

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
UNIVERSIDADE ABERTA DO BRASIL
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
APLICADA AOS PROCESSOS PRODUTIVOS**

Silvio Cesar Ferreira da Rosa

**ANÁLISE TEÓRICA DA APLICAÇÃO DA NBR ISO 50001 SOBRE O
PROCESSO DE ROTOMOLDAGEM**

Camargo, RS
2017

Silvio Cesar Ferreira da Rosa

**ANÁLISE TEÓRICA DA APLICAÇÃO DA NBR ISO 50001 SOBRE O PROCESSO
DE ROTOMOLDAGEM**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos (EaD), da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Especialista em Eficiência Energética Aplicada aos processos Produtivos.**

Orientador: Prof. Dr. Cristiano José Scheuer

Camargo, RS
2017

Silvio Cesar Ferreira da Rosa

ANÁLISE TEÓRICA DA APLICAÇÃO DA NBR ISO 50001 SOBRE O PROCESSO DE ROTOMOLDAGEM

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos (EaD), da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Especialista em Eficiência Energética Aplicada aos processos Produtivos.**

Aprovado em 29 de Julho de 2017:

Prof. Cristiano José Scheuer, Dr.
(UFSM)
(Orientador)

Prof. Carlos Roberto Cauduro, Dr.
(UFSM)
(Presidente/Coorientador)

Prof^a. Giane de Campos Grigoletti, Dr.
(UFSM)
(Comissão Examinadora)

Prof. Alexandre Aparecido Buenos, Dr.
(UFSM)
(Comissão Examinadora)

Camargo, RS
2017

RESUMO

ANÁLISE TEÓRICA DA APLICAÇÃO DA NBR ISO 50001 SOBRE O PROCESSO DE ROTOMOLDAGEM

AUTOR: Silvio Cesar Ferreira da Rosa
ORIENTADOR: Dr. Cristiano José Scheuer

O processo de rotomoldagem, mesmo sendo um processo antigo, ainda hoje apresenta um baixo desenvolvimento tecnológico, se comparado com outros processos transformadores de polímeros, como a injeção e o sopro. Ainda hoje, é altamente dependente da mão de obra e seus parques fabris são restritos à produtos diferenciados. A eficiência energética está atingindo todos os setores da sociedade, como o residencial, comercial e industrial. Através desta pesquisa busca-se analisar, de forma teórica e simplificada, parte do processo de rotomoldagem, no intuito de se estabelecer um roteiro de auditoria energética e posterior identificação de pontos genéricos e comuns de melhora da eficiência energética. Desta forma, estruturou-se um processo virtual e deste, fez-se a auditoria energética. Por meio desta simulação, conseguiu-se definir etapas simples como: identificação e quantificação dos consumidores de energia. Dentro da etapa de análise foi possível a visualização do equipamento responsável pelo maior consumo energético e também financeiro. Por fim, conhecendo onde se deve dedicar um maior nível de atenção, para se obter maior eficiência energética, pode-se preparar um indicador de desempenho energético adequado, e focar no processo de melhoria contínua. Este por sua vez, teve como foco a adequação e diminuição do consumo de gás GLP sobre o total de polímero transformado.

Palavras-chave: Eficiência Energética, Rotomoldagem, ISO 50001, Auditoria Energética.

ABSTRACT

THEORETICAL ANALYSIS OF THE NBR ISO 50001 APPLICATION IN THE ROTOMOLDING PROCESS

AUTHOR: Silvio Cesar Ferreira da Rosa

ADVISOR: Dr. Cristiano José Scheuer

The rotomolding process, even though it is an old process, still has a low technological development compared to other polymer transform processes, such as injection and blowing. Even today, it is highly dependent on manpower and its manufacturing parks are restricted to differentiated products. Energy efficiency is reaching all sectors of society, such as residential, commercial and industrial. The aim of this research is to analyze, in a theoretical and simplified way, part of the rotomolding process, in order to establish a roadmap for energy auditing and subsequent identification of generic and common points of improvement of energy efficiency. In this way, a virtual process was structured and from this, the energy audit was done. Through this simulation, it was possible to define simple steps as: identification and quantification of energy consumers. Within the analysis stage it was possible to visualize the equipment responsible for the highest energy consumption and also financial. Finally, knowing where to focus on a higher level of attention, in order to achieve greater energy efficiency, an adequate energy performance indicator can be prepared, and focus on the process of continuous improvement. These improvements, in turn, focused on the adequacy and decrease of the consumption of LPG gas over the total of the polymer transformed.

Keywords: Energy Efficiency, Rotomoldagem, ISO 50001, Energy Audit.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Modelo de Sistema de Gestão da Energia para a NBR ISO 50001.	10
Figura 2 – Número estimado de rotomoldadores por região do mundo.....	15
Figura 3 – Percentual do mercado de transformação de plásticos por tipo de processo.	15
Figura 4 – Tamanho de partícula x percentual na composição do volume ou peso.....	16
Figura 5 – Estágios do processo de rotomoldagem na máquina de rotomoldagem.	19
Figura 6 – Interação do material com as etapas do processo na máquina de rotomoldagem. ..	20
Figura 7 – Exemplo de gráfico do software <i>RotoCycle</i> da Ferry.	22
Figura 8 – Desenho de um modelo tradicional para uma rotomoldadora tipo Carrossel de 3 Braços.	23
Figura 9 – Um <i>spider</i> , ou um lado de um braço de rotomoldagem ocupado por 12 moldes. ..	24
Figura 10 – Circulação e recirculação de ar dentro de um forno para rotomoldagem.	26
Figura 11 – Consumo de gás natural no Brasil.....	26
Figura 12 – Consumo setorial de Gás Natural.....	27
Figura 13 – Fluxo de energia do ano base 2015 no Brasil.	27
Figura 14 – Consumo setorial de eletricidade no Brasil.....	28
Figura 15 – Distribuição do Consumo por uso final no setor industrial.	29
Figura 16 – Representação conceitual ilustrativa do desempenho energético.	33
Figura 17 – Fluxograma ilustrando as etapas que compõem a metodologia adotada na presente monografia.	35
Figura 18 – Fluxo produtivo estabelecido para simulação do processo de rotomoldagem.....	36
Figura 19 – Arranjo dos equipamentos no ambiente fabril para a execução do processo de rotomoldagem.	37
Figura 20 – Micronizador marca <i>Reduction Engineering Scheer</i> modelo U400.....	38
Figura 21 – Ventilador de recirculação modelo VC500 que compõem a rotomoldadora.....	42
Figura 22 – Ventilador Exaustor modelo VE500 que compõem a rotomoldadora.	43
Figura 23 – Queimador Weishaupt WM-G(L)30/3-A que compõem a rotomoldadora.....	45
Figura 24 – Exaustor modelo VR105EX que compõem a unidade de pré-resfriamento.	46
Figura 25 – Ventilador modelo VR80 que compõem a unidade de resfriamento.	48
Figura 26 – Gráfico comparativo entre consumos energéticos do ambiente simulado.	52
Figura 27 – Medidor de vazão para gás.....	53
Figura 28 – <i>InfraRed Thermometry System Control</i>	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação entre os processos de moldagem por sopro, termoformagem e rotomoldagem.	18
Tabela 2 – Ficha técnica do micronizador marca <i>Reduction Engineering Scheer</i> modelo U400.	39
Tabela 3 – Modelos de Chillers compactos da marca Mecalor (indicação pela quadro em linha tracejada do modelo considerado nesse estudo).	40
Tabela 4 – Ficha técnica dos queimadores modelo WM (indicação pela quadro em linha tracejada do modelo considerado nesse estudo – WM-G(L)30/3-A).	45
Tabela 5 – Tabela de Preços Industriais SulGás.	51

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Especificações dimensionais básicas para o modelo apresentado na Figura 8.	23
Quadro 2 – Conversão energética do GLP.	24
Quadro 3 – Poder calorífico comparativo.....	25
Quadro 4 – Alguns requisitos da ISO 50001 e principais benefícios decorrentes da sua implementação.	30
Quadro 5 – Dados técnicos dos ventiladores de recirculação modelos VC (indicação pela quadro em linha tracejada do modelo considerado nesse estudo – VC 500).....	42
Quadro 6 – Dados técnicos do ventilador de exaustão do forno modelo VE (indicação pelo quadro em linha tracejada do modelo considerado nesse estudo – VE 500).....	44
Quadro 7 – Ficha técnica do exaustor modelo VR105EX que compõem a unidade de pré- resfriamento.	47
Quadro 8 – Ficha técnica do ventilador VR80 que compõem a unidade de pré-resfriamento.	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIPLAST	Associação Brasileira da Indústria do Plástico
ANBT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BRICS	Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul
CF	Constituição Federal
CNPQ	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CO2	Dióxido de carbono
FMEA	Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
IDE	Indicador de Desempenho Energético
ISO	International Organization for Standardization
NBR	Norma Brasileira.
PDCA	<i>Plan-Do-Check-Act</i> ou <i>Adjust</i>
PE	Polietileno

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	APRESENTAÇÃO DO TEMA.....	10
1.2	PROBLEMA.....	12
1.3	OBJETIVOS	12
1.3.1	Objetivo Geral	12
1.3.2	Objetivos Específicos	13
1.4	JUSTIFICATIVA	13
1.5	ESTRUTURA DA MONOGRAFIA	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1	ROTOMOLDAGEM.....	14
2.1.1	Estruturas do Processo de Rotomoldagem	18
2.1.2	Ocupação por máquina	23
2.1.3	Consumo Energético no Processo de Rotomoldagem.....	24
2.2	NORMA NBR ISO 50001	29
2.3	GESTÃO ENERGÉTICA	31
2.3.1	Indicadores de Desempenho	32
3	METODOLOGIA	34
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
4.1	ESTRUTURAÇÃO SIMULADA DO AMBIENTE.....	36
4.2	IDENTIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS CONSUMIDORES DE ENERGIA E DO SEU CONSUMO ENERGÉTICO	37
4.3	ANÁLISE DOS DADOS DE CONSUMO ENERGÉTICO COLETADOS	49
4.4	INDICADOR DE DESEMPENHO ENERGÉTICO E MELHORIA CONTÍNUA	53
5	CONCLUSÃO	56
	REFERÊNCIAS	57

1 INTRODUÇÃO

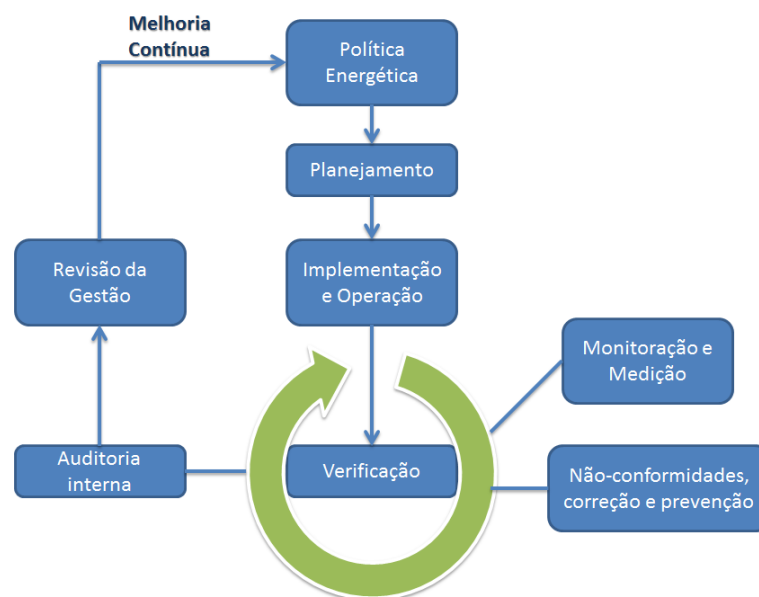
Neste capítulo será apresentado o contexto do tema pesquisado, sua importância frente à eficiência energética, a justificativa para esta pesquisa e a estrutura da monografia.

1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA

A norma NBR ISO 50001 foi publicada no Brasil pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) em 2011. Segundo Soares (2015), a NBR ISO 50001 estabelece uma série de preceitos para orientar as organizações na implementação de sistemas e processos visando à melhoria do desempenho energético, englobando a eficiência energética, o uso e consumo racional da energia.

A ISO 50001 baseia-se na abordagem do PDCA (*PLAN-DO-CHECK-ACT* ou *Adjust*), a qual estipula que o propósito fundamental da melhoria contínua deve estar claramente evidenciado. Assim, fluxos de gestão que valorizem a medição e o controle do planejamento inicial são bem vistos, além de processos auxiliares de correção e técnicas de tratamento de não conformidades que devem ser amplamente difundidos (ABNT, 2011; SOARES, 2015). A Figura 1 ilustra um fluxograma de tarefas que podem atender ao modelo de sistema de gestão proposto pela ISO 50001 (ABNT, 2011).

Figura 1 – Modelo de Sistema de Gestão da Energia para a NBR ISO 50001.



Fonte: Adaptação de ABNT (2011).

Na sequência desta pesquisa foi analisado o processo de rotomoldagem. Neste processo, existem duas formas básicas de energia que são constantemente consumidas: a

energia elétrica e a energia oriunda da queima de combustível para o aquecimento dos fornos. Este combustível, normalmente, é o Gás Liquefeito de Petróleo - GLP e/ou o Gás Natural, por ter uma queima menos poluente (CRAWFORD; KEARNS, 2003).

A energia elétrica irá atuar em força motriz sobre o funcionamento dos motores elétricos dos ventiladores, exaustores, motores dos carros de movimentação, dentre outros. Já o gás será utilizado para a geração de calor dentro dos fornos. Estes fornos tendem a alcançar temperaturas entre 350 °C e 400 °C. O consumo do gás pode chegar à 0,5 kg de gás por quilo de polímero processado, em um processo desbalanceado. Justamente por este fato, de ser um processo fora de balanço, este tipo de dado não é, normalmente registrado.

Observando-se o fluxograma da Figura 1, percebe-se que o processo de atribuição e gerenciamento de parâmetros fica a cargo do próprio gestor, sendo que, a exemplo de outras normas, a NBR ISO 50001 (ABNT, 2011) não estipula regras rígidas. Este conceito de parametrização, processo a processo, voltado à eficiência energética, conforme mencionado na própria norma, deve ficar à cargo do *benchmarking*. Mas quais são os principais fatores que devem ser considerados quando se avalia o processo de rotomoldagem, tendo-se como parâmetro avaliativo uma norma de eficiência energética?

Segundo Ramírez *et al.* (2006), o uso eficiente da energia contribui para a diminuição da contaminação ambiental e também está ligado à sustentabilidade social. No setor industrial, as oportunidades de conservação de energia estão relacionadas a questões estruturais, tecnológicas e de formação de pessoal. Isso torna a gestão do processo um fator fundamental na obtenção desta economia energética (RAMÍREZ *et al.*, 2006).

Dentro deste contexto, o estabelecimento de coeficientes de eficiência energética vem sendo discutido ao longo dos anos. Como exemplo, pode-se citar o estudo feito por Camioto *et al.* (2016), onde são considerados alguns fatores de eficiência energética no conjunto dos países chamado BRICS (Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul). Camioto *et al.* (2016) mencionam que o Brasil ocupa o topo da lista na classificação dos países com melhores índices de desenvolvimento em eficiência energética. Não obstante a isso, ainda existem muitos fatores restritivos a serem considerados entre o desenvolvimento econômico e um meio ambiente sustentável.

1.2 PROBLEMA

O processo de fabricação por rotomoldagem ganhou mercado a partir da década de 1940. Embora este processo tenha sofrido grande evolução no que tange a sua automatização (sobretudo nos últimos 30 anos), ainda continua dependente da mão de obra humana (CRAWFORD; KEARNS, 2003). Por se tratar de uma moldagem sem a aplicação de pressão e, como o aquecimento do polímero é realizado de forma indireta, o volume de combustível consumido e conseqüentemente os custos envolvidos na transformação de cada quilograma de polímero é mais alto do que aqueles observados nos demais processos de transformação de polímeros (como por exemplo, a injeção, sopro, extrusão, etc.). Porém, esta desvantagem é parcialmente compensada pela capacidade de produção de componentes de grandes dimensões, e pelo custo diminuído, ou reduzido de confecção do ferramental (CRAWFORD; KEARNS, 2003).

A sistemática usual de melhoria da eficiência energética (utilizando a abordagem de produzir mais com um menor consumo energético, ou produzir o mesmo volume com um consumo reduzido) pode ser aplicável ao processo de rotomoldagem, mesmo este tendo uma natureza complexa nas suas variáveis de execução. Neste sentido, para a avaliação do problema da eficiência energética, os fatores como combustíveis, máquinas e consumo de energia serão considerados, de modo a ser determinado qual destes tem maior efeito sobre a eficiência energética do processo, estipulando a variável de controle a ser melhorada.

1.3 OBJETIVOS

Como existem diversos fatores que influenciam de forma significativa no processo de rotomoldagem, pode-se estipular um objetivo geral e quatro objetivos específicos.

1.3.1 Objetivo Geral

Como objetivo geral deste trabalho, tem-se uma análise teórica de uma unidade de conformação de polímeros por rotomoldagem afim de, estabelecer um roteiro de auditoria energética e posterior identificação de pontos genéricos e comuns de melhora na eficiência energética. Para atender a esse propósito, os objetivos específicos listados a seguir devem ser atingidos.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Estruturar um layout básico para uma indústria rotomoldadora.
- Identificar os principais consumidores de energia e caracterizar o seus consumos energéticos.
- Identificar o principal consumidor energético.
- Propor melhorias para o principal consumidor energético.

1.4 JUSTIFICATIVA

O custo da energia elétrica e do gás combustível são alguns dos principais influenciadores no custeio do produto. Estes custos agem de forma direta e podem tornar o processo fabril mais ou menos competitivo. Além das questões financeiras, a questão ambiental envolvendo conforto térmico e queima de CO₂, são alguns dos fatores que podem colocar uma indústria dentro de um novo patamar de qualidade.

Melhorar a relação de consumo de energia, em contrapartida à quantidade de produto fabricado, pode ser muito interessante para qualquer empresa que visa o lucro. Mas, diminuir o consumo energético como consequência disto pode ser uma boa contribuição, não só para a indústria como também para a sociedade.

1.5 ESTRUTURA DA MONOGRAFIA

Esta pesquisa encontra-se estruturada em cinco capítulos, incluindo este primeiro, que visa à introdução ao assunto que será abordado. O capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica abordando os assuntos tratados nesta monografia, apresentando os temas: rotomoldagem, conceitos e processos, NBR ISO 50001, gestão energética e indicadores de desempenho. O capítulo 3 trata da abordagem metodológica utilizada para a realização do estudo. O capítulo 4 destina-se à apresentação e discussão dos resultados obtidos. Finalizando a monografia, o capítulo 5, trata das considerações finais do trabalho, onde são relatadas as conclusões do trabalho e algumas sugestões para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica descrevendo inicialmente o processo de rotomoldagem. Na sequência é apresentada de forma sintética a norma NBR ISO 50001 (ABNT, 2011) e, ao final do capítulo, é feita uma descrição sumarizada dos princípios da gestão energética.

2.1 ROTOMOLDAGEM

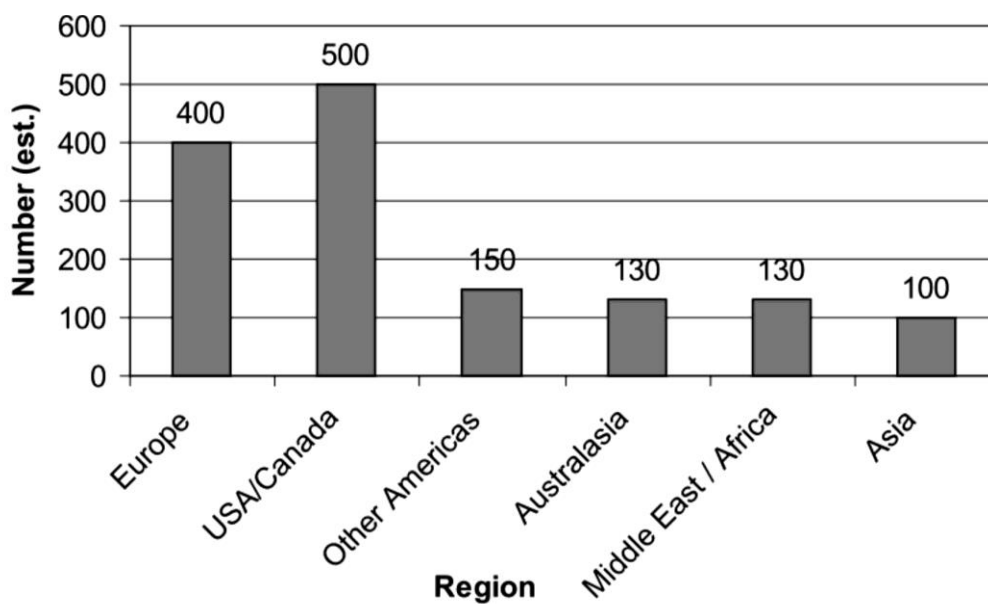
De uma forma genérica, a rotomoldagem é um método simples de se fabricar produtos plásticos ocos (CRAWFORD *et al.*, 1995) . Conforme Crawford *et al.* (1995), mesmo com o avanço tecnológico dos equipamentos rotomoldadores, a sua operação ainda é bastante dependente da habilidade e experiência do operador. Fatores de controle como temperatura de forno, tempo de residência no forno, velocidades de rotação, duração dos estágios de resfriamento, entre outros, propiciam uma interação complexa e um número de variáveis que podem mudar conforme a combinação de moldes em um mesmo braço ou *Spider*¹ (CRAWFORD *et al.*, 1995).

Crawford e Kerns (2003) mencionam que, apesar de não haver dados precisos sobre o mercado da rotomoldagem, na década de 1990, este processo já era conhecido e aplicado em praticamente, todo o mundo. No que tange ao número de rotomoldadores, nessa época, a América do Norte já contava com um número expressivo, assim como a Europa, porém em menor número que a primeira. A Figura 2 mostra de forma mais detalhada os rotomoldadores existentes nos anos 1990.

Já no Brasil, conforme veiculado pela Associação Brasileira da Indústria do Plástico (ABIPLAST, 2014), a rotomoldagem representou, em 2014, apenas 1,32 % da parcela de produção de transformados plásticos. Por meio da Figura 3 é ilustrado o percentual de transformação de polímeros por tipo de processo, para os processos convencionais de conformação de polímeros.

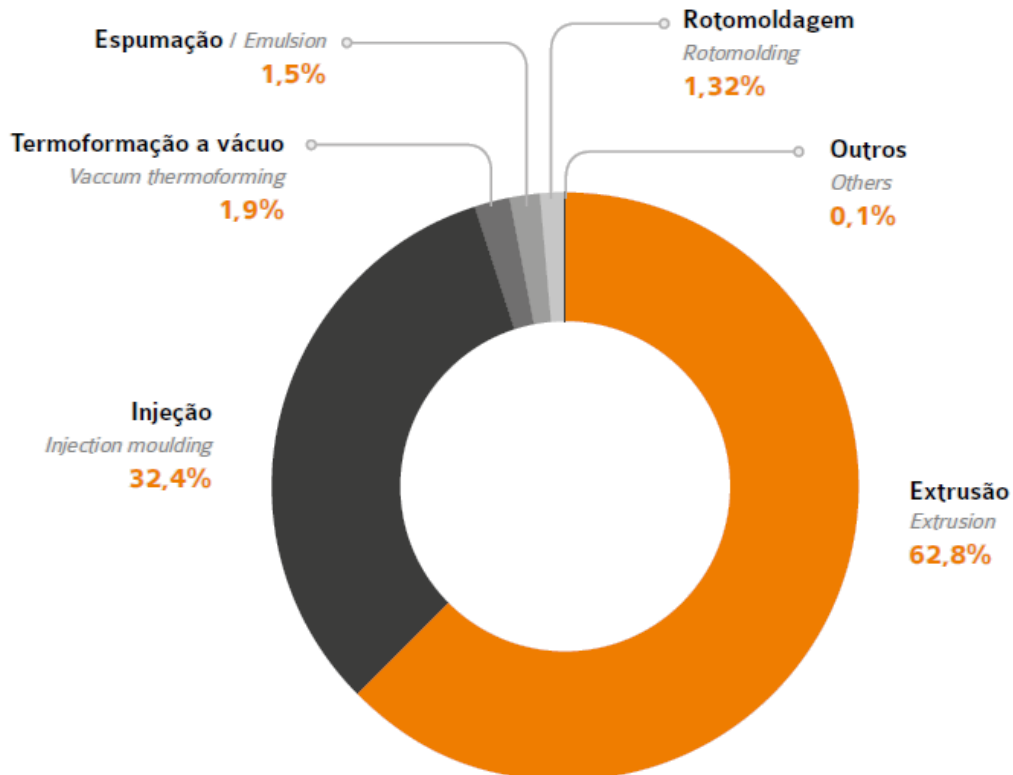
¹ *Spider* é um termo comum usado entre os Rotomoldadores para designar um dos lados do braço estendido de cada carro da máquina de rotomoldagem. É justamente neste *spider*, que leva este nome por ter um formato parecido com uma teia de aranha, onde são fixados os moldes. De outro modo, um braço pode ter somente um molde fixado, sendo considerado um braço *off-set*, ou ter dois *spiders* fixados e por conseguinte, ter dois ou mais moldes fixados em seu conjunto.

Figura 2 – Número estimado de rotomoldadores por região do mundo.



Fonte: (CRAWFORD; KEARNS, 2003).

Figura 3 – Percentual do mercado de transformação de plásticos por tipo de processo.



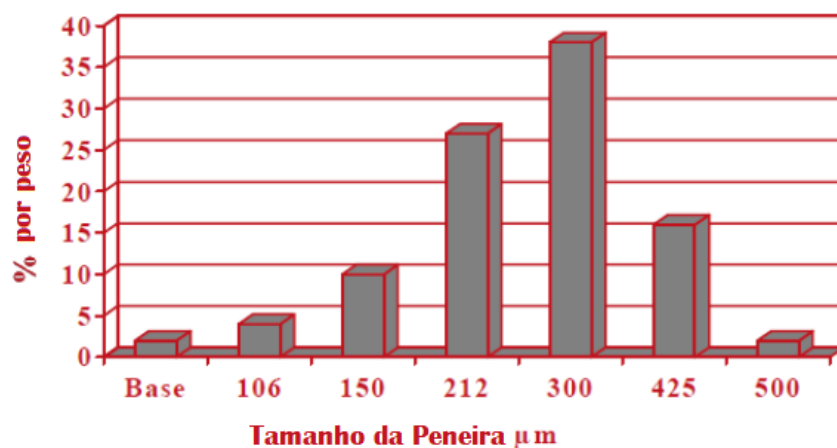
Fonte: (ABIPLAST, 2014).

Para Greco e Maffezzoli (2004), a rotomoldagem se diferencia dos demais processos de transformação de plásticos por, além de produzir peças ocas, oferecer a possibilidade de produção de peças com paredes duplas (dupla camada) e, também, de componentes com grandes dimensões. Contudo, o tipo de material e suas características dimensionais (tamanho da partícula do material) influenciam diretamente o processo. Isto faz com que a rotomoldagem não seja aplicável ao processamento de todos os tipos de polímeros (GRECO; MAFFEZZOLI, 2004).

Um equipamento com sistema bem desenvolvido deve permitir o controle de parâmetros a fim de se obter um correto ciclo de moldagem, reduzidos tempos de ciclos, controle sobre as propriedades do moldado durante os estágios de resfriamento, estabilidade entre as eficiências de forno e resfriamento, além de possibilitar a síntese de materiais. Assim, equipamentos controlados remotamente permitem um melhor controle de processo (CRAWFORD *et al.*, 1995).

No que concerne ao efeito das características do material sobre a eficiência do processo de rotomoldagem, Crawford e Kearns (2003) demonstraram que há um tamanho ideal de particulado de polímero. Este tamanho permite aumentar a eficiência da rotomoldagem de determinado produto. A Figura 4 mostra o tamanho de partícula e seu percentual na composição total do volume ou peso.

Figura 4 – Tamanho de partícula x percentual na composição do volume ou peso.



Fonte: Adaptação de (CRAWFORD; KEARNS, 2003).

Para Crawford e Kearns (2003), o processo de rotomoldagem possui mais vantagens que desvantagens. Como principais vantagens, podem ser citadas:

- a produção de peças ocas sem formação de linhas de soldas ou juntas;
- um produto final livre de tensões que poderiam resultar no empenamento do material;
- moldes relativamente baratos;
- tempo de confecção de moldes relativamente curtos;
- lotes de fabricação menores podem ser viáveis economicamente;
- a carga total carregada no molde é utilizada na fabricação da peça, existindo assim, pouco desperdício;
- possibilidade de se fazer múltiplas camadas na parede do produto;
- diferentes produtos podem ser feitos simultaneamente no mesmo equipamento rotomoldador;
- acessórios como rebites e insertos metálicos podem ser colocados junto com o processo de uma forma simples; e,
- o processo aceita colocar gráficos de alta qualidade junto ao molde e, por consequência, chegar a um produto final logo após o processo.

Ainda para Crawford e Kearns (2003), as principais desvantagens do processo são:

- longos tempos de ciclo;
- a gama de matéria-prima para o processo ainda é limitada;
- custos da matéria-prima são relativamente elevados devido à necessidade de pacotes especiais de aditivos;
- a matéria-prima precisa estar muito fina, ou seja, micronizada; e
- algumas características geométricas dos produtos, como nervuras, são especialmente difíceis para o processo.

A Tabela 1 mostra uma comparação entre vários aspectos dos processos de moldagem por sopro, termoformagem e rotomoldagem, tendo em vista que em vários casos, estes processos são concorrentes entre si.

Tabela 1 – Comparação entre os processos de moldagem por sopro, termoformagem e rotomoldagem.

Fator	Moldagem por Sopro	Termoformagem	Rotomoldagem
Capacidade típica de volume do produto (cm ³)	10 ¹ - 10 ⁶	5-100	10 ¹ - 10 ⁸
Matéria-prima disponível	Limitado	Amplio	Limitado
Forma da matéria-prima	Pellets	Chapas	Pó ou líquido
Custo da preparação de matérias-primas	Não	Até +100 %	Até + 100 %
Fibras de reforço	Sim	Sim	Sim, muito difícil
Materiais para moldes	Aço e alumínio	Alumínio	Aço e alumínio
Pressão do molde	<1 MN/m ²	<0,3 MN/m ²	<0,1 MN/m ²
Custo do molde	alto	moderado	Moderado
Tolerância da espessura na parede	10 %-20 %	10 %-20 %	10 %-20 %
Uniformidade da espessura da parede	Tendência à não uniformidade	Tendência à não uniformidade	Uniformidade Possível
Inserções	Possível	Não	Sim, muito difícil
Orientação do material na parede	Alta	Muito Alta	Não
Tensões residuais	Moderada	Alta	Baixa
Nível de detalhamento do produto	Muito boa	Boa, com pressão	Adequada
Gráficos no produto e/ou molde	Sim	Possível	Sim
Tempo de ciclo	Rápido	Rápido	Lento
Intensidade do trabalho	Não	Moderado	Sim

Fonte: Adaptação de (ROTOWORLD, 2017), Apud Throne, J.L.,Plastics Engineering, 54,10 (1998).

2.1.1 Estruturas do Processo de Rotomoldagem

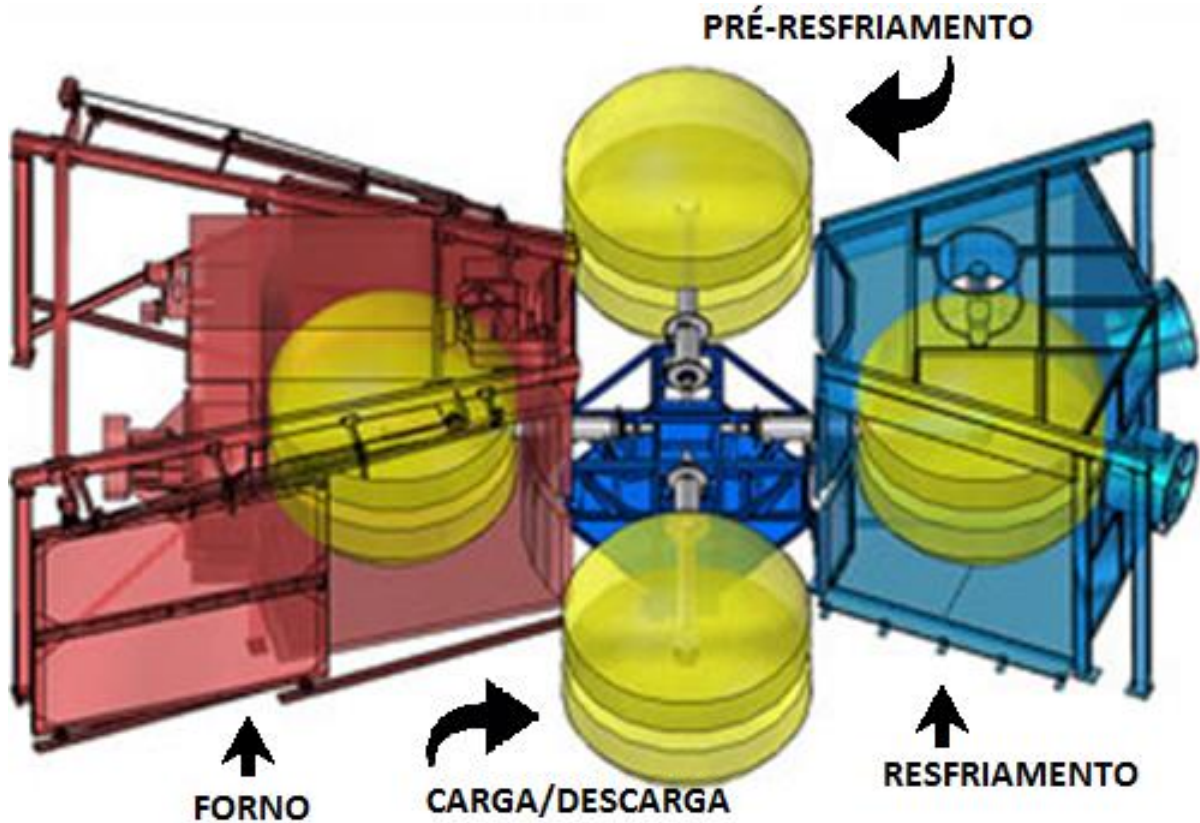
Para Gonçalves (2000), o trabalho realizado nas empresas sempre faz parte de algum processo, assim, não existe produto oferecido que não venha de um processo sistemático. Por outro lado, não faz sentido a existência de um processo que não gere um produto ou serviço (GONÇALVES, 2000).

Para Silva (1999), a inter-relação de processos entre clientes e fornecedores está diretamente ligada aos principais conceitos sobre gestão estratégica de custos. A gestão deve buscar o enfoque sobre toda a cadeia produtiva, vislumbrando a cooperação como arma para se competir. A divisão básica do processo na máquina rotomoldadora se dá em quatro estágios (FERRYINDUSTRIES, 2017). Estes estágios são alocados como:

- alimentação/descarga;
- forno;
- pré-resfriamento; e
- resfriamento.

A Figura 5 demonstra o desenho de uma máquina rotomoldadora com a identificação de cada estágio de operação.

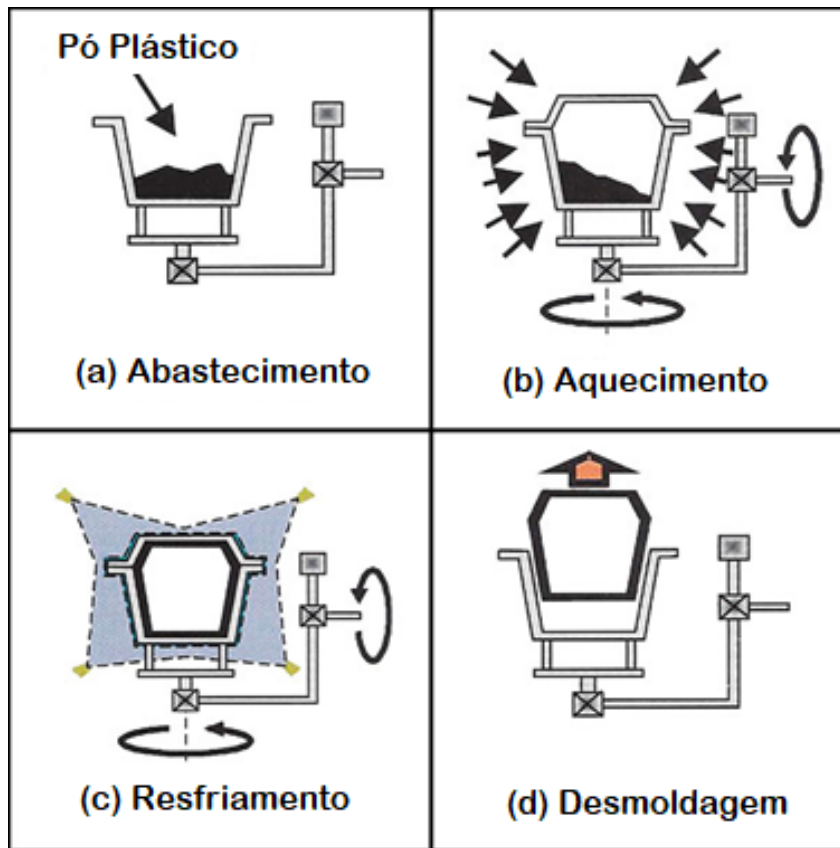
Figura 5 – Estágios do processo de rotomoldagem na máquina de rotomoldagem.



Fonte: Adaptação de FERRYINDUSTRIES (2017).

De forma simplificada, a Figura 6 mostra a relação existente entre a matéria-prima e os estágios da Figura 5. Sendo as etapas (a) e (d) nos estágios de carga e descarga, a etapa (b) no forno e a etapa (c) no pré-resfriamento e resfriamento.

Figura 6 – Interação do material com as etapas do processo na máquina de rotomoldagem.



Fonte: Adaptação de ROTOWORLD (2017).

As etapas anteriores à máquina rotomoldadora envolverão (CRAWFORD; KEARNS, 2003; CRAWFORD; THRONE, 2002):

- recebimento de matéria-prima e estocagem;
- micronização;
- pigmentação;
- estocagem;
- pesagem e separação do material por produto; e
- entrega da matéria-prima na máquina.

Já as etapas pós-máquina envolverão os processos de:

- controle de contração no resfriamento;
- recortes, se necessário;
- rebarbamento, se necessário;
- acabamento final com adição de acessórios ou polimento;
- montagem entre peças, se necessário;

- limpeza;
- embalagem; e
- estocagem.

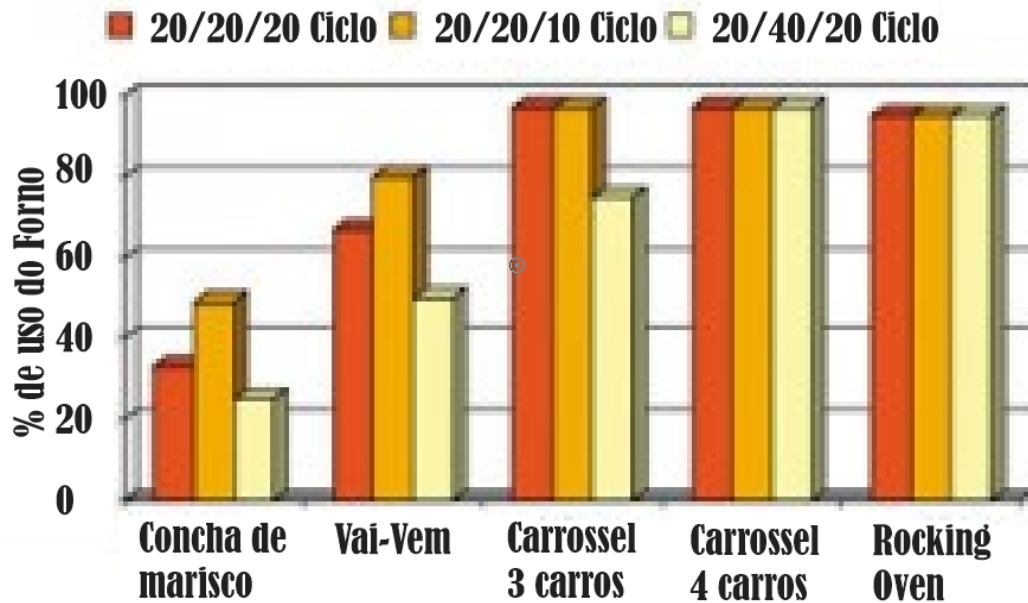
Nota-se que, nas etapas de pré-máquina e pós-máquina, não é utilizado o gás combustível, sendo normalmente necessária somente a utilização de energia elétrica. Visando assim uma maior ação sobre as etapas que mais consomem energia e tem maior custo, algumas empresas desenvolveram programas computacionais de simulação. Um exemplo disto é o *RotoCycle*TM.

O *RotoCycle*TM é um programa computacional que permite simular a rotomoldagem. Utiliza-se a simulação do processo para auxiliar na identificação de gargalos no ciclo. Ao simular cenários que melhoram utilização do forno e do resfriamento, pode-se melhorar a capacidade de produção e reduzir o consumo de energia. A energia pode ser economizada na preparação da máquina para produção, pois fornece métricas para medir a produção real da máquina reduzindo, assim, as energias gastas testando cenários de produção na própria máquina. Outros benefícios incluem (FERRYINDUSTRIES, 2017):

- mistura de vários estilos de molde nos braços das máquinas;
- cálculo de ciclos de produção;
- seleção dos tipos de máquina apropriados para o *mix* de produtos;
- análise através de simulação do ciclo de operação da máquina;
- utilização de gráficos das estações; e
- projeção de ciclos completos para cada estação da máquina em um determinado período de tempo.

Usando dados de estudo de tempo real de um processo de rotomoldagem, o *RotoCycle*TM pode estimar capacidades de produção para fornecer métricas que os gerentes podem usar como um guia para a produção física. A Figura 7 mostra um tipo de gráfico oriundo do *RotoCycle*TM.

Figura 7 – Exemplo de gráfico do software *RotoCycle* da Ferry.



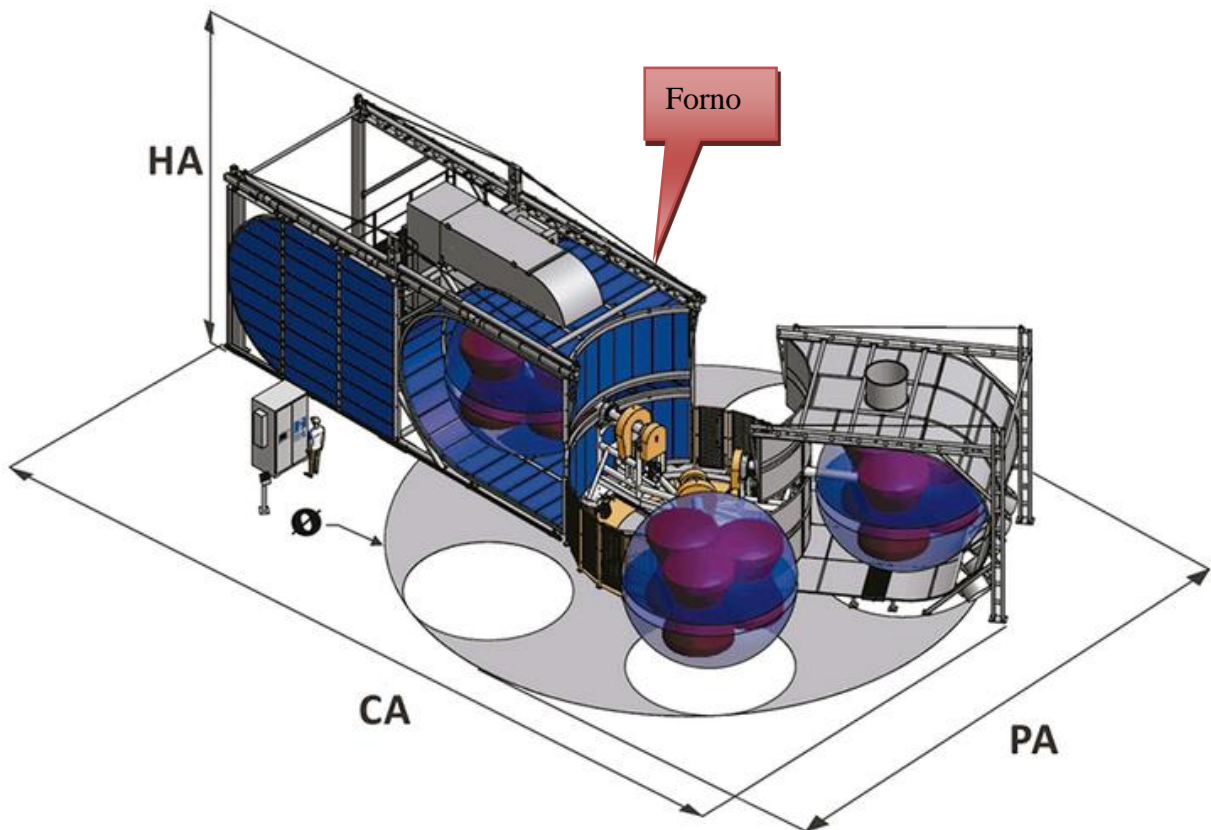
Fonte: Adaptação de ROTOWORLD (2017).

Como as máquinas de rotomoldagem trabalham com peças de volumes entre 0,05 e 10.000 litros, a generalização de tipos de máquinas se torna difícil, porém alguns tipos são mais comuns. São eles, conforme Crawford e Kearns (2003):

- máquinas tipo carrossel (mais utilizado para produção continuada de moldes com geometria uniforme e alta produtividade);
- máquinas tipo vai-vem (mais utilizado em ciclos curtos e poucos moldes);
- máquinas tipo concha de marisco (normalmente utilizada em laboratórios); e
- máquinas tipo *Rock and Roll* (utilizada para geometrias tipo caiaque).

A Figura 8 mostra um esquema de uma máquina tipo carrossel com três braços e o Quadro 1 mostra as especificações dimensionais relativas à Figura 8. Nota-se que, para este tipo de equipamento, e nestas especificações, é necessária uma área de quase 130 m² para a instalação do equipamento. Este equipamento foi escolhido em função de sua alta capacidade produtiva e aproveitamento energético superior às outras, já que o forno não fica vazio em intervalos de ciclo.

Figura 8 – Desenho de um modelo tradicional para uma rotomoldadora tipo Carrossel de 3 Braços.



Fonte: (ROTOLINE, 2016).

Quadro 1 – Especificações dimensionais básicas para o modelo apresentado na Figura 8.

DIMENSÕES		ROTOLINE			
MODELO DA MÁQUINA	HA	CA	PA	Ø	ØFORNO
CR 2.60	3900mm 153,5in	13600mm 535in	9440mm 372in	9440mm 372in	2700mm 106in

Fonte: (ROTOLINE, 2016).

2.1.2 Ocupação por máquina

Dentro do contexto de eficiência energética e sua ampla relação com a eficiência produtiva, percebe-se que, quanto maior for a eficiência produtiva total do equipamento, melhor será sua eficiência energética. A Figura 9 mostra como uma correta ocupação de

espaço, no *spider*, pode trazer benefícios, pois melhora a relação “kg de gás consumido / kg de polímero produzido”.

Figura 9 – Um *spider*, ou um lado de um braço de rotomoldagem ocupado por 12 moldes.



Fonte: (CRAWFORD R. J., KEARNS M. P., 2003).

Nota-se que o consumo de gás combustível aumentará sempre que for aumentada a quantidade de polímero a ser transformado, mas o consumo de combustível por kg de polímero poderá ser menor toda vez que a ocupação for completamente usada.

2.1.3 Consumo Energético no Processo de Rotomoldagem

A rotomoldagem possui basicamente dois tipos de consumo energético: o consumo de energia elétrica oriunda da concessionária de distribuição de energia (ou de geração própria), e o consumo de gás natural ou GLP (CRAWFORD; KEARNS, 2003). Conforme informações fornecidas pela Petrobrás (LIQUIGÁS DISTRIBUIDORA, 2008), um metro cúbico de Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) líquido pesa em média 570 kg e um metro cúbico de GLP em vapor pesa em torno de 2,2 kg. O GLP possui um poder calorífico de 11.500 kcal sendo que 1 kg de GLP equivale à aproximadamente 13,37 kW/h (SERVGÁS, 2017). O Quadro 2 mostra as relações de equivalência entre o GLP e outros combustíveis conhecidos.

Quadro 2 – Conversão energética do GLP.

	Óleo Diesel	Carvão	Lenha	Energia Elétrica	Gás de Rua (Nafta)	Gás Natural
1 kg de GLP corresponde a	1,13 kg	2,30 kg	3,96 kg	13,37 kW/h	2,74 m ³	1,22 m ³

Fonte: (SERVGÁS, 2017).

O Quadro 3 mostra a relação entre combustíveis e o seu poder calorífico.

Quadro 3 – Poder calorífico comparativo.

Índice	Quantidade	Combustível	Poder Calorífico
A	1 kg	GLP	11.500 kcal
B	1 kg	Óleo Diesel	10.200 kcal
C	1 kg	Carvão	5.000 kcal
D	1 kg	Lenha	2.900 kcal
E	1 kW	Energia Elétrica	860 kcal
F	1 m ³	Gás de Rua	4.200 kcal
G	1 m ³	Gás Natural	9.400 kcal

Fonte: (SERVGÁS, 2017).

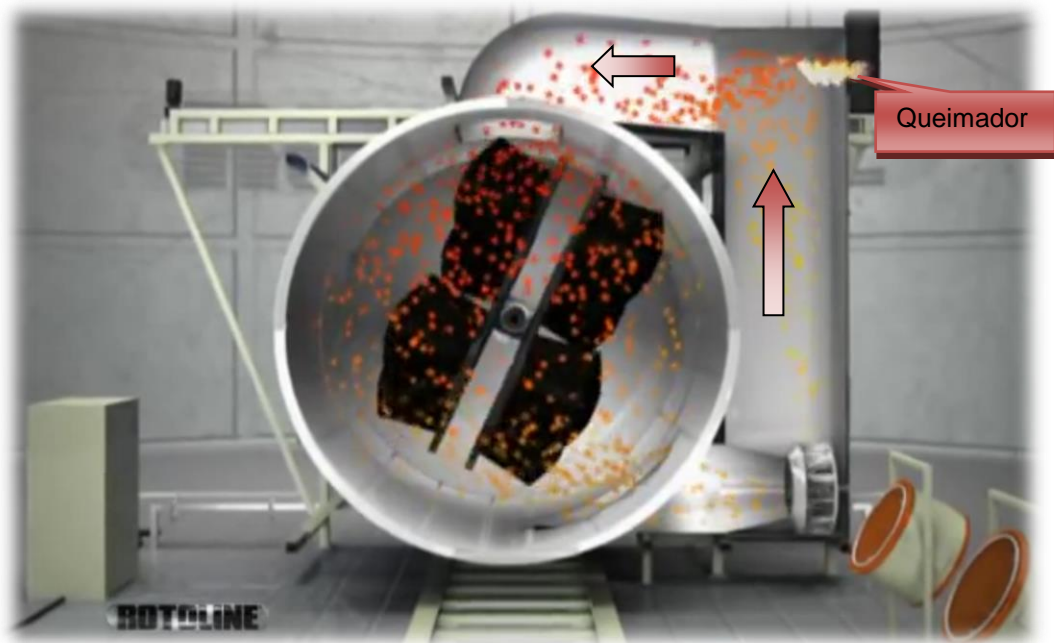
No experimento feito por Ghosh (2004), constatou-se que tempos de queima inferiores à 14 minutos de forno deixam o polímero em um estado de fusão incompleta. Para um intervalo de medição entre 13 e 20 minutos, observou-se que a entrada de energia com 13 minutos foi de 1,25 MJ, mas a energia útil ao polímero foi somente 0,27 MJ, já com 20 minutos, a entrada de energia foi 1,72 MJ e a energia útil ao polímero foi de 0,35 MJ. Estes valores dizem que aproximadamente 80 % da energia gasta no forno foi utilizada no aquecimento da massa auxiliar.

Foi possível perceber que para uma composição de alumínio (80 kg) + polímero (19 kg), relativo à molde e matéria prima, gastou-se, em 17 minutos de aquecimento, 21,5 MJ. Já quando se adicionou uma estrutura de aço auxiliar (418 kg), relativo à fixação do molde, no mesmo tempo foram necessários mais 58 MJ de energia. Mesmo com um processo otimizado e observando a disponibilidade de materiais existentes, a entrada de calor na carcaça constituiu quase 73 % da entrada total de energia (GHOSH, 2004).

Conforme Andrade (2006), o custo do gás equivale à aproximadamente 40 % do custo do polietileno (PE) transformado. Assim o consumo ideal de gás por quilograma de polietileno transformado está na ordem de 0,15 kg de gás/kg de PE, sendo que, para este autor, não se deve ultrapassar o ponto de 0,225 kg de gás/kg de PE, ou seja, um acréscimo de 50 % sobre o valor base. Ações voltadas à recirculação de ar forçada na câmara de combustão, troca térmicas mais eficientes nos moldes e isolamento eficiente do forno podem gerar uma economia na ordem de 25 % de gás combustível (ANDRADE, 2006).

A Figura 10 mostra como acontece a circulação de ar quente dentro de um forno, onde quanto mais avermelhada for a cor do ar, mais quente ele estará.

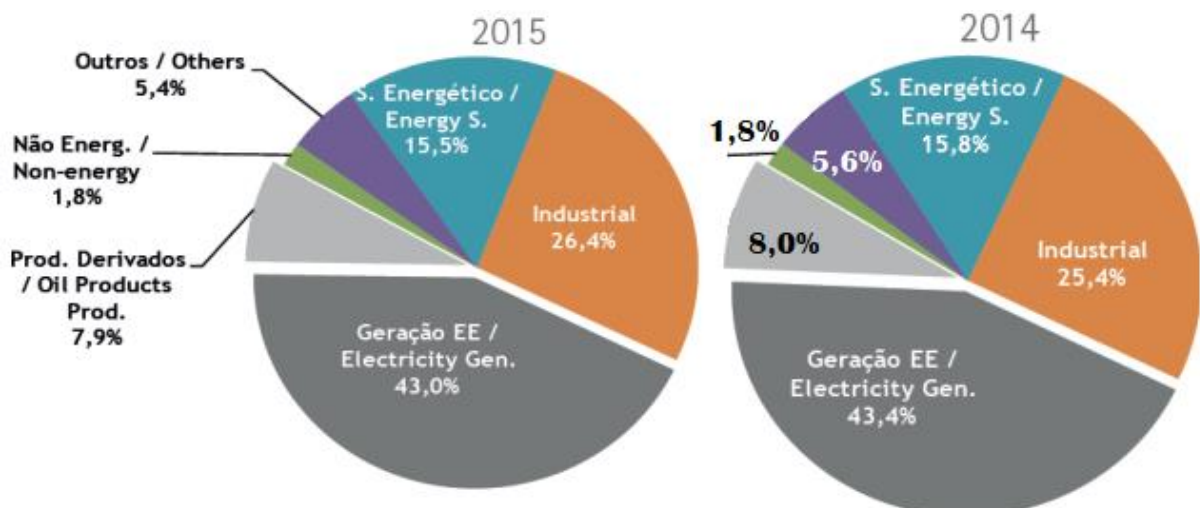
Figura 10 – Circulação e recirculação de ar dentro de um forno para rotomoldagem.



Fonte: Adaptação de ROTOLINE (2016).

Através da análise da Figura 11, pode-se perceber que do consumo total de gás natural no Brasil, mais de 25 % é devido aos processos industriais de uma forma mais ampla. O restante é dividido entre geração de energia, produção de derivados, etc.

Figura 11 – Consumo de gás natural no Brasil.

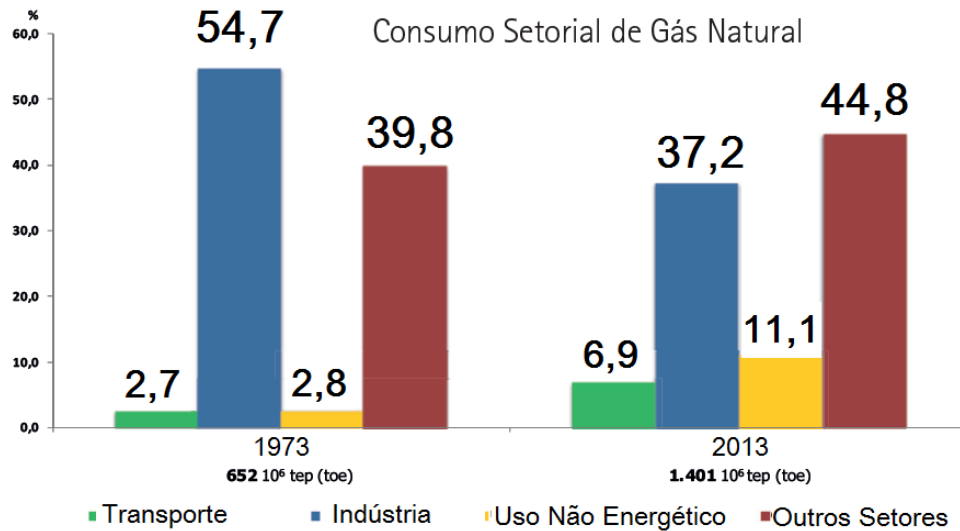


Fonte: (EPE, 2016).

Nota-se também que, conforme a Figura 12, o setor industrial (em azul) era o que mais consumia gás natural, porém este percentual diminuiu de 54,7 % para 37,2 % nos últimos

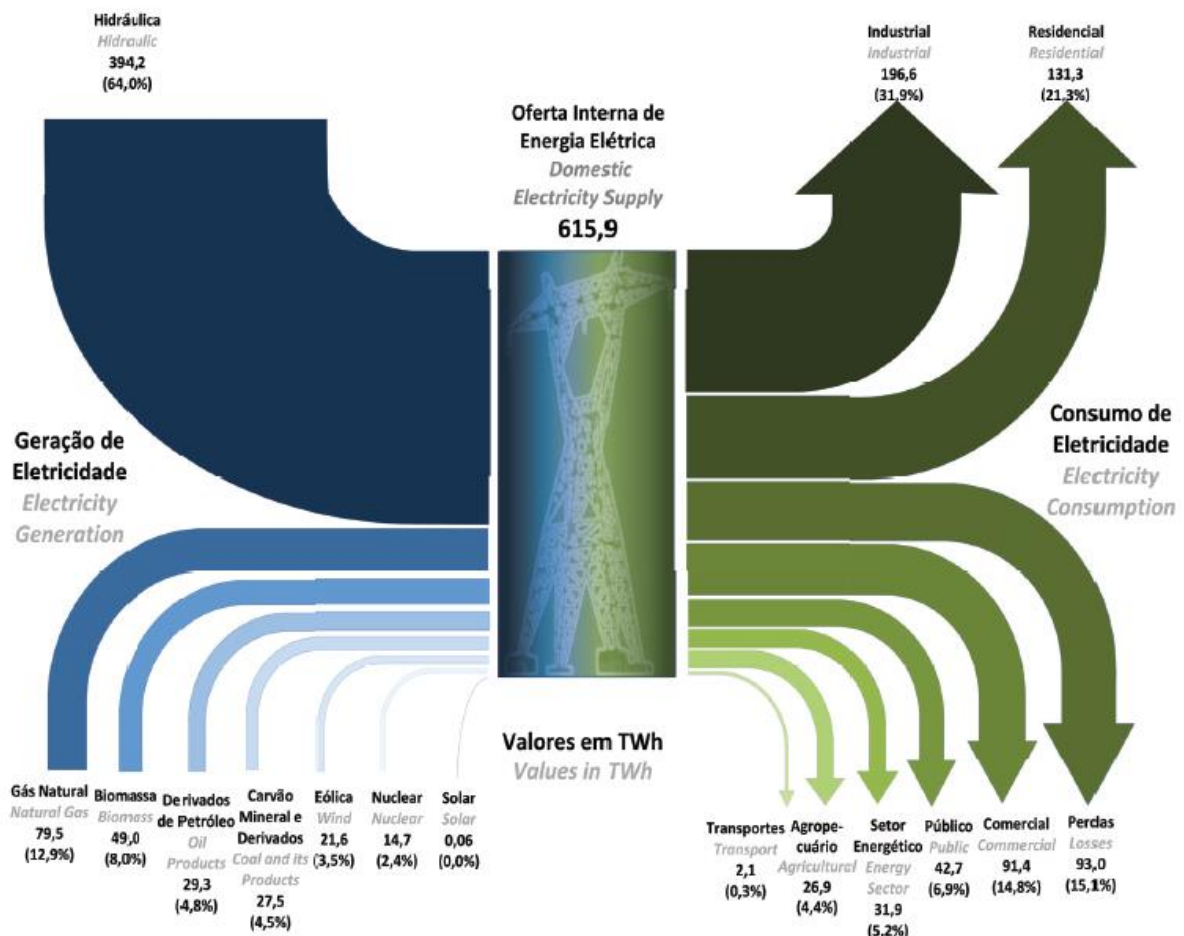
anos. Já no que se refere ao consumo de energia elétrica no Brasil, aproximadamente 32 % é feito pelo setor industrial, conforme pode ser visto na Figura 13.

Figura 12 – Consumo setorial de Gás Natural.



Fonte: (EPE, 2016).

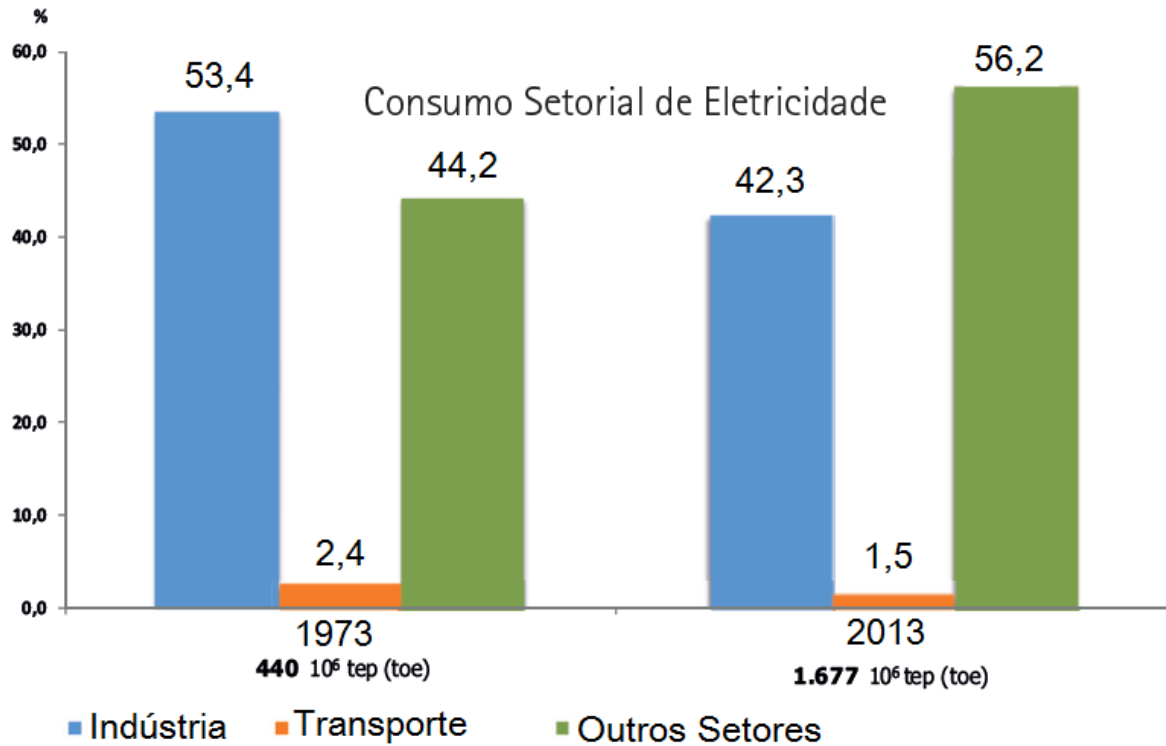
Figura 13 – Fluxo de energia do ano base 2015 no Brasil.



Fonte: (EPE, 2016).

Este valor representa um decréscimo significativo, pois na década de 1970, o setor industrial era responsável por mais de 50 % do consumo de energia elétrica conforme pode ser visto na Figura 14.

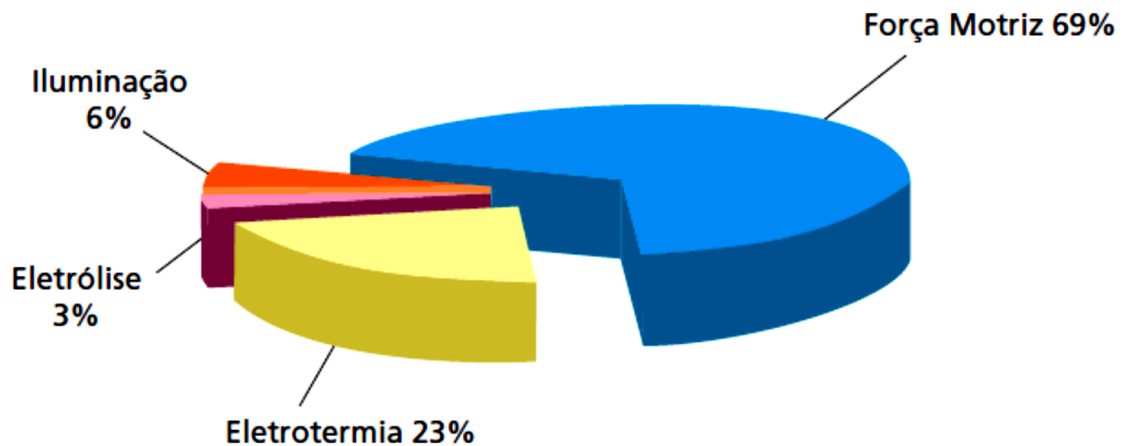
Figura 14 – Consumo setorial de eletricidade no Brasil.



Fonte: (EPE, 2016).

O Balanço Energético Nacional (BEN), de 2016, diz que o setor industrial consome cerca de 31,9 % da energia elétrica gerada no país (EPE, 2016). Conforme o Relatório de Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil, deste total, cerca de 69% é consumido por força motriz através de motores elétricos (ELETROBRAS, 2009). O custo do kWh em 2015 pela Concessionária de Energia Elétrica Estadual (CEEE) está próximo aos R\$ 0,45 em bandeira verde R\$ 0,51 em bandeira vermelha, para o setor industrial (CEEE, 2017). Estes dados aplicados à indústria da rotomoldagem revelam que o maior consumo energético é através do Gás GLP quando se avalia o custo da energia. A Figura 15 apresenta a distribuição do consumo por uso final no setor industrial relativo ao consumo de energia elétrica.

Figura 15 – Distribuição do Consumo por uso final no setor industrial.



Fonte: (ELETROBRAS, 2009).

Com base no exposto, é notória a necessidade de realização de estudos com o intuito de aumentar a eficiência dos processos industriais por meio da redução do consumo de energia. Essa estratégia permite a redução dos custos de produção, com consequente redução do custo final do produto, aumentando a competitividade da empresa junto ao mercado consumidor. Neste sentido, na seção seguinte é apresentada uma síntese da norma ABNT NBR ISO 50001, a qual trata sobre a gestão da energia.

2.2 NORMA NBR ISO 50001

Para Soares (2015), a ISO 50001 fornece uma base, sobre a qual as organizações podem demonstrar que tem uma gestão de energia estruturada sobre um sistema eficaz. Esta gestão não deve visar apenas melhorias no seu próprio desempenho energético, mas também comprovar que os produtos e serviços prestados são energeticamente mais eficientes.

Conforme a ISO 50001, um sistema de gestão de energia é um “conjunto de elementos inter-relacionados, ou interativos, para estabelecer uma política energética e objetivos energéticos, e processos e procedimentos para atingir tais objetivos” (ABNT, 2011, p. 3). Da mesma forma, a denominação para o Indicador de Desempenho Energético (IDE) fica sendo “valor ou medida quantitativa de desempenho energético conforme definido pela organização” (ABNT, 2011, p. 3).

Soares (2015) ainda faz algumas ressalvas com relação à energia em si, pois esta pode ser apresentada sob diversas formas:

- energia mecânica;
- energia térmica (energia interna, entalpia);

- energia de ligação química;
- energia de ligação física;
- energia de radiação eletromagnética; e
- energia elétrica.

A ISO 50001 estabelece requisitos iniciais e indica possíveis benefícios, seguindo um padrão de normas ISO já existentes (SOARES, I. 2015). O Quadro 4 mostra alguns destes requisitos e em contrapartida apresenta alguns dos possíveis benefícios. A partir deste ponto pede-se o seguimento do PDCA como forma de melhoria contínua.

Quadro 4 – Alguns requisitos da ISO 50001 e principais benefícios decorrentes da sua implementação.

Requisitos	Benefícios
-Definição de política energética, objetivos, metas e planos de ação.	-Envolvimento da gestão de topo. -A gestão de energia é integrada na gestão corrente.
-Identificação sistemática dos usos e consumos energéticos e respectivos impactos.	-Tudo é considerado. -Enfoque nos aspectos que têm maior potencial de poupança.
-Definição de processos e de procedimentos.	-Consistência na implementação. -Maior eficiência nos processos.
-Atribuições e responsabilidades de comunicação definidas.	-Pessoal treinado, competente e com consciência das suas funções e responsabilidades. -Maior envolvimento.
-Implementação de controlos operacionais.	-Incremento do uso eficiente de recursos. -Minimização das situações do risco de desvios do consumo de energia.
-Monitorização e medição do consumo de energia. -Estabelecimento de relação entre o consumo e os fatores que o influenciam.	-Previsão do consumo de energia. -Os desvios podem ser identificados e corrigidos. -Informação relevante recolhida para a decisão.

Fonte: Adaptação de SOARES (2015).

Em conjunto com a ISO 50001, recomenda-se o uso da NBR ISO 50002 - Diagnósticos energéticos - Requisitos com orientação para uso (ABNT, 2014), e da NBR ISO 50006 - Sistemas de gestão de energia — Medição do desempenho energético utilizando linhas de base energética (LBE) e indicadores de desempenho energético (IDE) — Princípios gerais e orientações (ABNT, 2016). A ISO 50002 irá indicar um fluxo adequado de identificação e quantificação (ABNT, 2014).

Relacionado à parte de auditoria energética e após esta, a ISO 50006 irá fornecer os conceitos de monitoramento sobre os indicadores com a finalidade de manter o sistema de gestão sobre o modelo de melhoria contínua proposto pelo PDCA, seguindo assim as etapas de modificar e acompanhar (ABNT, 2016).

2.3 GESTÃO ENERGÉTICA

A gestão energética pode ser definida como a análise, o planejamento e a tomada de decisão a fim de se obter, sobre os sistemas de produção e seus apoios, o menor consumo possível da energia, sem que, com isso, se perca a qualidade produtiva de qualquer sistema. Como no setor industrial, a energia elétrica representa um grande percentual dentre todos os usos de energia, o uso de equipamentos mais eficientes e com mais tecnologia embarcada, tem sido uma das alternativas utilizadas (RAMÍREZ *et al.*, 2006).

Ainda conforme Ramírez *et al.* (2006), normalmente os fatores que incidem sobre a gestão da eficiência energética estão relacionados à:

- I. limitações tecnológicas;
- II. problemas ambientais;
- III. barreiras políticas e comerciais;
- IV. custos elevados x mercado consumidor; e
- V. falta de normas regulamentadoras.

Para Soares (2015, p.16), a ISO 50001 foi desenvolvida como um “futuro referencial para a gestão de energia, prevendo-se que possa influenciar diretamente até 60 % do consumo mundial de energia”.

2.3.1 Indicadores de Desempenho

Andrade *et al.* 2016, comentam que “a criação de modelos que utilizam métodos qualitativos para avaliar o desempenho ambiental vem sendo amplamente empregados em pesquisas, gestão e tomada de decisão.” Assim, “é fundamental que as organizações adquiram ferramentas de gestão hábeis, que sejam capazes de propor estratégias ambientais que contemplem as necessidades legais, a eficiência do processo produtivo e o aprimoramento no planejamento ambiental” (ANDRADE *et al.*, 2016 p. 124 e 125). O uso da Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos (FMEA) como ferramenta de gestão vem sendo um item essencial para avaliação de aspectos e impactos ambientais (ANDRADE *et al.*, 2016).

Martins *et al.* (1998) relatam que, para se propor uma sistematização dos indicadores desempenho, é muito importante a adoção de um modelo de referência. Para a ISO 50001 e ISO 50006, um indicador de desempenho pode ser um simples parâmetro, uma simples razão ou um modelo complexo, além de estar correlacionado com a etapa de Planejamento no PDCA. Porém, a organização deve identificar os indicadores apropriados e determinar a metodologia para acompanhamento, controle e finalização da meta (ABNT, 2011, ABNT, 2016).

Cada indicador de desempenho deve ser acompanhado de objetivos, metas e planos de ação para a gestão da energia. Neste contexto faz-se necessária a atribuição de responsabilidades, meios e cronogramas para atingimento de metas, declaração do método de verificação da melhoria e declaração do método para verificação de resultados (ISO 50001). De uma maneira mais simplista, o indicador de desempenho pode ser a razão entre o valor obtido pela meta multiplicado por 100 (ÂNGELO, 2005).

Em uma análise sobre o monitoramento, Hernández (2016), em seu estudo sobre o alcance da auditoria interna dentro das organizações, descreve esta como sendo condição indispensável no mundo empresarial, devido à sua constante evolução, globalização e à busca por melhores resultados econômicos. Assim, o controle interno deve ser estabelecido com base em um ambiente de controle, em uma valorização do risco, com atividades de controle definidas, contendo informação e comunicação, e por fim, com constante monitoramento (HERNÁNDEZ, 2016).

O desempenho energético deve incluir o consumo de energia e a eficiência energética, como por exemplo, diminuir a demanda de pico, utilizar o excedente de energia ou resíduo energético ou melhorar as operações de seus sistemas, processos e equipamentos. A Figura 16 mostra uma representação das interações voltadas ao desempenho energético.

Figura 16 – Representação conceitual ilustrativa do desempenho energético.



Fonte: (ABNT, 2011).

3 METODOLOGIA

Conforme Gil (2002), as pesquisas podem ser classificadas quanto à sua natureza, forma de abordagem, objetivos e procedimentos. Tendo-se esta caracterização como ponto inicial de partida, a presente pesquisa será classificada da seguinte forma:

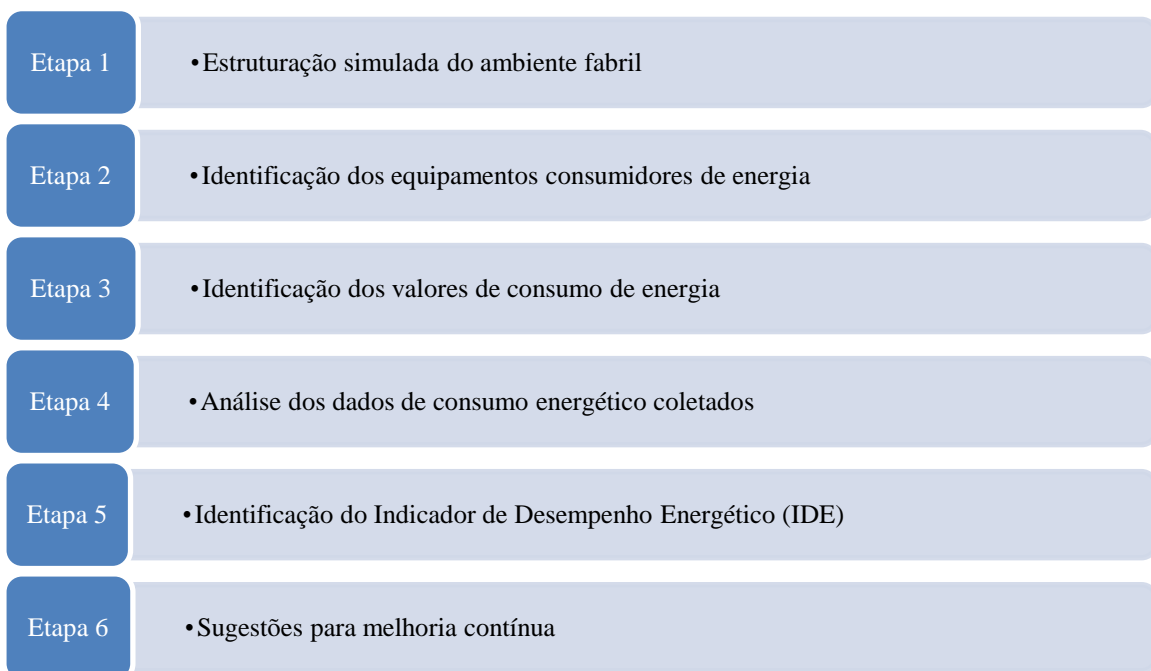
- quanto à sua natureza - pesquisa aplicada, pois busca conhecimentos práticos relativos à máquinas e equipamentos e, procura vincular estes conhecimentos à gestão energética;
- quanto à forma de abordagem - pesquisa quantitativa, pois trata de valores numéricos, métricos e não aborda itens qualitativos;
- quanto aos objetivos - estes podem ser classificados como exploratórios e explicativos, pois buscam mostrar, a partir de informações básicas, um caminho sistemático e adequado a ser seguido; e,
- quanto aos procedimentos - esta pesquisa se caracteriza como experimental, uma vez que busca, através da análise de causa e efeito, entender um fenômeno pré-estabelecido, já que foi definido o objeto de estudo, selecionado as variáveis que influenciam, defino as formas de controle e observado os efeitos produzidos na pesquisa.

Para elaboração do procedimento metodológico da presente pesquisa, levou-se em consideração o texto da NBR ISO 50002 (ABNT, 2014), sendo a metodologia segmentada, em ordem cronológica, em seis etapas, conforme pode ser visualizado na Figura 17.

Na primeira etapa do procedimento experimental o ambiente fabril foi estruturado de forma simulada, sendo identificados os equipamentos que o constituem. A segunda fase correspondeu à identificação dos equipamentos consumidores de energia que integram o ambiente fabril a ser simulado. Na terceira etapa, foram levantados os valores do consumo energético destes equipamentos. Para essa etapa, considerando-se o ambiente fabril simulado, foi feita uma coleta de dados sobre o consumo energético de cada equipamento, com base em informações fornecidas por fabricantes. Na quarta etapa, foram analisados os dados de consumo energético coletados e identificados, dentre os equipamentos que compõem o sistema produtivo em análise, aqueles que são responsáveis pelo maior consumo de energia, sendo constatado que estes correspondem ao micronizador e a máquina rotomoldadora do tipo carrossel. A quantificação do consumo foi feita em termos energéticos e financeiros. Na quinta etapa, com base na análise dos dados financeiros e de consumo energético, foi proposto

o Indicador de Desempenho Energético (IDE) do processo produtivo em análise. Nesta etapa, foi sugerido um tipo padrão de indicador de desempenho, e alguns pontos de interferência no processo, com o intuito de aplicar o processo de melhoria contínua estabelecido como padrão pelas normas ISO (*International Organization for Standardization*). Por fim, na sexta e última etapa do procedimento metodológico, foram listadas as sugestões de melhoria contínua, tendo como base o valor de IDE determinado.

Figura 17 – Fluxograma ilustrando as etapas que compõem a metodologia adotada na presente monografia.



Fonte: Adaptação de ISO 50002 (2014).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ESTRUTURAÇÃO SIMULADA DO AMBIENTE

O ambiente fabril necessário para a execução do processo de rotomoldagem pode ser um ambiente simples ou mais complexo, com vários equipamentos e processos dispostos em série, paralelo ou ambos, ou somente uma máquina rotomoldadora executando o processo principal. Isso irá depender das necessidades específicas de cada empresa, tendo em vista o produto a ser obtido e a matéria-prima empregada na sua conformação.

Tendo em vista que nesta pesquisa foi realizada uma análise simulada do consumo energético do processo de rotomoldagem, optou-se por considerar um ambiente fabril estruturado de forma simples, com um fluxo produtivo desenvolvido segundo a sequência ilustrada na Figura 18. É importante salientar que este fluxo produtivo é empregado em grande parte das instalações de rotomoldagem.

Figura 18 – Fluxo produtivo estabelecido para simulação do processo de rotomoldagem.

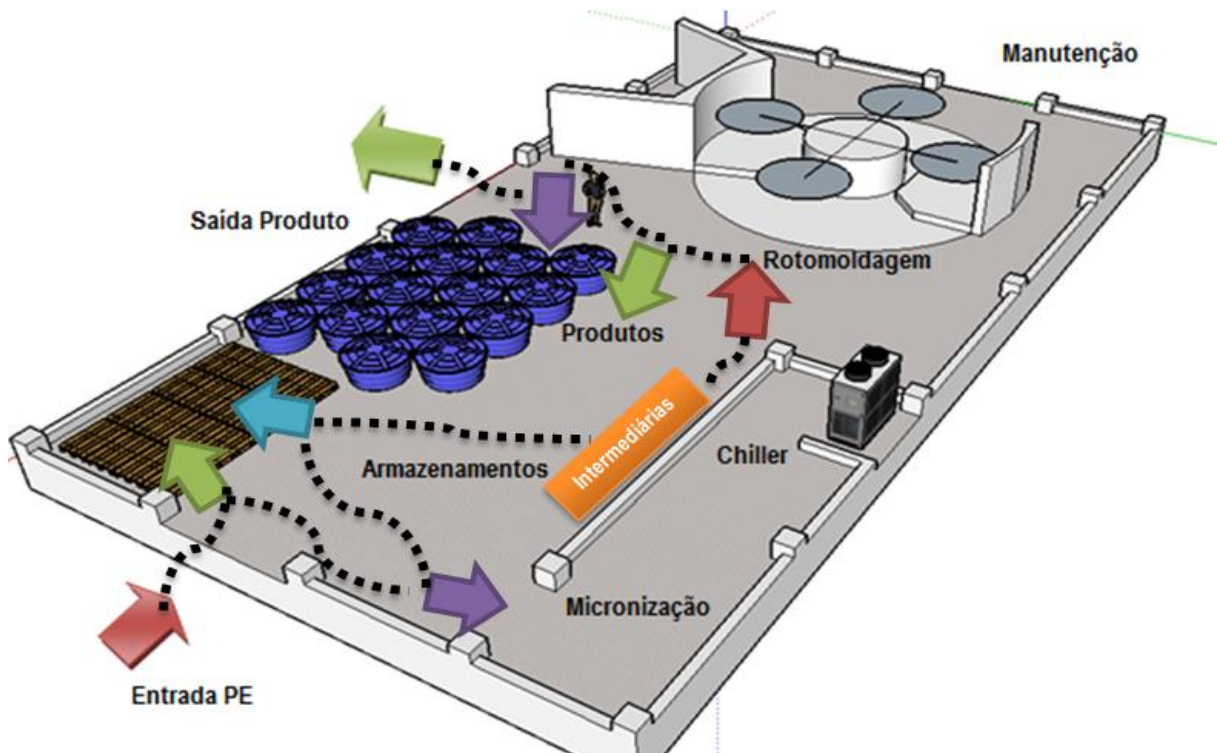


Obs.: Etapas intermediárias – pigmentação, armazenamento do pigmentado, transporte interno, pesagem e similares.

Fonte: O autor.

A partir do estabelecimento do fluxo do processo produtivo, foi possível estruturar o arranjo dos equipamentos no ambiente fabril, o qual é ilustrado na Figura 19.

Figura 19 – Arranjo dos equipamentos no ambiente fabril para a execução do processo de rotomoldagem.



Fonte: O autor.

A Figura 19 mostra o *layout* onde se pode observar que a primeira etapa do fluxo está correlacionada com a Entrada PE. O armazenamento do pó é feito normalmente próximo à máquina identificada como Rotomoldagem, o armazenamento do produto são os reservatórios d'água e a saída da fábrica fica na seta à esquerda, em verde. O primeiro equipamento a ser medido no consumo energético está localizado na etapa de micronização.

4.2 IDENTIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS CONSUMIDORES DE ENERGIA E DO SEU CONSUMO ENERGÉTICO

Após o estabelecimento do arranjo dos sistemas técnicos no ambiente fabril a ser simulado, realizou-se a identificação dos equipamentos consumidores de energia que integram este. Considerando que esta pesquisa foi realizada em um ambiente fabril simulado, foram considerados somente alguns dos equipamentos que integram um ambiente fabril real. Dessa forma, os dados dos gastos energéticos e custos econômicos determinados aqui não deverão ser considerados como a totalidade do consumo de uma unidade de produção real. Em uma unidade industrial real, ou seja, no caso da realização de uma pesquisa similar em um ambiente não simulado, todos os itens conectados à rede elétrica, ou que consomem energia de qualquer outra natureza, deverão ter o seu consumo medido e monitorado.

Partindo-se da entrada da matéria-prima, seguindo o fluxo produtivo estabelecido na Figura 18 e Figura 19, foram considerados que todos os deslocamentos da matéria-prima e produto entre as diversas etapas do ciclo produtivo foram realizados manualmente (ou seja, utilizando-se energia humana em substituição à qualquer equipamento que consumisse energia).

Dentre os equipamentos que integram a unidade simulada, considerando-se o fluxo produtivo estabelecido, o primeiro consumidor de energia corresponde ao micronizador. Para desenvolver os cálculos do consumo energético deste componente, foi tomado como referência um moinho marca *Reduction Engineering Scheer*², modelo U400 (Figura 20).

Figura 20 – Micronizador marca *Reduction Engineering Scheer* modelo U400.



Fonte: (REDUCTIONENGINEERING, 2017).

A ficha técnica do equipamento ilustrado na Figura 20 é apresentada no Tabela 2. Segundo esta, o equipamento é constituído por dois motores com 55 e 22 kW de potência acoplados a um sistema de inversor de frequência com rendimento de 90%.

² Este equipamento corresponde à um moinho de navalhas com lâminas horizontais (um conjunto de lâminas fixas e outro conjunto móvel). No interior deste equipamento, o *pellet* alimentado é pulverizado e classificado por uma sequência de peneiras. Somente as partículas com dimensões que permitam a passagem pela última peneira apresentam a granulometria correta, sendo liberados para utilização no processo produtivo. Fonte: REDUCTIONENGINEERING (2017).

Tabela 2 – Ficha técnica do micronizador marca *Reduction Engineering Scheer* modelo U400.

FICHA TÉCNICA			
Micronizador		U400	U400PVC
Material		LDPE, HDPE, ABS, ... ¹	PVC
Tam. Inicial	Milímetros	≤ 10	
Tam. Final	Mícrons	500	840
	Produção (kg/h)	500 - 700	640 - 860
Discos	Qtd./ Diâmetro (mm)	4 / 432 ou 483	
	Motores (1 e 2) (kW)	55 / 22	55 / 45
Telas	Qtd / Area (m ²)	8 / 4,0	
	Mesh (US)	35	20
Controles	Kloeckner Moeller	Incluídos	
Dimensões	L x C x H (mm)	2337 x 1524 x 5683	

Fonte: Adaptação de REDUCTIONENGINEERING (2017).

Considerando-se que este equipamento opera ininterruptamente sob uma jornada de trabalho de 8 horas por dia (T_{Op}), a partir da potência consumida pelos motores que o compõem (dados indicados anteriormente na Tabela 2) e tendo em vista o seu rendimento (η), pode-se determinar o seu consumo energético diário através da Eq. (1):

$$C_{\text{energético micronizador}} = P_{\text{Motor 1+Motor 2}} \times \eta \times T_{Op} \quad (1)$$

Onde:

C = Consumo Energético (kWh/dia)

P = Potência Consumida (kW)

n = Rendimento do motor

T = Tempo de operação do equipamento (h/dia).

Aplicando-se os dados na Eq. (1), obtém-se:

$$C_{\text{energético micronizador}} = \frac{(55_{kW\text{motor1}} + 22_{kW\text{motor2}})}{0,9_{\text{rendimento}}} \times 8_{\frac{\text{horas}}{\text{dia}}}$$

$$= 684,4 \text{ kWh/dia}$$

Analisando-se o funcionamento do equipamento em discussão, verificou-se que necessita de um sistema de refrigeração auxiliar nos discos. Por esta razão, junto a este é necessário considerar a introdução de um *chiller*³. O equipamento considerado nesta simulação foi um *chiller* marca Mecalor modelo MSW-15 composto por uma bomba de

³ O *chiller* é basicamente um resfriador de água. A água passa por ele e é resfriada em um sistema parecido com um radiador de um automóvel. Sistemas mais complexos podem ser acoplados para aumentar o nível de resfriamento da água para deixá-la em temperaturas próximas a 0 °C.

processo com capacidade de 3,2 m³/h e uma potência de 4,8 kW (MECALOR, 2017). Os dados técnicos do modelo de *chiller* considerado nesta simulação são descritos na Tabela 3.

Tabela 3 – Modelos de Chillers compactos da marca Mecalor (indicação pela quadro em linha tracejada do modelo considerado nesse estudo).

Modelo	Capacid. Nominal	Potência em Regime	Potência Instalada	Dimensões em Milímetros			Bomba de Processo		Reservat. de Água	Água de Condens.
	kcal/h	kW	kVA	Larg.	Compr.	Alt.	m ³ /h	mca	litros	m ³ /h
MSW-5	6.000	2,4	6,0	670	920	1.030	1,5	30	30	1,4
MSW-9	9.500	3,4	8,1	670	920	1.030	1,5	30	30	2,3
MSW-15	16.000	4,8	10,5	800	900	1.420	3,2	30	65	4,2
MSW-11	23.000	6,9	13,7	800	900	1.420	6,2	30	80	5,7
MSW-30	32.000	8,7	19,1	830	1.250	1.570	6,2	30	115	8,4
MSW-45	45.000	13,8	26,3	830	1.250	1.570	16,4	30	115	11,4
MSW-60	66.000	19,0	34,7	830	1.250	1.570	16,4	30	215	15,5

Fonte: Adaptado de (MECALOR, 2017).

Considerando-se que o *chiller* opera concomitantemente com o micronizador, o seu consumo energético é determinado através da Eq. (2):

$$C_{\text{energético chiller}} = P_{\text{chiller}} \times T_{\text{Op}} \quad (2)$$

Onde:

C = Consumo Energético (kWh/dia)

P = Potência Consumida (kW)

T = Tempo de operação do equipamento (h/dia).

Aplicando-se os dados na Eq. (2), obtém-se:

$$C_{\text{energético chiller}} = 4,8_{\text{kWchiller}} \times 8_{\text{horas/dia}} = 38,4 \text{ kW/dia}$$

Após moagem dos *pellets* no *chiller*, o pó obtido alimenta o equipamento rotomoldador, sendo conformado na forma final do produto. O equipamento rotomoldador considerado nesta simulação é do tipo carrossel com 4 carros (vide Figura 5). Segundo informações levantadas a partir do catálogo de informações técnicas deste equipamento, este é composto por equipamentos que consomem energia nas unidades forno, pré-resfriamento e resfriamento (CRAWFORD; KEARNS, 2003; ROTOLINE, 2016; MAX WEISHAUPT GMBH, 2017).

A primeira unidade citada é constituída por um ventilador de recirculação (VC500), um ventilador de exaustão (VE500-A), e um queimador⁴ (Weishaupt WM-G(L)30/3-A). A unidade de pré-resfriamento é composta por dois ventiladores de exaustão (VR105EX). A unidade de resfriamento, por sua vez, é integrada por um ventilador de exaustão (VR105EX) e três ventiladores (VR80) (CRAWFORD; KEARNS, 2003; ROTOLINE, 2016; MAX WEISHAUPT GMBH, 2017).

O equipamento rotomoldador funciona de forma ininterrupta por 12 horas, em dois turnos de 6 horas cada. Nestas 12 horas, são realizados 13 ciclos de produção com duração de 50 minutos cada um, totalizando um tempo de operação de 650 minutos. Outros 70 minutos por dia são considerados em função da necessidade de aquecimento e limpeza da máquina, e encerramento de processo.

No processo de rotomoldagem, o tempo total de execução do processo não é idêntico ao tempo de funcionamento da máquina. Tendo em vista que os estágios de rotomoldagem (forno, pré-resfriamento, resfriamento e carga e descarga) são contínuos em um equipamento do tipo carrossel (vide Figura 8), ocorrem apenas intervalos de parada deste equipamento entre a saída de um carro e a chegada de outro⁵. De uma forma geral, pode-se inferir que o equipamento permanece desligado por um tempo máximo de um minuto em virtude da movimentação dos carros e da abertura e fechamento das portas do forno. Considerando-se os quatro estágios do processo citados no início do parágrafo, e tendo em vista que a rotomoldadora considerada neste estudo é composta por 4 carros, para cada ciclo de operação de 50 minutos o consumo de energia dos equipamentos que a compõem se dá por um período de 46 minutos. Isso representa, diariamente, um tempo total de consumo energético de 598 minutos, ou aproximadamente 10 horas, considerando-se 13 ciclos de moldagem diários (desconsiderando-se o aquecimento durante o *setup* diário do equipamento).

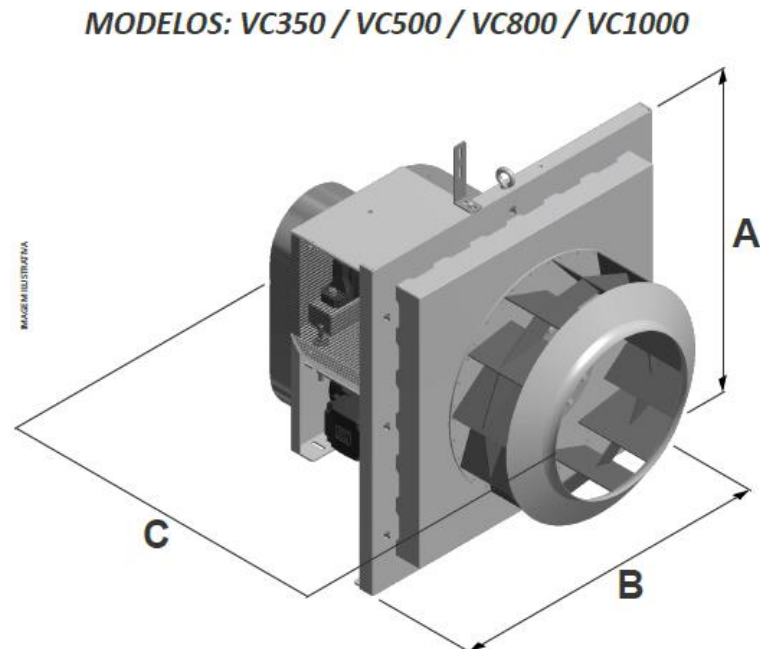
Seguindo-se o procedimento estabelecido na metodologia proposta, foram identificados os equipamentos consumidores de energia que compõem a rotomoldadora. Neste

⁴ O queimador neste caso é um equipamento que recebe o gás GLP alimentado a partir de uma rede, e comanda a queima deste gás dentro do forno com a finalidade de aquecer o ambiente. Este ambiente é aquecido rapidamente, em intervalos normalmente inferiores à 5 minutos, e com variações de temperaturas iniciais e finais entre 80 e 350 °C. Esse procedimento se dá no intuito de fundir o polímero no interior do molde, já que toda a massa dentro do forno é igualmente aquecida.

⁵ O carro é considerado o conjunto mecânico de estruturas, motores, correntes, rodas, inversores, *spider*, etc., que se movimenta sempre em um mesmo sentido, levando os moldes para dentro do forno, para o pré-resfriamento, para o resfriamento e após para a desmoldagem. A rotomoldadora tipo carrossel composta por quatro braços, contém 4 carros. Dessa forma, sempre haverá um carro e dois *spiders* para cada braço. O braço será a extensão entre o carro e o *spider*.

sentido, é apresentado na Figura 21 e Quadro 5, nesta ordem, a ilustração do ventilador de recirculação VC500 e os seus dados técnicos.

Figura 21 – Ventilador de recirculação modelo VC500 que compõem a rotomoldadora.



Fonte: (ROTOLINE, 2016).

Quadro 5 – Dados técnicos dos ventiladores de recirculação modelos VC (indicação pela quadro em linha tracejada do modelo considerado nesse estudo – VC 500).

MODELO	COD. RO	MODELO MÁQUINA	A	B	C	POTÊNCIA MOTOR 50/60HZ
VC350	024755	DC 1.50	700mm 27,56in	700mm 27,56in	840mm 33,1in	3,0 HP
VC500	024756	DC 2.50 / DC 3.00 CR 2.00 / CR 2.60 TNC30	905mm 35,63in	950mm 37,4in	930mm 36,6in	7,5 HP
VC800	024757	DC 3.50 / DC 4.00 CR 3.10 / CR 3.60	1200mm 47,2in	1200mm 47,2in	1330mm 52,4in	~ 15/20 HP

Fonte: (ROTOLINE, 2016).

Considerando-se a operação diária contínua 10 horas (T_{Op}), e utilizando-se um fator de conversão (F_{conv}) para converter a unidade de potência de HP para kW, o consumo diário de energia do ventilador de recirculação pode ser determinado, a partir do valor da potência consumida pelo seu motor contido no Quadro 5 utilizando da Eq. (3).

$$C_{\text{energético vent rec}} = P_{\text{vent.recirculação}} \times T_{Op} \times F_{conv} \quad (3)$$

Onde:

C = Consumo Energético (kWh/dia)

P = Potência Consumida (hp)

T = Tempo de operação do equipamento (h/dia)

F = Fator de conversão de hp para kW.

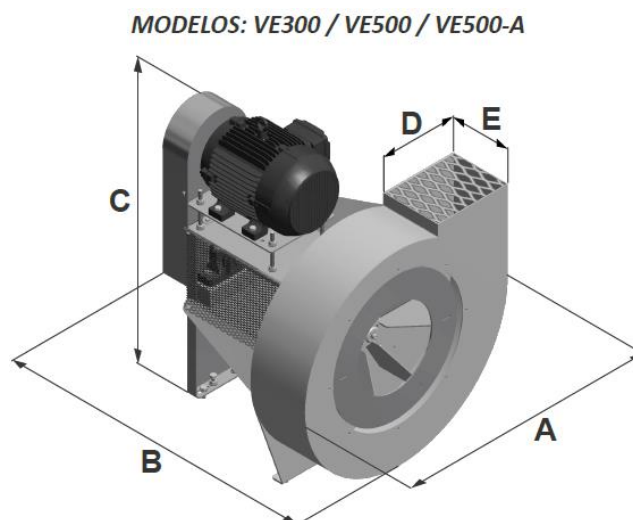
Aplicando-se os dados na Eq. (3), obtém-se:

$$C_{\text{energético vent rec}} = 7,5_{hp \text{ motor}} \times 10_{\frac{\text{horas}}{\text{dia}}} \times 0,7457_{\text{fator de conversão}} \frac{p}{kW} = 55,9275 \text{ kWh/dia}$$

O ventilador de exaustão do forno modelo VE500, é ilustrado na Figura 22. Este componente consome 4 HP, segundo dados técnicos descritos no Quadro 6. Partindo-se destes dados, e considerando o período de operação diário anteriormente determinado de 10 horas (T_{Op}), e utilizando o fator de conversão de unidade de potência (F_{conv}), o consumo energético diário deste equipamento pode ser determinado por meio da Eq. (3) apresentada anteriormente:

$$C_{\text{energético vent ex}} = 4,0_{hp \text{ motor}} \times 10_{\frac{\text{horas}}{\text{dia}}} \times 0,7457_{\text{fator de conversão}} \frac{p}{kW} = 29,828 \text{ kWh/dia}$$

Figura 22 – Ventilador Exaustor modelo VE500 que compõem a rotomoldadora.



Fonte: (ROTOLINE, 2016).

Quadro 6 – Dados técnicos do ventilador de exaustão do forno modelo VE (indicação pelo quadro em linha tracejada do modelo considerado nesse estudo – VE 500).

MODELO	COD. RO	MODELO MÁQUINA	A	B	C	D	E	DESLOCAMENTO MÉDIO DE AR	POTÊNCIA MOTOR 50/60HZ
VE300	024555	DC 1.50 / DC 2.50 DC 3.00 / CR 2.00 CR 2.60	485mm 19,1in	645mm 25,4in	620mm 24,4in	170mm 6,6in	135mm 5,25in	55 m ³ /min	2,0 HP
VE500	024561	DC 3.50 / DC 4.00 CR 3.10 / CR 3.60 TNC 30	805mm 31,7in	825mm 32,5in	990mm 38,8in	280mm 11,02in	220mm 8,6in	130 m ³ /min	4,0 HP
VE500-A	024634	DC 4.50 / DC 5.00 CR 4.60 / CR 5.20 CR 5.20ES	815mm 32,1in	825mm 32,5in	990mm 39in	430mm 16,9in	220mm 8,6in	220 m ³ /min	5,0 HP

Fonte: (ROTOLINE, 2016).

O forno da rotomoldadora é composto, também, pelo queimador. O modelo de queimador escolhido nesta simulação foi o Weishaupt WM-G(L)30/3-A (MAX WEISHAUP T GMBH, 2017). A Figura 23 mostra o modelo de queimador Weishaupt WM-G(L)30/3-A, e a Tabela 4 mostra a ficha técnica dos queimadores modelo WM.

Partindo-se da potência nominal do modelo WM-G(L)30/3-A apresentada na Tabela 4, e considerando o período de operação diário anteriormente determinado de 10 horas (T_{Op}) o consumo energético diário deste equipamento pode ser determinado por meio da Eq. (2) apresentada anteriormente:

$$C_{\text{energético queimador}} = 14,0_{kW \text{ motor}} \times 10_{\text{horas/dia}} = 140 \text{ kWh/dia}$$

Onde:

C = Consumo Energético (kWh/dia)

P = Potência Consumida (kW)

T = Tempo de operação do equipamento (h/dia).

Figura 23 – Queimador Weishaupt WM-G(L)30/3-A que compõem a rotomoldadora.



Fonte: (MAX WEISHAUPT GMBH, 2017).

Tabela 4 – Ficha técnica dos queimadores modelo WM (indicação pela quadro em linha tracejada do modelo considerado nesse estudo – WM-G(L)30/3-A).

Queimador a gás		WM-G30/1-A	WM-G30/2-A	WM-G30/3-A
Motor do queimador	modelo Weishaupt	WM-D 132/170-2/7K5	WM-D 132/210-2/10K0	WM-D 132/210-2/14K0
Potência nominal	kW	7,5	10	14
Corrente nominal	A	15	22	28
Disjuntor-motor ¹⁾ ou fusível prévio ¹⁾	modelo (p.ex.) A mínima	PKE32/XTU-32 25A gG/T (externo)	PKE32/XTU-32 35A gG/T (externo)	PKE32/XTU-32 50A gG/T (externo)
Rotação (50 Hz)	1/min	2940	2940	2920
Gerenciador de combustão	modelo	W-FM 50	W-FM 50	W-FM 50
Supervisão de chama	modelo	ION	ION	ION
Servomotor ar / gás	modelo	STE50	STE50	STE50
Classe NO _x conforme EN 676 ZM/ZM-LN		2 / 3	2 / 3	2 / 3
Peso (sem componentes de gás)	kg	aprox. 159	aprox. 164	aprox. 179

Fonte: (MAX WEISHAUPT GMBH, 2017).

Além do consumo de energia elétrica, neste ponto têm-se também o consumo de GLP. Para estimar o consumo diário de GLP no ambiente aqui simulado, utilizar-se-á a estimativa de gasto sugerida por Andrade (2006), que afirma que o consumo ideal de gás é de aproximadamente 150 g de GLP por cada 1 kg de PE transformado. Estipulando-se que nesta simulação o montante de PE transformado ao longo de um dia de produção é de 30 kg por *spider*, obtendo-se 60 kg por braço, e considerando que a rotomoldadora contém quatro braços, totalizando 240 kg por ciclo. Por fim, considerando-se os 13 ciclos de produção diários estabelecidos anteriormente, a soma de material transformado será de 3.120 kg de PE

($M_{gás\ consumido}$). Assim, o processo simulado neste trabalho deverá consumir, aproximadamente, 468 kg de GLP. Conforme mencionado anteriormente no Quadro 2, 1 kg de GLP equivale à 13,37 kW/h ($E_{q_{energia}}$), o consumo diário de energia neste ponto é determinado pela Eq. (4):

$$C_{energético\ gás} = M_{gás\ consumido} \times E_{q_{energia}} \quad (4)$$

Onde:

C = Consumo Energético (kWh/dia)

M = Massa de GLP consumida (kg/dia)

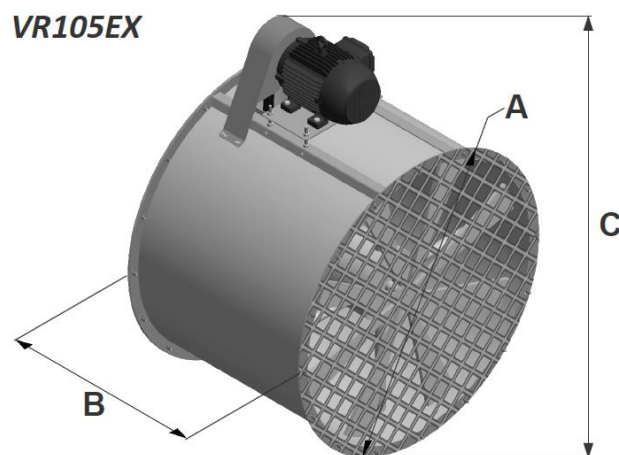
Eq = Energia Equivalente → Fator para conversão entre GLP e kW/h

Aplicando-se os dados na Eq. (4), obtém-se:

$$C_{energético\ gás} = 468_{kg\ de\ GLP} \times 13,37_{kW/h} = 6.257,16\ kWh/dia$$

Após a saída do produto do forno, o ciclo produtivo continuará consumindo energia elétrica, porém agora será para a realização da operação de pré-resfriamento. Nesta unidade emprega-se dois exaustores VR105EX (ROTOLINE, 2016), os quais são ilustrados na Figura 24, e seus dados técnicos estão contidos no Quadro 7.

Figura 24 – Exaustor modelo VR105EX que compõem a unidade de pré-resfriamento.



Fonte: (ROTOLINE, 2016).

Quadro 7 – Ficha técnica do exaustor modelo VR105EX que compõem a unidade de pré-resfriamento.

COD. RO	MODELO MÁQUINA	A	B	C	DESLOCAMENTO MÉDIO DE AR	POTÊNCIA MOTOR 50/60HZ
024291	CR 3.10 / CR 3.60 CR 4.60 / CR 5.20 CR 5.20ES	Ø1050mm Ø41,3in	800mm 31,5in	1425mm 56,1in	770 m ³ /min	7,5 HP

Fonte: (ROTOLINE, 2016).

Considerando-se que os motores que compõem o exaustor apresentam potência de 7,5 HP, o consumo energético diário destes componentes é determinado pela Eq. (5):

$$C_{\text{energético exaustor}} = P_{\text{Motor 1+Motor 2}} * T_{\text{Op}} F_{\text{conv}} \quad (5)$$

Onde:

C = Consumo Energético (kWh/dia)

P = Potência Consumida (hp)

T = Tempo de operação do equipamento (h/dia)

F = Fator de conversão de hp para kW

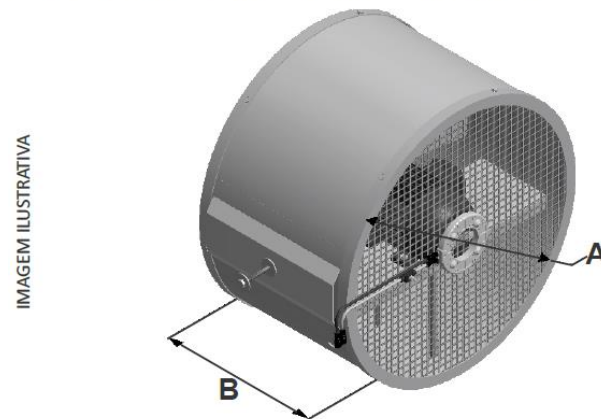
Aplicando-se os dados na Eq. (5), obtém-se:

$$C_{\text{energético exaustor}} = 7,0 \frac{\text{hp}}{\text{motor}} \times 2,0_{\text{motores}} \times 10 \frac{\text{horas}}{\text{dia}} \times 0,7457_{\text{fator conversão}} \frac{\text{p}}{\text{kW}} = 111,855 \text{ kWh/dia}$$

Após a etapa de pré-resfriamento, na sequência ocorre o resfriamento. Para a realização deste emprega-se neste ambiente simulado exaustor modelo VR105EX, já ilustrado anteriormente na Figura 24 e dados técnicos apresentados no Quadro 7, e outros 3 ventiladores modelo VR80 (ROTOLINE, 2016). Neste contexto, a Figura 25 ilustra o ventilador modelo VR80, e os seus dados técnicos estão contidos no Quadro 8.

Figura 25 – Ventilador modelo VR80 que compõem a unidade de resfriamento.

VR80/VR80CR - SEM PEDESTAL



Fonte: (ROTOLINE, 2016).

Quadro 8 – Ficha técnica do ventilador VR80 que compõem a unidade de pré-resfriamento.

COD. RO	A	B	DESLOCAMENTO MÉDIO DE AR	POTÊNCIA MOTOR 50/60HZ
014827	Ø800mm Ø31,4in	525mm 20,7in	435 m ³ /min	2,0 HP
CONSUMO DE ÁGUA ASPERSOR	CONSUMO DE AR ASPERSOR	PRESSÃO DE ÁGUA ASPERSOR	PRESSÃO DE AR ASPERSOR	PESO
1 ~ 1,6 L/min	30 ~ 70 L/min	3 (M.C.A) mínima	80 ~ 100 PSI	80Kg 176Lb(US)

Fonte: (ROTOLINE, 2016).

Considerando-se que os motores que compõem o ventilador apresentam potência de 2 HP e em número (n) correspondem a 3, e que o motor que compõe o exaustor apresenta potência de 7,5 HP, o consumo energético diário da unidade de resfriamento é determinada pela Eq. (6):

$$C_{\text{energético vent resf}} = (P_{\text{Exaustor}} + n \cdot P_{\text{Ventilador}}) \cdot T_{\text{Op}} \cdot F_{\text{conv}} \quad (6)$$

Onde:

C = Consumo Energético (kWh/dia)

P = Potência Consumida (hp)

T = Tempo de operação do equipamento (h/dia)

F = Fator de conversão de hp para kW

Aplicando-se os dados na Eq. (6), obtém-se:

$$C = \left(7,5 \frac{hp}{VR105EX} + 3,0_{VR80} \times 2 \frac{hp}{motor} \right) \times 10 \frac{horas}{dia} \times 0,7457_{fc}$$

$$= 111,855 kWh/dia$$

4.3 ANÁLISE DOS DADOS DE CONSUMO ENERGÉTICO COLETADOS

Como a análise energética foi realizada sobre um ambiente simulado de modo a avaliar a possibilidade de adequação da NBR ISO 50001 sobre um sistema produtivo real, inúmeros equipamentos consumidores de energia foram desconsiderados. Estes equipamentos, como por exemplo, motores, inversores, comandos, atuadores, entre outros, apesar de consumirem montantes de energia inferiores àqueles considerados nesta simulação, deverão ser considerados em uma medição e auditoria reais.

Para a determinação do montante de energia elétrica consumida no ambiente simulado ($C_{energético\ total}$), basta realizar o somatório dos valores de energia consumidos no micronizador ($C_{energético\ micronizador}$), *chiller* ($C_{energético\ chiller}$), ventilador de recirculação ($C_{energético\ vent\ rec}$), ventilador de exaustão ($C_{energético\ vent\ ex}$), queimador ($C_{energético\ queimador}$), exaustor ($C_{energético\ exaustor}$) e ventiladores de resfriamento ($C_{energético\ vent\ resf}$) através da Eq. (7)

$$C_{energ.\ total} = C_{energ.\ micronizador} + C_{energ.\ chiller} + C_{energ.\ vent\ rec} + C_{energ.\ vet\ ex} + C_{energ.\ queimador} + C_{energ.\ exaustor} + C_{energ.\ vet\ resf} \quad (7)$$

Aplicando-se os dados na Eq. (7), obtém-se:

$$C_{energético\ total}$$

$$= 684,4 + 38,4 + 55,9275 + 29,828 + 140 + 111,855$$

$$+ 100,6695 = 1.161,08 kWh/dia$$

No que se refere ao consumo de energia com a queima de gás GLP no forno, tem-se o resultado da Eq. (4), ou seja, 6.257,16 kWh/dia.

Nota-se que, para o ambiente aqui simulado, o consumo de energia a partir da queima do GLP é aproximadamente 5,3 vezes superior ao consumo de energia elétrica dos equipamentos analisados, ou seja, a energia elétrica representa somente 18,55 % do total consumido neste processo. Este valor não é exato em virtude dos equipamentos consumidores de energia elétrica desconsiderados nesta simulação, como também dos demais dispositivos consumidores de energia existentes no ambiente fabril como por exemplo a iluminação, microcomputadores, dentre outros. No entanto, este valor corrobora a afirmação de Andrade

(2006) que indicou que a queima do gás GLP no forno representa 40 % do custo da energia consumida na transformação do polietileno através do processo de rotomoldagem.

De modo a determinar o custo do gás consumidor, é necessário converter o valor de consumo a partir da unidade de massa (m_{GLP}) para a unidade de volume (V_{GLP}), o que pode ser feito através da Eq. (8).

$$V_{GLP} = m_{GLP} \times I_{cov} \quad (8)$$

Onde:

V = Volume de Gás GLP (m³/dia)

m = Massa consumida de Gás (kg/dia)

I = Índice de conversão

Dessa forma, considerando-se o consumo diário de GLP de 468 kg, e o índice de conversão para o GLP (I_{conv}) descrito anteriormente no Quadro 2, obtém-se:

$$V_{GLP} = 468 \text{ kg de } \frac{GLP}{dia} \times 1,22 \text{ (índice de conversão)} = 570,96 \frac{m^3}{dia}$$

A Companhia de Gás do Estado do Rio Grande do Sul (Sulgás), oferece gás para as indústrias do estado do Rio Grande do Sul. Os custos em R\$/m³ em função do volume diário consumido em m³/dia são indicados na Tabela 5.

Tabela 5 – Tabela de Preços Industriais SulGás.

Volume consumido m ³ /dia	(R\$/m ³)	R\$/MMBtu
0 a 150	1,8734	50,22
151 a 300	1,3079	35,06
301 a 500	1,2544	33,63
501 a 1.500	1,2166	32,61
1.501 a 5.000	1,2063	32,34
5.001 a 10.000	1,1722	31,42
10.001 a 15.000	1,1587	31,06
15.001 a 25.000	1,1452	30,7
25.001 a 50.000	1,1155	29,9
50.001 a 100.000	1,0755	28,83
100.001 a 300.000	1,0388	27,85
300.001 a 500.000	1,012	27,13
500.001 a 1.000.000	1,0077	27,01

Fonte: (SULGÁS, 2017).

Partindo-se do volume de gás consumido (V_{GLP}) determinado pela Eq. (8), e do seu custo em função do volume de consumo ($Custo_{m^3gás}$) indicado na Tabela 5, o custo final de GLP ($Custo_{total_{GLP}}$) é determinado através da Eq. (9):

$$Custo_{total_{GLP}} = V_{GLP} \times Custo_{m^3gás} \quad (9)$$

Onde:

Custo total = R\$/dia

V = Volume de Gás GLP (m³/dia)

Custo = custo do m³/dia conforme Tabela 5.

Aplicando-se os dados na Eq. (9), obtém-se:

$$Custo_{total_{GLP}} = 571 \text{ m}^3 \text{ de gás} \times 1,2166 \frac{\text{reais}}{\text{m}^3} / \text{dia} = \text{R\$ } 695,00 / \text{dia}$$

A Rio Grande Energia S.A. (RGE), informa, através dada página eletrônica de sua mantenedora CPFL Empresas⁶, um valor de R\$ 54,30 para o MWh ($Custo_{MWh}$) no grupo A3 (69 kV) em Tarifa Azul, fora de Ponta. Dessa forma, o custo final de consumo de energia

⁶ A CPFL é um grupo conglomerado do qual faz parte a RGE. Os dados relativos aos custos do MWh para o estado do Rio Grande do Sul, nas regiões atendidas pela RGE foram obtidos diretamente no site do grupo CPFL, e podem ser conferidos no endereço: <https://www.cpflempresas.com.br/default.aspx>

elétrica ($Custo\ total_{energia}$) pode ser determinado através da Eq. (10) considerando-se o consumo energético diário total ($C_{energético\ total}$) do ambiente simulado (1.161,08 kWh/dia), determinado anteriormente através da Eq. (7).

$$Custo\ total_{Energia} = C_{energético\ total} \times Custo_{MWh} \quad (10)$$

Onde:

Custo total = R\$/dia

C = Consumo energético (MWh/dia)

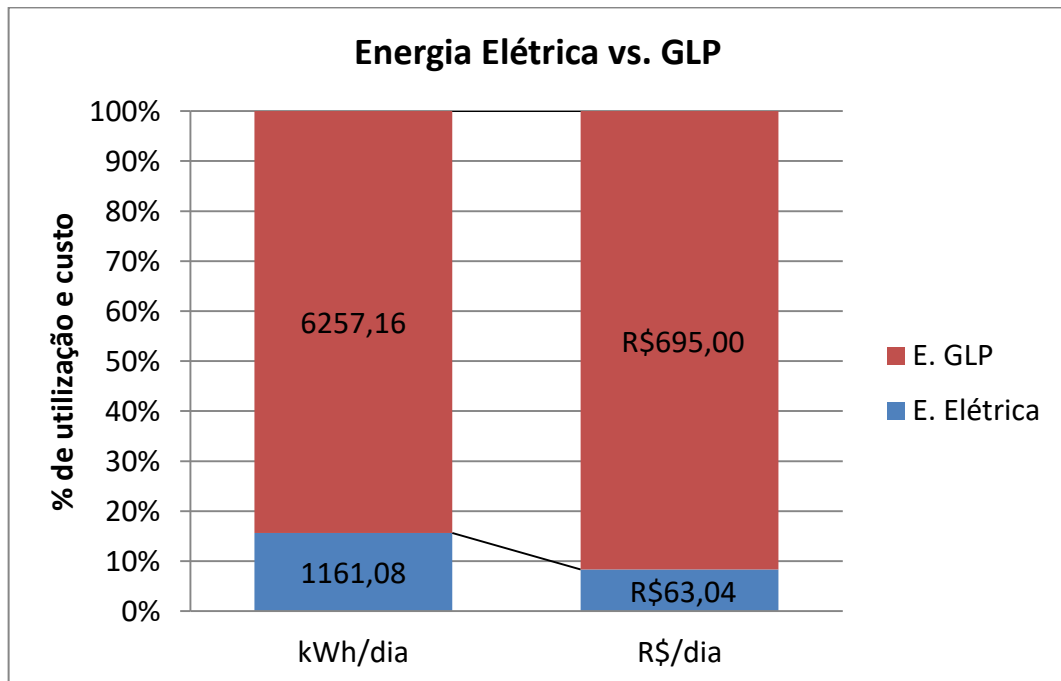
Custo = custo do MWh conforme concessionária.

Aplicando-se os dados na Eq. (10), obtém-se:

$$Custo\ total_{Energia} = 1,161MWh \times R\$ 54,30/MWh = R\$ 63,04/dia$$

Os dados acima demonstram que, tanto a partir de uma análise de custos, quanto de uma análise energética, o consumo de gás no processo de rotomoldagem é o principal fator a ser controlado, uma vez que, constitui o principal consumidor de energia. Neste sentido, a Figura 26 compila os dados de consumo obtidos para o ambiente simulado.

Figura 26 – Gráfico comparativo entre consumos energéticos do ambiente simulado.

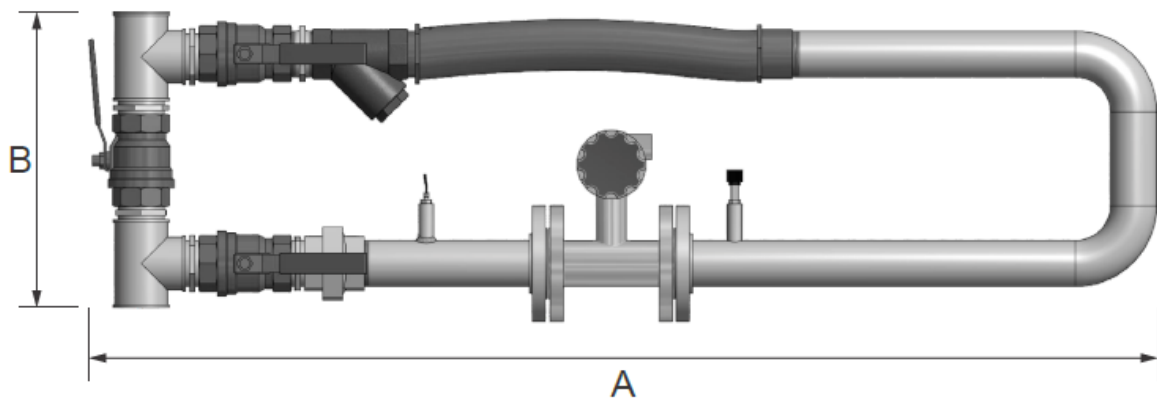


Fonte: Autor.

4.4 INDICADOR DE DESEMPENHO ENERGÉTICO E MELHORIA CONTÍNUA

Os dados de consumo energético determinados a partir da simulação realizada neste estudo são teóricos. Dessa forma, a veracidade dos valores aqui determinados deverão ser confirmados em uma situação real de aplicação em um ambiente fabril. Assim, equipamentos convencionais de medição, tais como medidores de vazão similares ao apresentado na Figura 27 são indispensáveis para tal verificação.

Figura 27 – Medidor de vazão para gás.



Fonte: (ROTOLINE, 2016).

A NBR ISO 50001 (ABNT, 2011) e suas normas complementares como a ISO 50002 (ABNT, 2014) foram publicadas recentemente. Por este motivo, poucas empresas no Brasil fazem um monitoramento energético, e um número ainda inferior detém a certificação ISO 50001. As empresas do setor de transformação de polímeros, através do processo de rotomoldagem, em sua grande maioria, não possuem a tradição de monitorar o consumo energético de forma eficiente. Como sustentação disto, tem-se a falta de referencial teórico publicado desta área. Dessa maneira, a partir desse primeiro levantamento de eficiência energética realizado em ambiente fabril, busca-se gerar o primeiro indicador de desempenho energético confiável, contribuindo para a melhor eficiência energética do setor.

Como a energia proveniente da queima do gás liquefeito de petróleo foi a responsável pelo maior gasto financeiro e energético do processo aqui simulado, no Indicador de Desempenho Energético (IDE) esta também deverá representar um maior percentual, em contrapartida à energia elétrica consumida no processo de rotomoldagem. Como modelo de equacionamento de IDE pode-se apresentar a Eq. (11):

$$\text{IDE} = \frac{\text{Energia gasta}}{\text{Volume de polímero transformado}} \quad (11)$$

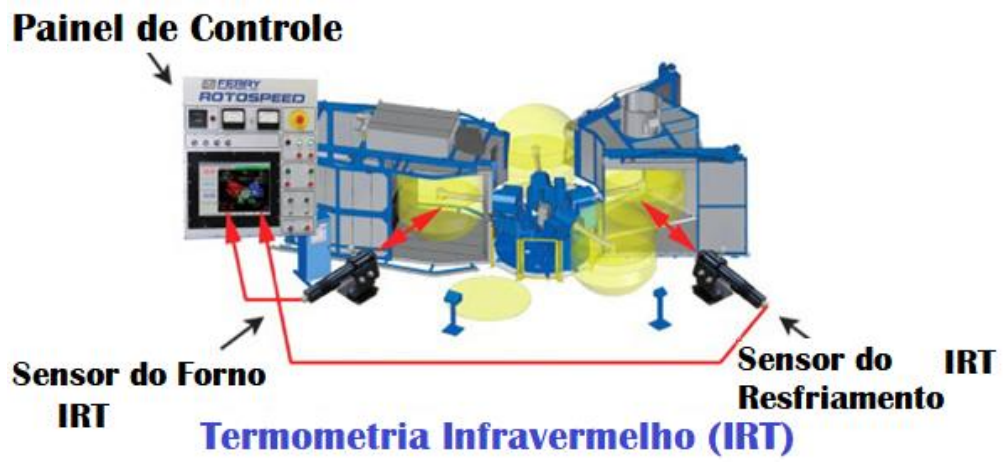
O emprego de ferramentas de análise como a de Ishikawa, GUT, 6W2H, e outras, poderão ser muito úteis no intuito de viabilizar a melhoria do processo. Nesta simulação, utilizou-se como valor ideal de consumo de gás a cada 1 kg de PE transformado, o valor estabelecido como referência por Andrade (2006), valor de 150 g de GLP/kg de PE transformado. Como alvo de melhoria, pode-se citar o valor alcançado por Ghosh (2004) que mostra ser possível obter um consumo inferior a 100 g de gás por 1 kg de polímero transformado.

Materiais auxiliares, disponibilizados por fornecedores de polímeros e fabricantes de maquinários podem contribuir na solução de problemas corriqueiros no processo de rotomoldagem. Porém, estes problemas, se não tratados com sua devida importância, tornam-se fonte de grandes desperdícios energéticos. Como sugestão de pontos de inspeção na análise de possíveis causas de consumo, podem-se listar:

1. falta de isolamento do forno;
2. falta de velocidade do ar dentro do forno;
3. demora no abrir e fechar as portas do forno;
4. pouca capacidade de chama do queimador;
5. falta de manutenção do queimador;
6. excesso de massa auxiliar de armação dos moldes; e
7. falta de limpeza dos moldes.

Como consequência da análise, geração de planos de ação e demais etapas, seguindo-se o princípio do PDCA no qual a ISO 50001 se baseia, obter-se-á a constante melhora do processo. Porém, sistemas de monitoramento auxiliares mais sofisticados como equipamentos que monitoram as temperaturas de cada etapa do processo, podem contribuir significativamente para alcançar a melhora contínua. Na Figura 28 é ilustrado um sistema de termometria por infravermelho desenvolvido especialmente para a rotomoldagem.

Figura 28 – *InfraRed Thermometry System Control.*



Fonte: Adaptado de (FERRY INDUSTRIES, 2017).

5 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo realizar uma análise teórica de um sistema rotomoldador afim de se estabelecer um roteiro de auditoria energética e posterior identificação de pontos genéricos e comuns de melhora na eficiência energética. A partir dos resultados obtidos e dos objetivos específicos, chegou-se às conclusões indicadas a seguir.

1. Estruturar um *layout* básico para uma indústria rotomoldadora.

Este objetivo foi atingido na metodologia a partir do capítulo 3.1. Como resultados, obteve-se um *layout* simplificado de uma estrutura fabril, de onde se extraiu o consumo energético de alguns equipamentos que compõe a estrutura rotomoldadora.

2. Identificar os principais consumidores de energia e caracterizar o seus consumos energéticos.

Este objetivo foi atingido no capítulo 3.1 onde além da identificação dos equipamentos consumidores de energia, fizeram-se os cálculos dos consumos energéticos a partir da estipulação do tempo de uso de cada equipamento e dos dados energéticos fornecidos pelos fabricantes. Dentre os equipamentos que consomem energia elétrica, escolheu-se somente os ventiladores e exaustores e como consumidor de energia a gás GLP, obteve-se somente o queimador principal da máquina rotomoldadora.

3. Identificação do principal consumidor energético

A maior fonte consumidora de energia em kWh, com 6.257,16 kWh/dia foi o gás GLP, contra 1.161,08 kWh/dia da energia elétrica. Já em valores monetários, o custo do GLP ficou em R\$ 695,00 por dia, enquanto a energia elétrica custou R\$ 63,04 por dia, sobre os equipamentos analisados.

4. Indicação de melhorias comuns, aplicáveis ao principal consumidor energético, relacionadas ao processo de rotomoldagem.

Este objetivo foi atingido no capítulo 4.2 onde se sugeriu um modelo de indicador baseado na relação entre consumo de energia e peso de polímero transformado. Como o maior percentual deste indicador deverá ser o monitoramento do GLP, as melhorias deverão ser em função da melhora de rendimento e eficiência energética do forno, único consumidor de gás GLP.

Como sugestão para trabalhos futuros, sugere-se a aplicação prática desta pesquisa em um ambiente fabril de rotomoldagem.

REFERÊNCIAS

ABIPLAST - Indústria Brasileira de Transformação de Material Plástico - **Perfil 2014**. São Paulo – SP. 2014.

ANDRADE, C. S.; DE SOUSA, C. A.; RAUPP, F. **Aplicação De Um Modelo Do Desempenho Ambiental Industrial**. Revista Gestão Industrial, v. 12, n. 1, 31 Mar 2016. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/revistagi/article/view/3143>>. Acesso em: 22 abr 2017.

ANDRADE, C. **Produção e Eficiência**. Seminário Latino Americano da Association of Rotational Molders International, São Paulo – SP. 2006.

ÂNGELO, L. B. **Indicadores de Desempenho Logístico**. Santa Catarina: UFSC. Disponível em: <<http://www.cgimoveis.com.br/logistica/indicadores.pdf>>. Acesso em: 22 abr 2017. , 2005

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 50001**: Sistemas de gestão da energia — Requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro, 2011, i, 24p.

_____**NBR 50002**: Diagnósticos energéticos - Requisitos com orientação para uso. Rio de Janeiro, 2014, i, 30p.

_____**NBR 50006**: Sistemas de gestão de energia — Medição do desempenho energético utilizando linhas de base energética (LBE) e indicadores de desempenho energético (IDE) — Princípios gerais e orientações, Rio de Janeiro, 2016, i, 36p.

CAMIOTO, F. de C.; REBELATTO, D. A. do N.; ROCHA, R. T. **Análise da eficiência energética nos países do BRICS: um estudo envolvendo a Análise por Envoltória de Dados**. Gestão & Produção, v. 23, n. 1, p. 192–203, Mar 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-530X2016000100192&lng=pt&nrm=iso&tlng=en>. Acesso em: 17 fev 2017.

CEEE - **Tarifas e Custos de Serviços** - Disponível em: <<http://www.ceee.com.br/pportal/ceee/archives/Tabela Grupo B marco 2015.pdf>>. Acesso em: 22 abr 2017.

CRAWFORD, R. J. et al. **Process control for rotational moulding of plastics**. Brookfield Center: Soc Plastics Engineers, 1995.

CRAWFORD, R. J. e KEARNS, M. P. **Practical Guide to Rotational Moulding**. Shawbury, Shrewsbury, Shropshire, SY4 4NR, UK: RAPRA, 2003.

CRAWFORD, R. J.; THRONE, J. L. **Rotational Molding Technology**. Throne, R. J. C. L. (Org.). Norwich, NY: William Andrew Publishing, 2002.

ELETROBRAS. **Relatório de Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil – Sumário Executivo**. Eletrobrás. Rio de Janeiro: PROCEL. 2009

EPE. **Balanco Energético Nacional 2016: Ano Base 2015**. Rio de Janeiro – RJ. 2016.

FERRY INDUSTRIES. **RotoSpeed - InfraRed Thermometry System Control**. Disponível em: <<http://www.ferryindustries.com/RotoSpeed/InfraRedThermometry>>. Acesso em: 21 maio 2017.

GHOSH, K. **Thermal Models and Energy Saving Strategies for Rotational Molding Operations**. . Atlanta - USA: Georgia Institute of Technology. Disponível em: <https://smartech.gatech.edu/bitstream/handle/1853/5031/Ghosh_Kalyanjit_200407_MS.pdf>. 2004.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo - SP: Editora Atlas. , 2002

GONÇALVES, J. E. L. **As empresas são grandes coleções de processos**. Revista de Administração de Empresas, v. 40, n. 1, p. 6–9, Mar 2000. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-75902000000100002&lng=pt&nrm=iso&tlng=en>. Acesso em: 22 abr 2017.

GRECO, A.; MAFFEZZOLI, A. **Powder-shape analysis and sintering behavior of high-density polyethylene powders for rotational molding**. Journal of Applied Polymer Science, v. 92, n. 1, p. 449–460, 2004.

HERNÁNDEZ P. O. **La auditoría interna y su alcance ético empresarial**. Actualidad Contable Faces, v. 19, p. 15–41. 2016.

LIQUIGÁS. **Liquigás Distribuidora**. Disponível em: <<https://www.liquigas.com.br/>>. Acesso em: 28 mar 2017.

MARTINS, R. A.; COSTA NETO, P. L. O. **Indicadores de Desempenho para a Gestão pela Qualidade Total: Uma Proposta de Sistematização**. v. 5, n. 3, p. 298–311, 1998. Disponível em: <http://tupi.fisica.ufmg.br/~michel/docs/Artigos_e_textos/MPE_e_empresa_familiar/indicadores_desempenho_GQT.pdf>. Acesso em: 22 abr 2017.

MAX WEISHAUPT GMBH. **Queimadores a gás, a óleo e duais — Weishaupt**. Disponível em: <<http://www.weishaupt.com.br/produkte/brenner>>. Acesso em: 21 maio 2017.

MECALOR. **Mecalor | Soluções em Engenharia Térmica**. Disponível em: <<http://mecalor.com.br/>>. Acesso em: 21 maio 2017.

RAMÍREZ, S. M.; PALAU, I. G.; JIMÉNEZ, A. N. **La gestion energetica. Una herramienta indispensable en la gestion empresarial**. Folletos Gerenciales, v. 10, n. 6, 2006.

REDUCTIONENGINEERING - **Reduction Engineering Scheer**. Disponível em: <<http://www.reductionengineering.com>>. Acesso em: 9 maio 2017.

ROTOLINE. **Rotoline Máquinas De Rotomoldagem, Moinhos Micronizadores, Cercas NR12**. Disponível em: <<http://www.rotoline.com.br/>>. Acesso em: 21 maio 2017.

ROTOWORLD. **RotoWorld - Magazine for the Rotational Molding e Plastics Design Industries**. Disponível em: <<https://rotoworldmag.com>>. Acesso em: 28 mar 2017.

ROTOWORLD®. Magazine for the rotational molding & plastics design industries.

Disponível em: <<https://rotoworldmag.com/ferry-industries-company-profile/>>. Acesso em: 22 abr 2017.

SERVGÁS. SERVGÁS - Distribuidora de Gás S/A. Disponível em:

<<http://www.servgas.com>>. Acesso em: 28 mar 2017.

SILVA, C. L.. Gestão estratégica de custos: O custo meta na cadeia de valor. Revista da FAE, v. 2, n. 2, p. 17–26, 1999. Disponível em:

<<https://revistafae.fae.edu/revistafae/article/view/516>>. Acesso em: 22 abr 2017.

SOARES, I. Eficiência Energética e a ISO 50001. 1. ed. Lisboa - PT: 2015.

SULGÁS. Sulgás - Companhia de Gás do Estado do Rio Grande do Sul - Tabela de

Preços. Disponível em: <<http://www.sulgas.rs.gov.br/sulgas/industrial/tabela-de-precos>>.

Acesso em: 21 maio 2017.