás desidratado. O sistema de envidraçamento duplo pode ser composto de qualquer tipo de vidro (temperado, laminado, colorido, incolor, metalizado e baixo emissivo), destacando as qualidades entre eles. Ou seja, é possível combinar vidros de propriedades diferentes, como a resistência (externa) dos temperados com a proteção térmica (interna) dos laminados.

Dependendo da formação do conjunto, o vidro duplo pode proporcionar isolamento térmico e acústico ou ainda versatilidade em termos de luminosidade e privacidade com a utilização de uma persiana entre os vidros. (BNDES, fev. 2013)

#### **2.6.5 Vidro refletivo**

O vidro refletivo, popularmente conhecido como espelhado, é obtido pela aplicação de uma camada metalizada em uma das faces do vidro *float*, por meio dos processos pirolítico (*on-line*) ou de câmara a vácuo (*off-line*). Pelo sistema *on-line*, a camada metalizada é pulverizada com óxidos metálicos durante a fabricação do *float*. No processo *off-line*, a chapa de vidro passa por uma câmara mantida a vácuo, na qual recebe a deposição de átomos de metal sobre uma de suas faces. O vidro refletivo pode ser laminado, insulado ou temperado e é capaz de reduzir sensivelmente a passagem do calor solar para o ambiente interno, funcionando como uma barreira contra os raios ultravioletas, mas sem prejudicar a luminosidade do local. (BNDES, fev. 2013)

#### **2.6.6 Vidro baixo emissivo**

O vidro baixo emissivo também é produzido por meio da aplicação de uma fina camada de óxido metálico em uma das faces do vidro *float*, utilizando-se o processo pirolítico

ou a tecnologia a vácuo, assim como é feito no caso do vidro espelhado. Proporciona controle solar e conforto térmico, embora mantendo um aspecto transparente, com um leve tom esverdeado ou azulado. (BNDES, fev. 2013)

### **2.6.7 Vidro autolimpante**

Por fim, o vidro autolimpante tem uma cobertura com partículas de dióxido de titânio que quebram as moléculas orgânicas e eliminam a poeira inorgânica. Por meio do processo fotocatalítico, os raios ultravioletas reagem do a sujeira orgânica. Já a poeira inorgânica é eliminada quando entra em contato com a água da chuva ou com jatos d'água. Diferentemente do que ocorre em vidros comuns, no autolimpante, por meio do processo hidrofílico, é formada uma fina camada de água que se espalha homogeneamente sobre sua superfície, carregando toda a sujeira. (BNDES, fev. 2013)

### 3 METODOLOGIA APLICADA NESTA PESQUISA

A metodologia vem para determinar, pela natureza da pesquisa e seus objetivos, que um mesmo tema pode implicar em diversas configurações, e que podem demandar tanto um método quanto outro, seja ele teórico ou empírico. Daí que, pode-se dizer que é a própria natureza da pesquisa que escolhe seu método.

O entendimento da metodologia utilizada baseia-se na combinação da Pesquisa Empírica e Pesquisa-Ação.

Corroborado por Melo (2012), a tradução das decisões práticas a partir dos dados empíricos depende do referencial que se tem (conhecimento formado na prática ou construído por bases teóricas<sup>2</sup>), mas estes dados agregam impacto no sentido da aproximação prática de observação do pesquisador em: (1) O modo de fazer pesquisa por meio de um objeto localizado dentro de um recorte do espaço social, explicando melhor, a pesquisa empírica lida com um processo, uma atividade e não com o sistema produtivo como um todo. Assim, a pesquisa empírica está centrada na escolha de aspectos das relações entre sujeito e objeto observado; (2) A pesquisa empírica lida com processos de interação e face-a-face, isto é, o pesquisador não pode elaborar a pesquisa em “laboratório” ou em uma biblioteca – isolado e apenas com livros à sua volta. Nesta modalidade da elaboração do conhecimento, o pesquisador precisa “ir ao campo”, ou “estar a compo”, isto é, o pesquisador precisa inserir-se no espaço da pesquisa coberto pela pesquisa; necessita envolvido e presenciar as relações observáveis que os objetos-pesquisados coexistem. É uma modalidade de pesquisa que se faz em presença.

Discutida a Pesquisa-ação por Melo (2012), esta, uma vez realizada em estreita associação com um conjunto de ações e a resolução de um problema. Os participantes e pesquisador da situação ou do problema estão envolvidos de modo cooperativo e participativo.

“A metodologia pesquisa-ação segundo Tripp (2005) citado por Melo (2012), é toda tentativa continuada, sistemática e empiricamente fundamentada de aprimorar a prática das decisões”.

---

<sup>2</sup> Tradução livre, dado que em um momento intuitiva e básica são as fontes de obtenção de conhecimento, teórica ou prática.

E da adoção da metodologia Pesquisa-ação é respondida em termos de: i) sua utilidade; ii) sua praticidade; e iii) sua aplicabilidade. De outra forma, o pesquisador não deve sustentar suas decisões apenas nas suas escolhas.

*i) Quanto a Utilidade da Pesquisa-Ação*

A frase que ora e adequadamente explica a adoção da metodologia Pesquisa-ação para esta pesquisa se resume em: uma metodologia oportuna e produtora que favorece a investigação baseada em uma autorreflexão empreendida pelo participante em seu grupo social (sócio-organizacional) de maneira a melhorar prática da racionalidade e da produtividade, onde tem suas próprias práticas de decisões rotineiras. Como critério de validade dos resultados da pesquisa-ação sugere-se a utilidade (significado) dos dados: as estratégias e produtos serão úteis para os envolvidos se forem capazes de apreender sua situação e de modificá-la. O pesquisador parece-se, neste contexto, a um praticante social que intervém numa situação com o fim de verificar se um novo procedimento é eficaz ou não.

*ii) Quanto a Praticidade da Pesquisa-Ação*

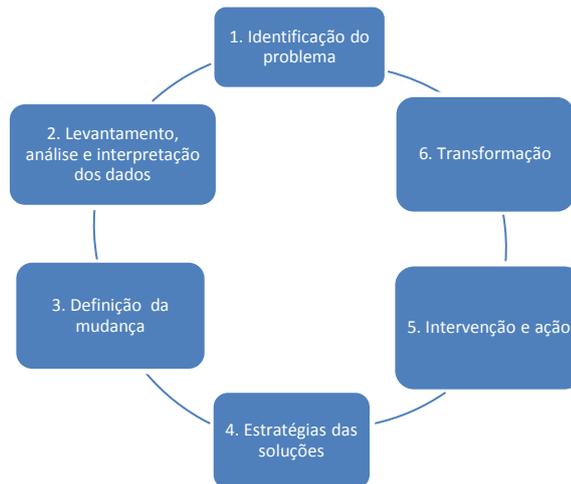
O processo de pesquisa deve tornar-se um processo de resultados valorados e formador de decisões para todos os participantes e a distinção entre sujeito e objeto de pesquisa deve ser superada, deve ser imparcial, embora fortemente influenciada.

Neste trabalho a pesquisa-ação tem por objeto de pesquisa as modificações dos recursos de produção em situações que são percebidas pelos gestores como sendo alcançáveis sob certos aspectos e cuidados, que são suscetíveis de mudança e que, portanto, esperam por uma resposta prática. Na situação problemática é interpretada a partir do ponto de vista das pessoas envolvidas, nos resultados medidos dos elementos envolvidos, baseando-se, portanto, nas consequências que os resultados traz da situação.

A pesquisa-ação procura diagnosticar um problema específico numa situação também específica, com o fim de atingir uma relevância prática dos resultados. Não está, portanto, interessada na obtenção de enunciados científicos generalizáveis (relevância global). Há, no entanto, situações em que se pode alegar alguma possibilidade de generalização para os resultados da pesquisa-ação: se vários estudos em diferentes situações levam a resultados semelhantes, isto permite maior capacidade de generalização do que um único estudo.

*iii) Quanto a Aplicabilidade da Pesquisa-Ação*

A pesquisa-ação é cíclica: as fases são usadas para aprimorar os resultados das fases que se relacionam. O caráter interativo da pesquisa-ação é evidenciado pela **Figura 5**. E traduz-se no processo efetivo da pesquisa, descrito na Seção 3, seguinte a esta.



**Figura 5** – Ciclo de etapas da aplicação da Pesquisa-ação.

**Fonte:** Adaptado de Sanches et al., 2009

Por “problema” (etapa 1) entende-se aqui a consciência, por parte do pesquisador, a partir de sua descoberta, de que algo que o intriga, que pode ser melhorado na produção, ou do reconhecimento da necessidade de renovação (mudanças) em algum aspecto do processo de produção. Esta consciência pode ser resultado de um período anterior de observação e reflexão ou de oportunidade descoberta.

Às linhas desta pesquisa, aspectos desafiadores são, por exemplo:

- desempenho médio suficiente quando do uso simultâneo de apenas dois motores da autoclave;

- produtividade e qualidade igualmente alcançados no processo:

Quando se é um *principiante* em pesquisa, é preferível escolher objetivos, hipóteses ou variáveis que sejam limitados em seu âmbito: um projeto de âmbito restrito, realizado com sucesso, é mais animador e encorajador. Daí a restrição do estudo a apenas motores no processo.

## **4 HISTÓRICO DA EMPRESA DE VIDRO AUTOMOTIVO**

A empresa fabricantes de vidros de segurança laminado e temperado atua no Brasil desde 1979.

Graças aos constantes investimentos em capacitação e desenvolvimento do mercado a marca tornou-se sinônimo de vidro temperado, o que possibilitou a implantação de um inédito sistema de franquia industrial, com abrangência nacional, contando com uma rede de 12 franqueados e de mais 600 distribuidores.

Possui quatro unidades no Brasil (Caçapava, Betim, Camaçari e São Paulo), sendo uma delas a matriz onde se concentram as áreas administrativas e comerciais para atender ao mercado automotivo. Em São Paulo (capital) está a unidade fabril focada nos mercados de construção civil.

Líder nos mercados onde atua, a empresa vidreira está entre os principais fabricantes de vidro do mundo, atendendo aos segmentos da construção civil, automobilístico, de decoração e de vidros técnicos.

O grupo opera em mais de 29 países, nos quatro continentes e tem a maior participação de mercado nos segmentos de produtos para construção civil, indústria automobilística e vidros especializados no mundo.

A certificadora norueguesa DNV outorgou o certificado ISO 9001:2000 para a linha de vidros temperados e duplos para o setor de eletrodomésticos e arquitetura (fábrica de São Paulo). A certificadora alemã SGS concedeu o certificado ISO/TS 16949:2002 para o setor automotivo (mundial). Além de confirmar a melhoria da qualidade, o certificado representa para a empresa um passaporte para o aumento das exportações. Mostra também que os sistemas de garantia de qualidade, atendem aos padrões internacionais, extremamente exigentes.

A qualidade e a produtividade, visando à competitividade, sempre estiveram entre os principais objetivos desta empresa vidreira.

### **4.2 Processo de fabricação vidro laminado automotivo**

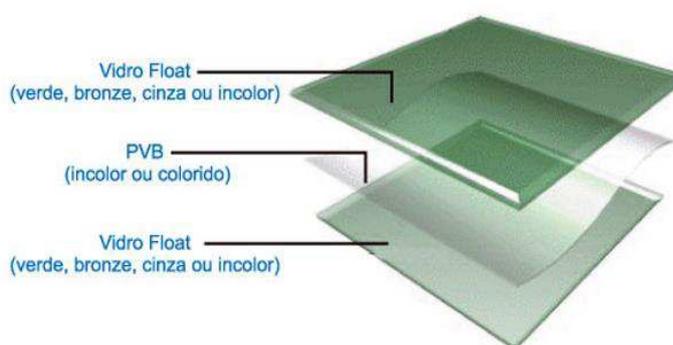
A matéria prima é a mesma do vidro temperado, porém sua espessura difere de acordo com cada modelo. Como de início, a matéria prima é encaminhada para o corte e lapidação, para que o vidro não contenha impurezas o mesmo é lavado, e posteriormente é secado para aplicação de pó de diatomita na lamina de vidro maior. Este é responsável por

evitar a aderência das duas laminas de vidro antes que seja inserido o PVB; na lamina menor a mesma passa por uma sala onde é impressa serigrafia, em sequência as duas peças se unem através de um formador de par, então as laminas estão prontas para serem abauladas.

No forno o vidro é carregado em matrizes, essas são responsáveis por definir a forma do vidro. Exposta a uma temperatura de 650°C, o vidro é abaulado através da gravidade, o vidro atinge um pico de temperatura e sua forma vai sendo definida gradativamente, levando um tempo médio de 15 minutos na sua passagem pelo forno. Ao sair do forno é realizado um aferimento automático em 100% dos vidros, os mesmos percorrem o trajeto até a sala de colagem, uma sala com temperatura e umidade controlada, devido às particularidades que o PVB possui.

Através de uma operação manual a película é inserida entre as lâminas de vidro, como pode ser visto na **Figura 7**, sendo assim são encaminhadas as bolsas de vácuo. Neste equipamento o vidro é submetido à temperatura e vácuo, onde começa o primeiro passo para a retirada de ar entre as lâminas de vidro. O vidro é submetido a temperatura máxima de 155°C permanecendo nas bolsas de vácuo durante 35 minutos para então ser aplicado a pastilha, responsável por reter a fixação do retrovisor que será inserido na montadora, como parte final o vidro é levado até a autoclave, vaso sob pressão em que o vidro permanece por três hora e trinta minutos sofrendo pressão e temperatura para poder adquirir enfim a sua característica de vidro laminado.

Em sequência o vidro é submetido a testes para que seja garantida a qualidade para o cliente, são eles: teste de flexão, aferição de abaulamento e distorção óptica. Após os testes os vidros inspecionados por três funcionários e dentro da especificação conduzem o mesmo à embalagem para enfim ser enviado para o cliente.



**Figura 6** - Lâminas de vidro e pvb.

Fonte: Representação do vidro laminado. (VIDROCERTO.).

### 4.3 Propriedades do PVB (polivinil butiral)

O polímero PVB é obtido por reação do poli (álcool vinílico) com o butiraldeído em meio ácido. Como o poli (álcool vinílico) é obtido por hidrólise do poli (acetato de vinila) há também grupos acetais na estrutura do PVB. Assim, o PVB é, na verdade, um copolímero randômico de vinil butiral-ran-vinil álcool-ran-vinil acetato, a Figura 1 apresenta a fórmula química do PVB (VALERA, 2005).

A grande afinidade entre o vidro e o PVB gera um material composto, o vidro laminado, com excelentes propriedades, principalmente em relação à segurança em caso de acidentes, pois os fragmentos de vidro, durante a fratura, ficam aderidos ao polímero, ao invés de serem arremessados. Por outro lado, essa grande afinidade dificulta a reciclagem do vidro laminado (VALERA, 2005).

O PVB pertence à classe de resinas termoplásticas. Os filmes de PVB são foto resistentes, apresentam alta elasticidade, tenacidade (resistência à tensão) e a impermeabilidade a água dos filmes de PVB cresce com o índice de acetato polivinil e diminui a polaridade, melhorando a solubilidade em solventes não polares (MAYERCRYL, 2009).

O filme de PVB pode ser considerado como um elastômero, pois do ponto de vista de suas propriedades mecânicas é facilmente estirado, atingindo valores altos de alongamento recuperando sua dimensão original, quando a tensão aplicada é removida, respondendo como um material elastomérico pelo seu comportamento borrachoso (VALERA, 2005).

### 4.4 Autoclave para vidro laminado

A autoclave é composto de um corpo cilíndrico feito de chapa de aço carbono fechada em ambas as extremidades por duas tampas móveis (portas). As portas são suportadas por um dispositivo adequado, que permitem que o abertura rápida da autoclave (TERRUZZI, 2010, p.7).

No interior da autoclave dois forros de isolamento térmico de fibra de lã de densidade de 96 Kg / m<sup>3</sup>, adequadamente protegida por uma chapa de aço galvanizado, que garante a manutenção da temperatura limite tanto quanto possível a fuga de calor na direção do exterior da autoclave.

## **4.5 Particularidades da autoclave**

### **4.5.1 Sistema de pressurização**

O sistema de autoclave de pressurização é regulada pelo PCV801 válvula pneumática.

O sistema usa ar comprimido tomado pelo compressor (de Terruzzi Fercalx escopo de alimentação).

O fluxo de ar para dentro da autoclave é regulado pela válvula de modulação PCV801, controlada pelo PLC de acordo com os parâmetros de funcionamento selecionados pelo operador no início do ciclo. A entrada da autoclave foi realizada a fim de reduzir tanto quanto possível o impacto violento do ar de entrada. Na verdade, um coletor de distribui o ar em 4 pontos assegurando desta forma, uma velocidade limitada. Placas deflectoras adequadas evitam que o material na autoclave tenha contato direto pelo fluxo de ar.

### **4.5.2 Sistema de despressurização**

O sistema de despressurização é composto por um PCV802 válvula e um silenciador SI 800 para a despressurização rápida.

O sinal de regulação 4-20 mA vem do regulador no PLC que anteriormente programado permitirá manter o tempo de despressurização prefixada .

*Downstream* o PCV802 válvula está montado um silenciador SI 800 corretamente dimensionado e alinhado, a fim de evitar o excesso de ruído, tal como previsto na zona de trabalho.

### **4.5.3 Sistema de eliminação de resíduos.**

O sistema de descarga é composto por ligar / desligar válvulas automáticas FV601 - FV602; manual válvula V601 / V602 e um ventilador centrifugo VC601 que permitem a limpeza periódica dentro a autoclave. Todos estes componentes são pré-montados numa estrutura de aço adequada. O sistema de limpeza da autoclave é responsável pela eliminação dos resíduos retidos durante os ciclos, como por exemplo, dowanol. Devendo ser feito a cada 30 ciclos.

#### 4.5.4 Sistema Selado para o fechamento das Portas

TERRUZZI FERCALX SpA sistema de fechamento patenteado selado é composto de um anel oco dividido em quatro setores (denominado " terceiro anel " ) que , com suportes adequados e pivôs ativado por dois cilindros, permite a sua separação e a abordagem dos dois flanges soldada a porta e estrutura. Uma junta especial garante a autoclave perfeita vedação enquanto funcionando, como pode ser visto na **Figura 7**.

A eficácia do sistema de fecho é garantida pelo terceiro anel, cujo "C" em forma seção, abrange a circunferência externa do primeiro e segundo anel, que concede a estabilidade mecânica necessária. Por tanto, é intuitivo que a confiabilidade do sistema depende o controle da condição do terceiro anel em duas formas:

- A primeira, eléctrica, constituído por uma série de 4 tempos de fim de controlar a correcta posicionamento dos setores 4 de fechamento do terceiro anel.
- O segundo, mecânico, constituído por dois eixos que, ativados por meio de um êmbolo pneumático, impede que o terceiro anel seja aberto no caso se a pressão interna da autoclave estiver mais do que 30 mbar.



**Figura 7** – Fechamento da porta.  
Fonte: Autor.

#### 4.5.5 Fechamento de segurança

A trava de segurança, regularmente aprovado, impede a pressurização e / ou a abertura da autoclave quando submetido a uma pressão interna superior à pressão atmosférica.

A trava de segurança se destina a funcionar com os níveis de segurança colocados em série. Cada abertura e passo consiste em fechar uma sequência, que está interrompido, se um dos seguintes instrumentos falha:

- Pressostato de segurança calibrada para a autoclave pressão mínima interna.
- Pivôs de bloqueio são servo-acionado para o controle da posição correcta do terceiro anel. Tais trincos na posição de fechamento garante a mobilidade do sistema de fechamento em qualquer condição.
- Válvula de Aviso, acionada manualmente, para a verificação da pressão ausente na autoclave e uma consequente autorização para o lançamento do terceiro anel e as etapas sucessivas de abertura.
- Sensores de posicionamento equipados com o certificado de conformidade colocado em série respectivamente no terceiro anel, sobre o pino de bloqueio e sobre a válvula de aviso. (TERRUZZI, 2010, p.10).

A **Figura 8** é possível visualizar o painel da operação manual de fechamento das portas feito pelo controle do operador, para tal é necessário pressionar o botão consecutivamente com a chave seletora, deve-se fechar primeiramente a porta, logo os setores de travamento do anel e por fim o cilindro que bloqueia a abertura dos demais. Luz verde indica dos os componentes que compõe o fechamento das portas bloqueadas e luz vermelha indica o sistema aberto. Quando há pressão interna, a luz branca fica acesa continuamente.



**Figura 8** – Fechamento da porta.

Fonte: Autor.

#### 4.5.6 Limites e usos

A autoclave possui todas especificações realizadas de acordo com os manuais técnicos, cuja especificação segue:

##### Capacidade de carregamento

- Vidro laminado	13500 Kg
------------------	----------

##### Dados de projeto da estrutura da autoclave

- Pressão de projeto	16 bar
- Pressão máxima de operação	15 bar
- Pressão padrão de trabalho	12 bar
- Temperatura externa de projeto das virolas	160°C
- Temperatura interna de projeto das virolas	160°C
- Temperatura máxima de operação	145°C
- Uniformidade de temperatura de operação	+/- 2°C

##### Pressurização do ciclo

- Fluido de pressurização	Ar
- Tempo de pressurização	11

##### Aquecimento do ciclo

- Aquecimento	Vapor
- Aquecimento gradual	10°/min
- Duração da rampa de aquecimento	13 min
- Temperatura de início do ciclo	30°C
- Rampa de aquecimento e temperatura final	143°

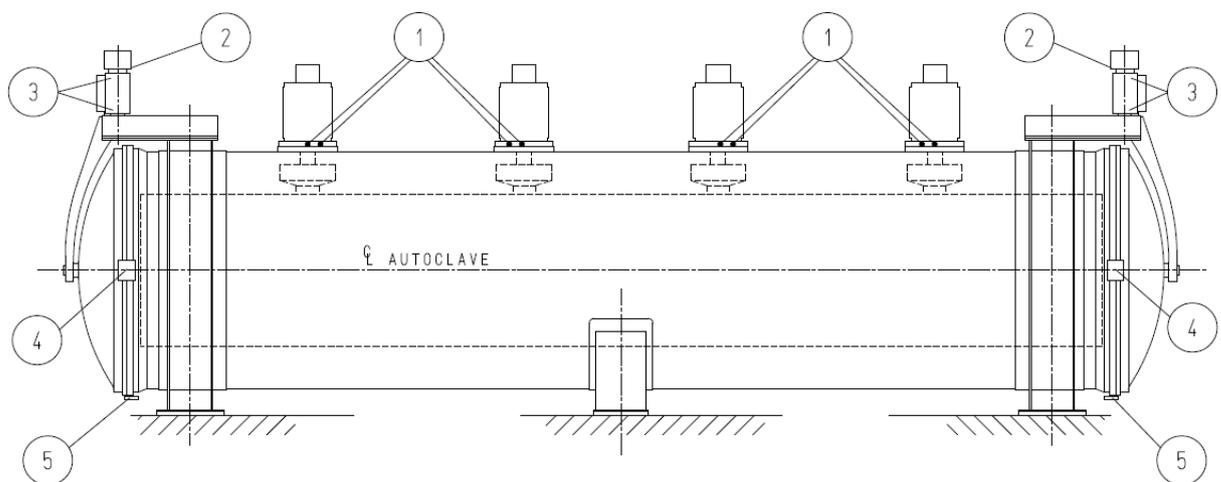
##### Resfriamento do ciclo

- Resfriamento	Água
- Resfriamento gradual	5,5°/min
- Duração da rampa de resfriamento	20 min
- Temperatura de resfriamento no fim do ciclo	40°C

#### 4.6 Estudo da autoclave para vidro laminado automotivo

Autoclave é um vaso de pressão cilíndrico horizontal que tem a finalidade de remover o ar ainda retido entre as lâminas de vidro e a película de PVB após a pré-selagem do vidro. Este vaso trabalha em função de temperatura e pressão gradativa de acordo com o padrão MST (MANUFACTURING STANDARDISATION ASSEMBLY). Seu tempo de ciclo é em torno de 180 minutos, sua temperatura mínima é de 65°C e máxima de 143°C a uma pressão que varia de 0 a 12 bar. A temperatura é fornecida através do vapor, onde para o aquecimento é acionado através de uma válvula automática, on/off dando sequência ao aquecimento dos radiadores e através dos ventiladores fazem com que o ar quente se propague pela autoclave. A autoclave utiliza vapor produzido por duas caldeiras. Após o vidro permanecer durante 3 horas, o mesmo adquire a qualidade de vidro de segurança laminado.

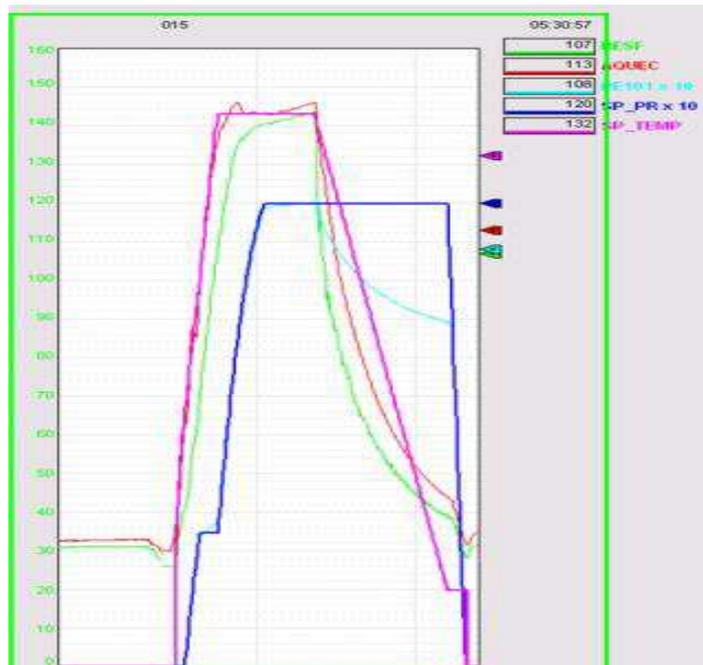
A autoclave possui 4 (quatro) motores trifásicos responsáveis por movimentar os ventiladores que atuam de forma contínua durante o ciclo, os motores tem seu consumo máximo de energia elétrica quando atingem 12 bar de pressão, porém seu regime também varia de acordo com a pressão parametrizada através de uma receita. Na **Figura 9**, um esboço da autoclave e seus quatro motores:



**Figura 9.** Autoclave.  
Fonte: Empresa de vidro laminado.

Através do acompanhamento realizado em tempo real sendo proporcionada toda variação de temperatura e pressão foi feito testes com o funcionamento de apenas dois motores durante o ciclo, no gráfico dos motores 1 e 3:

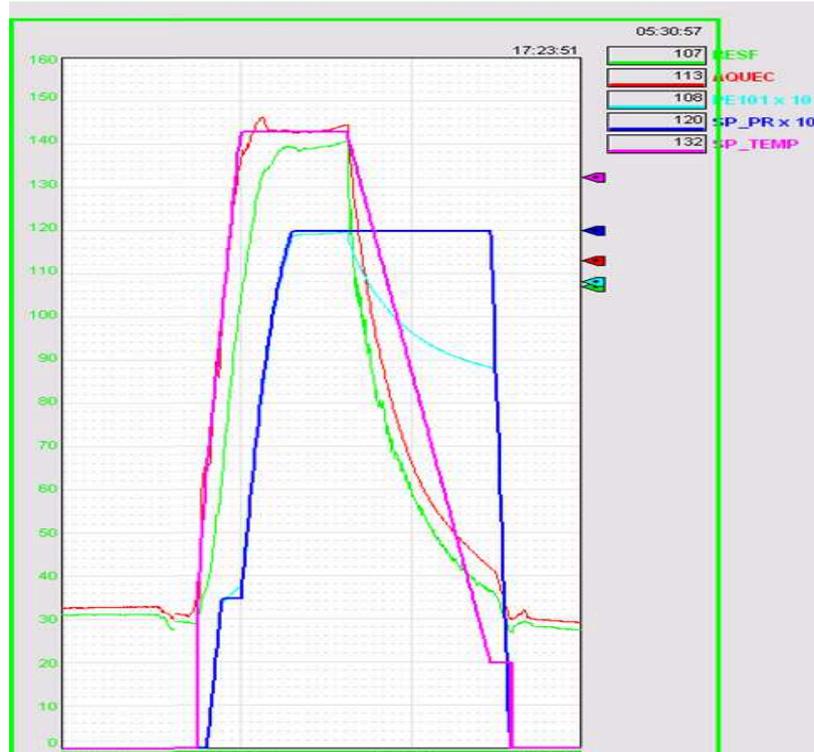
Na **Figura 10**, tem se a representação da temperatura e pressão. Na cor azul pressão e rosa temperatura. Na vertical temos temperatura em °C, variando de 30°C a 143°C. O tempo deste ciclo com apenas 2 (dois) motores foi de 176 minutos.



**Figura 10.** Ciclos com motores 1 e 3.

Fonte: Empresa de vidro laminado.

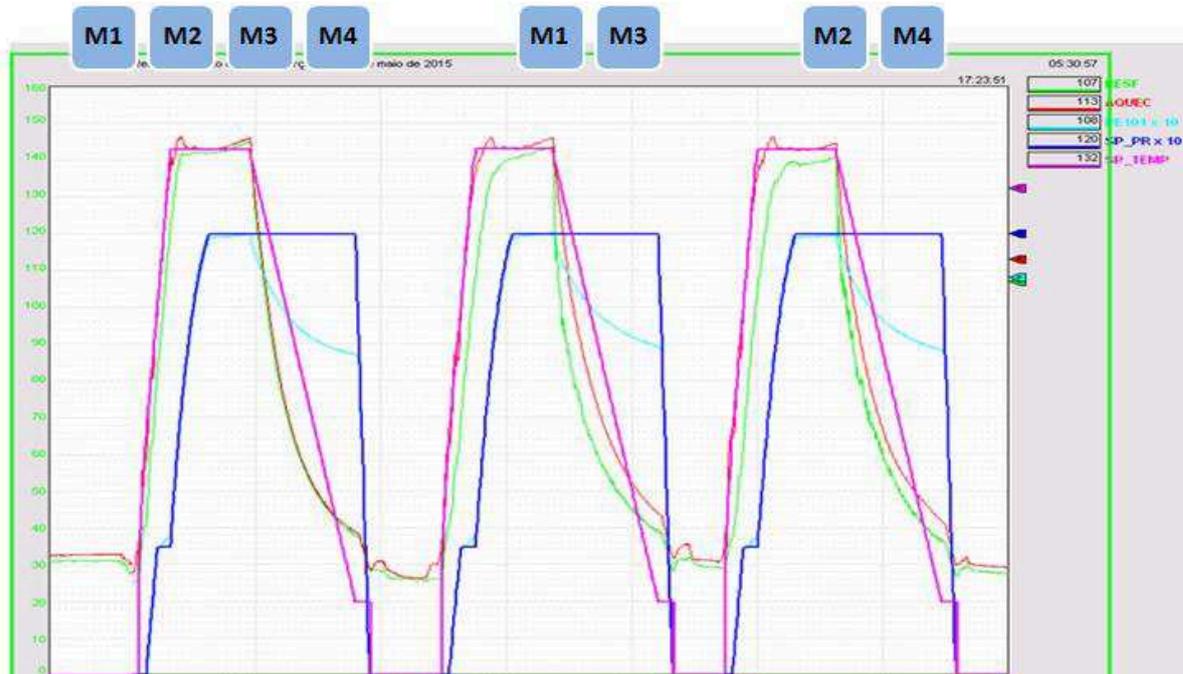
Foi testado também o ciclo com apenas os motores 2 e 4. O tempo de ciclo foi de 176 minutos, **Figura 11**.



**Figura 11.** Ciclos com motores 2 e 4.

Fonte: Empresa de vidro laminado.

É possível identificar que os ciclos com motores diferentes apresentam o mesmo comportamento. Para comparação, segue o gráfico do ciclo com os quatro motores, M1, M2, M3 e M4; com os motores M1 e M3; motores M2 e M4: **Figura 13**, o comparativo das três situações analisadas e não houve nenhuma alteração no comportamento da autoclave, houve apenas um minuto a mais no ciclo com os motores M2 e M4, não proporcionou nenhum problema de qualidade.



**Figura 12.** Ciclos das três situações analisadas.  
Fonte: Empresa de vidro laminado.

Tendo em vista que não houve qualquer tipo de perda tanto em qualidade quanto em produção, a proposta de melhoria é proporcionar um revezamento entre os quatro motores, sendo que a cada ciclo dois motores diferentes serão utilizados. Os mesmos não ficarão parados apenas em standy by por três horas, fazendo com que o aumento de vida útil seja proporcionado para os quatro motores.

#### 4.7 Cálculos do consumo de energia elétrica com quatro motores

Para calcular o consumo de energia elétrica durante o ciclo da autoclave, foi realizada a medição da corrente direto das três fases do motor, U, V e W, através de um multímetro. Foi possível detectar três situações de consumo de energia elétrica. A primeira situação o consumo é de 25 A (ampere) no modo vazio, onde não há pressão; segunda situação a pressão é de 3,5 bar e sua corrente é de 35 A; na terceira situação onde a autoclave atingi seu patamar de 12 bar pressão a 60 A. A autoclave possui uma receita, onde é dividida em sete passos, como pode ser visto na **Figura 12**.

	Passo 1	Passo 2	Passo 3	Passo 4	Passo 5	Passo 6	Passo 7	Passo 8	Passo 9	Passo 10
Tempo (min.)	5,0	5,0	10,0	5,0	30,0	80,0	10,0	0,0	0,0	0,0
Temperatura SP (°C)	65,0	100,0	143,0	143,0	143,0	20,0	20,0	0,0	0,0	0,0
Tolerancia Temp. (°C)	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	20,0	20,0	0,0	0,0	0,0
Pressao SP (Bar)	0,0	3,5	3,5	12,0	12,0	12,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Tolerancia Press. (Bar)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	6,0	0,1	0,0	0,0	5,0
Habilita ventiladores										
Pressurizacao										
Despressurizacao										
4 Aquecimento										
Resfriamento										

**Figura 13.** Receita do ciclo da autoclave.

Fonte: Empresa de vidro laminado.

Da **Tabela 1**, foi feita a demonstração do consumo de energia elétrica nas três situações, 60, 35 e 25 A, a potencia encontrada será multiplicada pelo tempo em que permanece a corrente de cada passo.

**Tabela 1.** Cálculo de consumo de energia elétrica.

PRESSÃO 12BAR	PRESSÃO 3,5BAR	PRESSÃO 0 BAR
<b>60 A</b>	<b>35 A</b>	<b>25 A</b>
$P=V \times I$	$P=V \times I$	$P=V \times I$
$P=220 \times 60$	$P=220 \times 35$	$P=220 \times 25$
$P=13200 \times 3$	$P=7700 \times 3$	$P=5500 \times 3$
$P=39,6KW \times 4(M)$	$P=23,1KW \times 4(M)$	$P=16,5KW \times 4(M)$
<b>P= 158,4 KW</b>	<b>P= 92,4 KW</b>	<b>P= 66 KW</b>

Fonte: Empresa de vidro laminado.

Da **Tabela 2**, o consumo de energia elétrica em cada passo, totalizando 424,56 KW em um ciclo teórico de 179 minutos com quatro motores. Esse tempo pode variar de acordo com a variáveis do sistema e até mesmo com a temperatura externa.

A partir do consumo de energia calculado durante o ciclo, foi possível chegar ao seguinte valor de consumo de energia elétrica, conforme resumido na **Tabela 3**.

**Tabela 2.** Calculo de consumo de energia elétrica em cada passo.

1	6 (MIN) /60 (1h) = 0,1x66(KW)	5,48
2	8/60 = 0,13x92,4	12,32
3	10/60 = 0,166x92,4	15,34
4	5/60 = 0,083x66	5,48
5	30/60 = 0,5x158,4	79,2
6	110/60 = 1,83x158,4	291,4
7	10/60 = 0,166x92,4	15,34
TOTAL		424,56 KW/3h

Fonte: Empresa de vidro laminado.

De acordo com as informações obtidas na empresa, o custo de energia elétrica é de R\$ 0,32 KW/h, com este custo podemos afirmar que o custo de energia elétrica durante um ano é de R\$ 645.606,72, como informado na **Tabela 3**.

**Tabela 3.** Calculo do valor de energia gasto por período.

CICLO	424,56KWx0,32(R\$)x3(h)	R\$407,58/ CICLO
PERÍODO	R\$ x PERÍODO	VALOR EM R\$
DIA	407,58x6	2.445,58
MÊS	2.445,58x22	53.800,56
ANO	53.800,56x12	645.606,72

Fonte: Empresa de vidro laminado.

#### 4.8 Cálculo de consumo de energia elétrica com apenas dois motores.

Considerando as mesmas condições utilizadas para calcular o consumo de quatro motores, foi aplicada a mesma situação utilizando no ciclo apenas com dois motores. Na **Tabela 4**, o cálculo de consumo de energia elétrica:

**Tabela 4.** Calculo de consumo de energia elétrica.

PRESSÃO 12BAR	PRESSÃO 3,5BAR	PRESSÃO 0 BAR
60 A	35 A	25 A
P=VxI	P=VxI	P=VxI
P=220x60	P=220x35	P=220x25
P=13200x3	P=7700x3	P=5500x3
P=39,6KWx2(M)	P=23100KWx2(M)	P=16500KWx2(M)
P= 79,2 KW	P= 46,2 KW	P= 33 KW

Fonte: Empresa de vidro laminado.

Da **Tabela 4**, assim como demonstrado para o consumo de quatro motores, foi realizado o cálculo para apenas dois motores nas condições de 60, 35 e 25 A.

**Tabela 5.** Calculo de consumo de energia elétrica em cada passo.

<b>1</b>	<b>6 (MIN) /60 (1h) = 0,1x33(KW)</b>	<b>2,74</b>
<b>2</b>	<b>8/60 = 0,13x46,2</b>	<b>6,16</b>
<b>3</b>	<b>10/60 = 0,166x46,2</b>	<b>7,67</b>
<b>4</b>	<b>5/60 = 0,083x33</b>	<b>2,74</b>
<b>5</b>	<b>30/60 = 0,5x79,2</b>	<b>39,6</b>
<b>6</b>	<b>110/60 = 1,83x79,2</b>	<b>145,7</b>
<b>7</b>	<b>10/60 = 0,166x46,2</b>	<b>7,67</b>
	<b>TOTAL</b>	<b>212,28 KW/3h</b>

Fonte: Empresa de vidro laminado.

Da **Tabela 5**, o cálculo para o consumo de energia elétrica em cada passo. O tempo de ciclo foi igual nas duas condições.

Com a utilização de apenas dois motores por ciclo temos o gasto de R\$ 322.803,36 durante um ano, podemos verificar na Tabela 6, o custo de energia elétrica diminui pela metade.

**Tabela 6.** Calculo do valor de energia gasto por período.

CICLO	212,28KWx0,32(R\$)x3(h)	R\$203,79/ CICLO
PERÍODO	R\$ x PERÍODO	VALOR EM R\$
DIA	203,79x6	1.222,74
MÊS	1.222,74x22	26.900,28
ANO	26.900,28x12	322.803,36

Fonte: Empresa de vidro laminado.

## 5 RESULTADOS COMENTADOS

Com base nas análises realizadas durante os testes envolvendo apenas dois motores, foi possível identificar um ganho no ciclo da autoclave.

Os ciclos com os motores 1 e 3 e 2 e 4, mostraram-se idênticos ao funcionamento atual com quatro motores. Pode-se ainda afirmar que a vida útil dos motores será preservada em 50%, pois através do revezamento proposto sempre haverá dois motores em stand by por ciclo. O custo de energia elétrica não levando em consideração os últimos reajustes é de R\$ 645.606,72 com quatro motores, após a implementação desta melhoria o ganho será de R\$ 322.803,36 anuais, tendo em vista que este valor pode variar para mais, pois não foram levados em consideração durante os cálculos os reajustes durante o período de crise hídrica.

Diante dessa melhoria será obtida uma redução de custo com energia elétrica de R\$322.803,36 anualmente, além de outros ganhos como a vida útil dos motores e redução da atuação de manutenção.

Para implantação dessa sistemática não será necessário nenhum investimento, apenas a utilização da mão de obra que a empresa já possui para alteração da lógica.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Buscar alternativas de reduções de custo na indústria não é uma tarefa simples, entretanto se cada vez mais realçarmos a estratégia no meio em que atuamos podemos desenvolver alterações simples, porém eficazes.

O intuito deste trabalho é unificar o aprendizado desenvolvido durante o período acadêmico com o conhecimento técnico aplicado na empresa de vidro laminado automotivo. As condições explicitas no desenvolvimento do estudo faz com que seja viável sua aplicação na empresa, tendo em vista que não será necessário nenhum investimento, apenas o aproveitamento da mão de obra que já possui e se tratando do grupo que detém empresa de vidro laminado automotivo, o presente trabalho pode ser aplicado em outras oportunidades não restringindo apenas a linha de estudo em questão.

Foi um ganho para empresa, pois foi possível observar que a autoclave tem a capacidade de operar com apenas dois motores, porém a cada ciclo é realizado um revesamento entre os quatros, possuindo apenas a restrição de que o ciclo deve ser feito com os motores 1 e 3 ou 2 e 4. Foram realizados todos os testes de qualidade solicitados pela norma NRB 14697, esta especifica os requisitos gerais, métodos de ensaio e cuidados necessários para garantir a segurança e a durabilidade do vidro laminado.

Com a aplicação deste trabalho houve um ganho em redução de custos em energia elétrica em 50% além do aumento de mesma proporção da vida útil dos motores.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 14697: vidro laminado*. Rio de Janeiro, 2001.

ABIVIDRO – ASSOCIAÇÃO TÉCNICA BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS AUTOMÁTICAS DE VIDRO. *Diferentes tipos de vidro*. 2013. Disponível em: [www.abividro.org.br](http://www.abividro.org.br). Acesso em: 18 nov.2015.

BNDES – BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. *Área de Pesquisa e Acompanhamento econômico. Perspectivas do investimento*. Rio de Janeiro: BNDES, fev. 2013. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/bibliotecadigital>. Acesso em: 18 out. 2015.

BRASIL. CALCULO DO SISTEMA FIRJAN. (Comp.). *Custo da Energia Elétrica para a Indústria no Brasil por Estado*. 2015. Disponível em: <http://www.quantocustaenergia.com.br/quantocusta/comparacoes/confira-os-rankings/estados/ranking-estados-quanto-custa-a-energia-eletrica-para-a-industria-no-brasil-sistema-firjan.htm>. Acesso em: 03 abr. 2015.

*CEBRACE O VIDRO – CEBRACE VIDROS*. Disponível em: <http://www.cebrace.com.br/v2/vidro>. Acesso em: 16 nov. 2015.

MAIA, S. B. *O vidro e a sua fabricação*. Rio de Janeiro, 2003.

MAYERCRYL, MY. *Consultoria em PVB. Brasil*. Disponível em: <http://www.mayercryl.com.br>. Acesso em: 18 nov. 2015.

MELO, C H P; TURRIONI, J B; XAVIER, A F; CAMPOS, D F. *Pesquisa-ação na engenharia de produção: proposta de estruturação para a sua construção*. V. 22, n.1. ABEPRO: Produção On-line. 2012.

MST – MANUFACTURING STARDADISATION ASSEMBLY. *Padronização de montagem e fabricação. Documento interno*. Caçapava, 2010.

TELLES, P. C. Silva . *Vasos de Pressão*. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Ed. 1991.

TERRUZZI, *Manual de instrução Autoclave*. 2010. *Documento interno*.

VALERA, T. S. *Reaproveitamento de vidros laminados provenientes de rejeitos industriais e pós-consumo*. Tese de Doutorado. São Paulo: 2005.