

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**Carolina Salazar Aragón**

**IDENTIFICAÇÃO, AVALIAÇÃO E GESTÃO DE  
RISCO DE INVESTIMENTOS EM EFICIÊNCIA  
ENERGÉTICA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção como parte dos requisitos para obtenção do Título de *Mestre em Ciências em Engenharia de Produção*.

**Área de Concentração:** Engenharia de Produção

**Orientador:** Prof. Edson de Oliveira Pamplona, Dr.

**Setembro de 2011**

**Itajubá - MG**

ARAGÓN, Carolina Salazar

*SXXc Identificação, avaliação e gestão de risco de investimentos em eficiência energética.* / Carolina Salazar Aragón. – Itajubá: UNIFEI, 2011.

95p.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Itajubá,  
2011.

Orientador: Edson de Oliveira Pamplona

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**Carolina Salazar Aragón**

**IDENTIFICAÇÃO, AVALIAÇÃO E GESTÃO DE  
RISCO DE INVESTIMENTOS EM EFICIÊNCIA  
ENERGÉTICA**

Dissertação aprovada por banca examinadora em 26 de setembro de 2011, conferindo  
ao autor o título de *Mestre em Engenharia de Produção*

**Banca Examinadora:**

Prof. Dr. Edson de Oliveira Pamplona (Orientador)

Prof. Dr. Hector Gustavo Arango

Prof. Dr. José Antonio de Queiróz

**Setembro de 2011**

**Itajubá - MG**

*A meu esposo e minha filha: Juan Ricardo e  
Oriana, e a minha mãe.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço especialmente a Deus, que sempre está comigo e por me dar uma família maravilhosa. Obrigada por me permitir mais uma realização.

Ao meu esposo Juan Ricardo, por seu amor, apoio incondicional e constante motivação.

À minha filha Oriana, por me dar alegria e amor, e ainda muito pequena, compreender que precisava ceder parte do tempo dedicado a ela para conseguir terminar o mestrado.

À minha mãe, que é meu maior exemplo de vida, e que com seu amor e apoio constantes, ajudou-me a conquistar esta meta.

Ao meu orientador, o professor Edson Pamplona. Agradeço pela orientação, apoio, confiança e por seu profissionalismo.

À Mahle por abrir suas portas para desenvolver meu trabalho. Em especial ao Eng. Carlos Gomes, Eng. Vitor Jonatas e Eng. Genival por sua colaboração e contribuição.

Aos professores do Instituto de Engenharia de Produção e Gestão, que contribuíram em parte essencial da minha formação acadêmica.

Ao Brasil, por acolher aos estrangeiros. Em especial, à cidade de Itajubá da que me levo o melhor presente, minha filha.

A Deus, que sempre está comigo e por me dar uma família maravilhosa. Obrigada por me permitir mais uma realização.

## RESUMO

Este trabalho desenvolve a aplicação de ferramentas de diagnóstico energético em uma empresa do setor industrial com o objetivo de avaliar a eficiência com que esta opera e identificar os desperdícios de energia, e seu respectivo potencial de economia. Entretanto, para melhorar a eficiência energética e alcançar as economias de energia que podem ser obtidas com a mesma, são necessários investimentos, que também são determinados com o diagnóstico energético feito. Não obstante, estes investimentos estão limitados pela disponibilidade de capital e, conseqüentemente, sua viabilidade deve ser avaliada. Porém, diversos autores afirmam que há falhas nas análises desta área, especialmente na avaliação do risco para estes investimentos, pois embora o *payback* seja o critério mais utilizado, não é o mais conveniente. Assim, o uso do citado critério tem levado os tomadores de decisões a rejeitar opções de investimento em eficiência que são rentáveis e de baixo risco, ao limitar sua decisão a períodos curtos de recuperação, o que tem se convertido num obstáculo para os investimentos em eficiência energética. Portanto, o objetivo deste trabalho é identificar os investimentos em eficiência energética por meio do uso de ferramentas de diagnóstico energético, avaliar sua viabilidade considerando a incerteza associada às variáveis que determinam as economias de energia e seu efeito sobre estas, através da modelagem e simulação. Com as análises feitas, foi possível determinar que a empresa pode reduzir seu consumo energético não associado à produção em até 60%, e que as medidas propostas para diminuir este consumo e melhorar a eficiência energética, são investimentos que apresentam uma boa relação retorno-risco. Por fim, a aplicação realizada auxilia o tomador de decisões ao lhe permitir conhecer todo o processo, desde a análise de engenharia até a análise econômica para a melhoria da eficiência energética da empresa.

**Palavras chave:** diagnóstico energético, eficiência energética, investimento, risco

## **ABSTRACT**

This paper develops the application of energy diagnostic tools in a company of the industrial sector to assess the efficiency with which it operates and identify energy waste and its savings potential. However, to improve energy efficiency and achieve energy savings that can be obtained with this, investments are required, which are also determined with the energy diagnosis done. However, these investments are limited by the availability of capital and hence its feasibility should be assessed. But several authors claim that there is weakness in this area, especially in risk assessment for these investments, because although the payback is the most commonly used criterion is not the most convenient. Thus, the use of that discretion has led decision makers to reject options for efficiency investments that are profitable and low risk by limiting its decision to short recovery periods, which has become an obstacle to energy efficiency investment. Therefore, the objective of this study is to identify energy efficiency investments through the use of energy diagnostic tools and assess their viability considering the uncertainty associated with variables that determine energy savings and its effect on these, through modeling and simulation. With the analysis made, it was determined that the company can reduce by up to 60% its energy consumption not associated with production, and that the measures proposed to reduce this consumption and improve energy efficiency, are investments that have a good risk return relationship. Finally, application assists the decision maker to let you know the entire process, from engineering analysis to the economic and risk analysis to improve the energy efficiency of the company.

**Key-words:** energy diagnostic, energy efficiency, investment, risk.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1– Processo da EE.....	18
Figura 2.2 - Fluxograma do processo produtivo de um refrigerante.....	23
Figura 2.3 – Diagrama de Pareto para a área de fornos.....	24
Figura 2.4 – Diagrama de energia, produção Vs. tempo.....	25
Figura 2.5 – Diagrama de dispersão Consumo Energia Vs. Produção.....	27
Figura 2.6 – Diagrama índice de consumo Vs. Produção.....	28
Figura 2.7 – Gráfico de tendência dos consumos energéticos acumulados.....	29
Figura 3.1- Uso do coeficiente de variação para avaliar a incerteza.....	39
Figura 3.2– Estrutura da Análise de Monte Carlo.....	43
Figura 3.3- TIR sob diferentes níveis de confiança.....	46
Figura 3.4- Economias líquidas sob diferentes níveis de confiança.....	46
Figura 4.1- Fluxograma para identificação e avaliação de investimentos em eficiência energética.....	49
Figura 4.2– Unidades de maior consumo energético na Mahle.....	51
Figura 4.3 - Gráfico de controle para o consumo de energia.....	52
Figura 4.4 - Diagrama produção – consumo Vs. Tempo.....	54
Figura 4.5 – Diagrama de correlação.....	55
Figura 4.6 - Diagrama de Pareto para as linhas de produção da mini-fábrica.....	56
Figura 4.7 – Diagrama de correlação consumo Vs. produção equivalente.....	58
Figura 4.8 – Determinação da linha meta de consumo.....	59
Figura 4.9 – Índice de consumo Vs. Produção.....	60
Figura 4.10 – Diagrama de CUSUM.....	63
Figura 4.11- Diagrama de Pareto para a área de Buchas.....	64
Figura 4.12 - Diagrama de Pareto para a área de buchas.....	66
Figura 4.13 – Diagrama de Pareto para as máquinas da área de buchas.....	67
Figura 4.14 – Economias líquidas das medidas de eficiência energética.....	76
Figura 4.15 – VPL das medidas de eficiência energética.....	76
Figura 4.16 – VPL e economias líquidas dos projetos como uma só medida de eficiência energética.....	77

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1- Confiabilidade dos dados. ....	25
Tabela 3.1– Características do investimento. ....	45
Tabela 3.2 – Resultados EBaR <sup>®</sup> . ....	45
Tabela 4.1- Estatísticos para construir o gráfico de controle. ....	52
Tabela 4.2 - Fator de conversão energético. ....	57
Tabela 4.3 – Características dos períodos analisados para determinar o período base. ....	62
Tabela 4.4 – Máquinas que podem ser automatizadas. ....	70
Tabela 4.5 – Dados de investimento - Projeto A. ....	71
Tabela 4.6 – Dados de investimento - Projeto B. ....	71
Tabela 4.7 – Economia líquida gerada pelo projeto A. ....	73
Tabela 4.8 – Economia líquida gerada pelo projeto B. ....	73
Tabela 4.9 – Economias líquidas geradas pelos projetos A e B. ....	74
Tabela 4.10 – Avaliação dos investimentos pelos métodos tradicionais. ....	74
Tabela 4.11 – Análise EBaR <sup>®</sup> para as medidas de eficiência energética propostas. ....	75
Tabela 4.12 – Análise EBaR <sup>®</sup> para os projetos como uma só medida de eficiência energética. ....	77

# LISTA DE SÍMBOLOS

E: Consumo de energia.

P: Produção.

m: Inclinação da linha.

$E_0$ : Intercepto da linha

IC: Índice de consumo

EcoE: Economia de energia

LBCE: Linha base de consumo de energia

CeDEE: Consumo de energia depois de implementar a EE

PE: Preço da energia

A: Ajustes

R: coeficiente de correlação

LCS: Limite central superior

LCI: Limite central inferior

$X_t$ : Variável observada no período atual

$X_{t-1}$ : Variável observada do período anterior

$U_i$ : Unidades produzidas

$F_i$ : Fator de conversão energético

$C_i$ : Consumo de energia de cada linha por unidade produzida.

$C_{base}$ : Consumo de energia da linha base por unidade produzida.

$P_{eq}$ : Produção equivalente

$C_{meta}$ : Consumo meta

$P_{metaeq}$ : Produção meta equivalente

$\mu$ : média

$\sigma$  = desvio padrão

$C_A$ : Consumo em kWh atual

$C_F$ : Consumo em kWh se implantar a medida de eficiência energética.

T: Tarifa paga pelo consumo R\$/kWh.

# LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAPM: Modelo de Precificação de Ativos, do inglês *Capital Asset Pricing Model*

CEEMA: *Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente*

CIPEC: *Canadian Industry Program for Energy Conservation*

CUSUM: Consumos acumulados

DOE: *Department of Energy*

EE: Eficiência Energética

EMTF: *Energy Management Task Forces*

EPA: *Environmental Protection Agency*

ESCO: Empresas de Serviços de Conservação de Energia

ESI: Contrato de seguro de economia de energia, do inglês, *Energy Savings Insurance*

ETE: Estação de Tratamento de Efluentes

PB: *payback*

PIB: Produto Interno Bruto

PROCEL: Programa Nacional de Conservação da Energia Elétrica.

ROI: Retorno sobre o Investimento

TMA: Taxa Mínima de Atratividade

TIR: Taxa Interna de Retorno

UPME: *Unidad de Planeación Minero Energética*

VPL: Valor Presente Líquido

WACC: Custo Médio Ponderado de Capital, do inglês *Weight Average Cost of Capital*

WEA: *World Energy Assessment*

# SUMÁRIO

<b><u>1</u></b>	<b><u>INTRODUÇÃO</u></b>	<b>14</b>
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	14
1.2	JUSTIFICATIVA E OBJETIVO DO TRABALHO	15
1.3	METODOLOGIA DA PESQUISA	16
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	17
<b><u>2</u></b>	<b><u>A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA</u></b>	<b>18</b>
2.1	O PAPEL DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	18
2.1.1	VANTAGENS DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	20
2.1.2	BARREIRAS DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	20
2.2	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL	21
2.3	FERRAMENTAS PARA IDENTIFICAR PROJETOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	22
2.3.1	IDENTIFICAÇÃO DE INVESTIMENTOS EM EE	22
2.3.2	ESTIMATIVA DAS ECONOMIAS DE ENERGIA	29
<b><u>3</u></b>	<b><u>INVESTIMENTOS EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA</u></b>	<b>31</b>
3.1.1	AVALIAÇÃO DE INVESTIMENTOS EM EE	32
3.1.2	MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DE INVESTIMENTOS	32
3.1.3	USO DOS MÉTODOS NA AVALIAÇÃO DE INVESTIMENTOS EM EE	33
3.1.4	ANÁLISE DE RISCO DE INVESTIMENTOS EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	35
3.1.5	ENERGY BUDGETS AT RISK - EBAR®	43
<b><u>4</u></b>	<b><u>IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DE INVESTIMENTOS EM UMA EMPRESA INDUSTRIAL</u></b>	<b>48</b>
4.1	CARACTERÍSTICAS GERAIS DA EMPRESA	48
4.2	FLUXOGRAMA PARA IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DE INVESTIMENTOS EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	48
4.3	DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO	50
4.3.1	PRIMEIRO PASSO: CONHECIMENTO GERAL DA EMPRESA E DA UNIDADE A SER ANALISADA	50
4.3.2	SEGUNDO PASSO: COLETA DE DADOS	51
4.3.3	TERCEIRO PASSO: ANÁLISE DOS DADOS	51

4.3.4	QUARTO PASSO: IDENTIFICAR ONDE ESTÃO OS DESPERDÍCIOS DE ENERGIA	63
4.3.5	QUINTO PASSO: IDENTIFICAÇÃO DAS MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	68
<b>4.4</b>	<b>SIMULAÇÃO</b>	<b>71</b>
4.4.1	CONSTRUÇÃO DO MODELO PARA DETERMINAR AS ECONOMIAS LÍQUIDAS DE ENERGIA	72
4.4.2	CÁLCULO PELOS MÉTODOS TRADICIONAIS	74
4.4.3	ANÁLISE DAS VARIÁVEIS DE INCERTEZA	74
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>78</b>
<b>5.1</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>78</b>
<b>5.2</b>	<b>RECOMENDAÇÕES</b>	<b>80</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>81</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>85</b>
	<b>APÊNDICES</b>	<b>92</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Considerações iniciais

A redução do impacto ambiental causado pelo setor produtivo é uma preocupação mundial e, na atualidade, tem gerado o compromisso de muitos governos para direcionar suas leis em função do desenvolvimento sustentável. As novas tecnologias não convencionais e renováveis que poderiam diminuir a contaminação ambiental, por enquanto inviabilizam a mudança das tecnologias que vem sendo utilizadas desde o início da era industrial, visto o seu alto custo e a quantidade de tempo que esta mudança requereria. Desta forma, deve-se procurar um equilíbrio sustentável entre as tecnologias novas e a adequada exploração das convencionais. Assim, a eficiência energética (EE) surge como uma boa alternativa para diminuir a contaminação ambiental, além de melhorar a produtividade e a competitividade das empresas em consequência da diminuição do consumo de energia, que se reflete em menores custos de operação e, como apresenta Cicone *et al.* (2007), é uma medida fundamental para manter um crescimento saudável nas empresas através de instalações mais eficientes. Porém, muitas das medidas de eficiência energética requerem investimentos, seja para a troca de equipamentos através da aquisição de nova tecnologia o que pode significar um alto investimento ou medidas de baixo investimento através de melhorias no processo produtivo, manutenção dos equipamentos e ainda capacitação do pessoal para conscientização da necessidade do uso racional da energia. Segundo Russell (2005), pode-se obter um grande volume das economias de energia através de práticas aplicadas no dia a dia, o que significa, segundo Cicone *et al.* (2007), que a empresa não precisa das fontes de financiamento tradicionais, como mercado de ações ou empréstimos bancários de longo prazo

As empresas têm interesse em investir em projetos de eficiência energética e obter seus benefícios econômicos. Mas para alcançar isto, é importante saber identificar os projetos de eficiência energética. Porém, este é um dos problemas, pois as empresas geralmente desconhecem ferramentas para a identificação correta dos projetos. Isto é, os projetos se focam na simples troca de equipamentos sem levar em conta fatores como a relação produção-consumo, energia não associada à produção e índices de consumo que refletem os verdadeiros custos energéticos (CAMPOS, 2004). Isto significa que deve ser feita uma correta análise de engenharia para fazer o diagnóstico energético e definir quais são os investimentos necessários para atingir as economias de energia e melhorar a eficiência energética das empresas.

Por outro lado, ao se falar de investimento, está se falando de disponibilidade de capital, o que quer dizer que não é suficiente apenas determinar os investimentos necessários em eficiência energética (EE), mas também a avaliação econômica e de risco para estes investimentos. Encontra-se, então, outro problema, pois como apresentado por DeCanio (1998), os tomadores de decisões rejeitam opções de investimentos em EE que trazem benefícios, por causa da falta de conhecimento na avaliação deste tipo de investimentos e pela adoção de critérios que, apesar de serem convencionais, não são os mais apropriados para considerar o risco. Ainda, Härus (2009) afirma que as barreiras dos investimentos em EE se derivam de uma mesma razão: a falta de ferramentas adequadas de análise. Por esta razão, o autor afirma que é necessária a clara compreensão dos benefícios dos investimentos em EE para não serem rejeitados, apesar de serem rentáveis. Logo, como primeiro passo deve ser feita uma correta análise de engenharia, ou seja, um correto diagnóstico energético, para obter valores mais confiáveis sobre as economias de energia que podem ser atingidas e entender os benefícios que a EE traz, além de conhecer os fatores que causam incerteza sobre estas economias, para que a partir daí, possa ser feita a análise econômica e a avaliação de risco. Porém com ferramentas mais apropriadas para este tipo de investimentos.

Considerando também que foi lançada a nova norma ISO 50001 correspondente à implantação de Sistemas de Gestão de Energia, cujo foco é a eficiência energética, se propõe a utilização das ferramentas de gestão de energia desenvolvidas pela “*Unidad de Planeación Minero Energética (UPME)*” do Ministério de Minas e Energia da Colômbia, para identificar as potenciais economias de energia e os investimentos necessários para atingi-las. Estas ferramentas, além de permitir a identificação de onde estão os desperdícios de energia, são ferramentas de aplicação constante que permitem monitorar o desempenho energético e estabelecer objetivos que permitam a melhoria contínua. Em relação à tomada de decisões com respeito aos investimentos necessários, propõe-se a utilização da ferramenta EBAR<sup>®</sup>, como medida para cobrir a lacuna que existe nos critérios de avaliação de risco destes investimentos.

## **1.2 Justificativa e objetivo do trabalho**

Há quem afirme que o valor pago pela eletricidade é por si só uma razão suficiente para motivar a implantação de medidas de eficiência energética dentro dos processos produtivos (CARDOSO, 2011). Segundo o autor, a energia brasileira é uma das mais caras

do mundo e suas respectivas despesas podem representar até 30% dos custos totais. Porém, existem barreiras aos investimentos em eficiência energética pela falta de compreensão de seus benefícios e pela falta de ferramentas adequadas de avaliação, pois como afirma Härus (2009), a falta desses critérios é a principal barreira para estes investimentos. Especialmente, segundo Jackson (2010, 2008), porque a metodologia utilizada como ferramenta de gestão de risco é *payback*, através da limitação da análise a períodos curtos de recuperação.

Os investimentos em EE, dependendo de sua magnitude, tem um retorno entre um e cinco anos (CAMPOS, 2011). Por tanto, os mesmos poderiam ser rejeitados ao serem percebidos como de alto risco, ao apresentar períodos de recuperação muito longos, mas que se avaliados com ferramentas de análise de risco apropriadas, poder-se-ia demonstrar que são investimentos pouco arriscados.

O objetivo principal deste trabalho é identificar investimentos em eficiência energética através do uso das ferramentas de diagnóstico energético desenvolvidas pela UPME e avaliar sua viabilidade econômica e o risco em uma empresa do setor industrial, através da adaptação da metodologia EBAR<sup>®</sup> desenvolvida por Jackson (2008).

Como objetivos específicos o trabalho visa:

- a) Avaliar o desempenho energético da empresa;
- b) Identificar e quantificar os potenciais de economia de energia;
- c) Identificar as áreas de maior consumo energético;
- d) Identificar onde estão os desperdícios de energia e as oportunidades de economia;
- e) Identificar e propor medidas de eficiência energética;
- f) Quantificar os investimentos necessários para implantar as medidas de eficiência energética;
- g) Avaliar o risco dos investimentos.

### **1.3 Metodologia da pesquisa**

Silva e Menezes (2005) destacam que as formas clássicas de classificação das pesquisas estão especificadas sob o ponto de vista da sua natureza como básica e aplicada, e em relação ao ponto de vista da abordagem do problema como quantitativa ou qualitativa. Esta pesquisa classifica-se, por sua natureza, como uma pesquisa aplicada, pois o objetivo é aplicar os conhecimentos sobre diagnóstico energético e avaliação de investimentos em

eficiência energética com o propósito de auxiliar na solução de problemas tanto da análise de engenharia quanto da análise econômica.

Em relação à abordagem do problema, esta pesquisa classifica-se como quantitativa dado que as variáveis analisadas são essencialmente quantificáveis e a análise das mesmas ter sido feita através de técnicas estatísticas.

De acordo com os objetivos, esta pesquisa é descritiva, pois procura descrever as características do desempenho energético de uma empresa do setor industrial e estabelecer as relações entre as variáveis consumo e produção, assim como analisar o risco dos investimentos em eficiência energética considerando as variáveis que geram incerteza nestes investimentos.

O método de pesquisa utilizado é modelagem e simulação, já que serão simuladas através da Simulação de Monte Carlo as economias líquidas de energia que podem ser obtidas através dos investimentos em eficiência energética e o valor presente líquido gerado por estes, levando em consideração a distribuição de probabilidade das variáveis que geram incerteza e que afetam a rentabilidade destes investimentos.

## **1.4 Estrutura do trabalho**

No segundo capítulo é apresentada uma visão geral do conceito de eficiência energética, suas vantagens e barreiras, e também são apresentadas as ferramentas que permitem identificar os investimentos necessários para atingir as economias de energia. No terceiro capítulo, é discutida a avaliação dos investimentos em eficiência energética e o uso de ferramentas de avaliação. No quarto capítulo, é apresentada a aplicação das ferramentas de identificação, avaliação econômica e de risco numa empresa industrial. Por fim, no capítulo cinco, são apresentadas as conclusões e recomendações.

## 2 A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

### 2.1 O papel da eficiência energética

A eficiência energética é definida como o volume de energia consumida por unidade de produção (RUSSELL, 2005). Sorrell & Dimitropoulos (2008) definem a EE como a relação entre as saídas (produção) e a energia de entrada. O ICRA (2004) afirma que a EE significa utilizar menos energia para atingir uma mesma produção, além de identificar os desperdícios de energia e tomar as ações necessárias para eliminá-los, sem prejuízo da qualidade, como apresentado na figura 2.1.

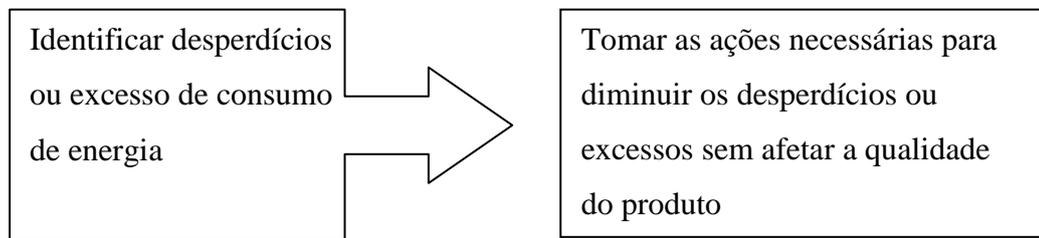


Figura 2.1– Processo da EE.

Fonte: ICRA (2004).

Resumindo estas definições, pode-se dizer que a EE é a relação entre produção e consumo energético, e que se pode aumentá-la com uma diminuição no consumo energético para um mesmo nível de produção ou ainda, com uma maior produção para um mesmo consumo, sem afetar a sua qualidade. Porém a EE é um processo que faz parte da gestão de energia e deve ser um processo de melhoria contínua.

A EE cumpre um papel importante nos países devido ao fato de que a maioria deles tem como principal fonte de geração de energia os combustíveis fósseis. Estes, frente a um aumento repentino da demanda de energia ou escassez da mesma, reagem com um aumento em seus preços, o que deixa problemas de segurança energética. Assim, a EE é considerada como uma opção importante para moderar o aumento da demanda de energia e as emissões dos gases de efeito estufa (PRASAD, 2009). Este efeito compromete a disponibilidade dos recursos hídricos que são necessários para os países cuja principal fonte de geração de energia é a energia hidroelétrica, como é o caso do Brasil.

Quanto às economias, Prasad (2009) afirma que todos os estudos, analisados em seu trabalho, indicam grandes potenciais de economia. A WEA (2000) encontrou que os potenciais de economias de energia estão entre 25 e 35% para os países desenvolvidos e até 30 e 40% para os países em desenvolvimento, além de uma relação custo-benefício entre 10 e 30% para as próximas duas ou três décadas.

Segundo Taylor *et al.* (2008), a EE além de contribuir com a segurança energética traz benefícios tanto para a indústria quanto para o meio ambiente, ao melhorar a rentabilidade, produtividade e competitividade da indústria através da diminuição dos custos, e o impacto ambiental desta na mudança climática. Para Bennett & Wells (2002) a EE melhora a competitividade das empresas toda vez que com sua implementação pode-se prever e controlar os potenciais efeitos da disponibilidade da energia e seu custo. De acordo com Russell (2005), a importância da EE não está baseada na diminuição dos custos de produção que resultam de um menor consumo energético, pois os custos de energia representam apenas 5% dos custos operacionais nas empresas. Para o autor, a importância da EE está no uso racional da energia, pois a falta desta, junto com os desperdícios de matéria-prima e os recursos ociosos, podem deter a produção e mascarar a rentabilidade da empresa.

Cicone *et al.* (2007) apresentam a EE como uma medida fundamental para manter um crescimento sustentável nas empresas através de instalações mais eficientes. Ademais, a EE diminui a necessidade de investir em novas infra-estruturas (WEA, 2000), já que se pode obter um grande volume da economia de energia através das práticas do dia-a-dia e com as tecnologias existentes, tomando ainda grande importância as atividades de monitoramento, medição e verificação do fluxo de energia (RUSSELL, 2005), o que é uma vantagem para as empresas, pois podem obter competitividade e produtividade sem fazer grandes investimentos, além de que as economias trazidas pela EE podem ser reinvestidas (PYE, 1998) assegurando uma renovação permanente de sua tecnologia. Assim, as empresas podem começar a implementar aqueles projetos de EE que não precisam de grandes investimentos, e com as economias geradas, desenvolver os projetos que requerem a compra de equipamentos mais eficientes. Isto obedece a programas mais complexos de melhoria contínua da EE, em sua grande maioria baseados em ciclos PDCA (*Planing, Do, Check, Act*) como o proposto pelo CIPEC (2002)

### **2.1.1 Vantagens da Eficiência Energética**

A eficiência energética traz vantagens tanto para as empresas quanto para os países em geral, pois como apresentado, o uso eficiente e racional dos recursos energéticos contribui para reduzir os impactos ambientais gerados pelos processos produtivos, além de contribuir com a segurança energética, o que oferece benefícios para a sociedade (WEA, 2000), sendo ambos, assuntos de muito interesse para os governos. Sob o ponto de vista das empresas, o principal interesse está na redução dos custos operacionais e no ganho de competitividade e produtividade. Além destas vantagens, Russell (2005) destaca que a EE:

- Reduz o risco de penalidades, ao contribuir para atingir os objetivos do marco regulatório ambiental;
- Gera receitas através da otimização da capacidade produtiva o que permite a expansão e/ou o aproveitamento de um aumento na demanda dos produtos ou serviços fornecidos;
- Oferece um melhor controle dos riscos ao proteger a indústria da variação dos preços dos combustíveis e da disponibilidade de energia;
- Do ponto de vista financeiro melhora as margens de lucro e o aumento da produtividade que pode ser vista em uma maior rotação de ativos.

O ICRA (2004) encontra outras vantagens como a diminuição da necessidade de investir em novas usinas e equipamentos e a redução da dependência de recursos convencionais como o petróleo e o gás.

Do ponto de vista econômico, os investimentos em projetos de EE oferecem retornos atrativos, entre 25 e 30% (PRASAD, 2009). Segundo Russell (2005), existem cinco maneiras que podem incrementar o retorno sobre o investimento (ROI) e uma delas é reduzindo as despesas de operação, o que pode ser obtido ao reduzir o consumo energético.

### **2.1.2 Barreiras da Eficiência Energética**

De acordo com Taylor (2008), no Brasil, China e Índia, as barreiras à EE se devem aos altos custos de transação e à aversão ao risco, porém destaca que os principais obstáculos obedecem a assuntos institucionais. Prasad (2009), afirma que o principal obstáculo à EE, é o acesso ao financiamento, pois do ponto de vista das instituições de financiamento, existem altos custos de transação correspondentes à identificação, desenvolvimento e financiamento

dos projetos. Além disso, segundo o autor, os bancos percebem um grande risco nos projetos de EE pelos altos retornos oferecidos, sendo que para eles estes não são convencionais, pois são percebidos como economias e não como a receita da empresa. Também afirma que falta sinergia entre os objetivos de gestão das empresas e os incentivos institucionais, e falta de conhecimento sobre a gestão da energia. WEA (2000) indica que além dos custos de transação, está a restrição de disponibilidade de capital e a necessidade de uma rápida recuperação do investimento.

O que este panorama demonstra é que nestes países há uma falta de conhecimento tanto técnico quanto econômico em relação à EE, o que sugere que há uma necessidade de conciliar estes conhecimentos para desenvolver com sucesso os investimentos de EE, levando em conta que o fluxo de caixa gerado pelo investimento é resultado das economias de energia geradas pela prática de medidas de EE.

## **2.2 Eficiência energética no Brasil**

Apesar de o Brasil contar com programas de eficiência energética desde 1895 e com uma próspera indústria de empresas de serviços energéticos, é calculado que ao ano é desaproveitado um potencial de US\$2.5 bilhões que poderiam ser usados em melhoras para a eficiência energética (WORLD BANK, 2008). Dentro dos esforços e principais iniciativas de eficiência energética foram criados o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), o Programa Nacional de Conservação da Energia Elétrica (PROCEL), o Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET) e mais recentemente, a Lei de Eficiência Energética.

O PROCEL atua diretamente no setor elétrico e os programas de eficiência energética dirigidos ao setor industrial estão focados no sistema de força motriz do setor, devido a que 62% da energia elétrica consumida na indústria correspondem ao consumo de energia deste sistema (PROCEL, [2008 ou 2009]). Esta atuação do PROCEL tem sido muito positiva, pois com a implementação das medidas de eficiência energética propostas, depois de fazer o diagnóstico energético tem-se conseguido economias de energia. O diagnóstico feito pelo PROCEL inclui a análise do sistema de iluminação, dos motores elétricos, do sistema de ar comprimido, dos sistemas de refrigeração, entre outros. Porém está baseado só no diagnóstico dos equipamentos, não propondo indicadores de eficiência energética que permitam analisar a relação consumo-produção, assim como identificar os consumos não

associados à produção, onde podem estar grandes economias de energia e de dinheiro, com pouco investimento. Além disso, os indicadores permitem o monitoramento do desempenho energético para identificar as oportunidades de melhoria contínua. Do ponto de vista econômico, o PROCEL propõe como ferramentas de análise o *payback*, o valor presente líquido e a taxa interna de retorno, sem levar em conta a análise de risco. De acordo com Ferreira *et al.* (2009), os diagnósticos energéticos feitos pelo PROCEL, geralmente apresentam altos tempos de retorno do investimento, desestimulando a implementação das medidas de eficiência energética recomendadas.

## **2.3 Ferramentas para Identificar Projetos de Eficiência Energética**

### **2.3.1 Identificação de investimentos em EE**

De acordo com Jackson (2008), os investimentos em EE podem ser classificados em quatro grupos:

- 1) Compra de novos equipamentos mais eficientes para substituir os atuais;
- 2) Modificação dos equipamentos atuais (características estruturais);
- 3) Redesenho do sistema de uso atual de energia (mudança do processo);
- 4) Instalação de sistemas para alterar o funcionamento dos equipamentos que consomem energia.

Porém, para determinar os investimentos que são necessários para atingir a EE, deve ser feita uma avaliação através das auditorias de energia. A auditoria energética permite estabelecer onde, quando e como é utilizada a energia (GASPAR, 2004).

Para o CEEMA (2002), as auditorias de energia visam atingir quatro objetivos principais:

- 1) Avaliar o consumo de energia (kWh, combustível, vapor, etc.);
- 2) Determinar as perdas e desperdícios de energia em equipamentos e processos;
- 3) Identificar os potenciais de economia de energia;
- 4) Estabelecer indicadores energéticos de controle e estratégias de operação e manutenção.

A avaliação do consumo de energia pode ser feita para toda a empresa, para uma linha de produto, para uma área da linha ou para os equipamentos que compõem cada área. Esta avaliação do consumo corresponde à linha base de consumo, a qual é indispensável para identificar as oportunidades de economia de energia.

Para atingir os objetivos das auditorias de energia, o CEEMA (2002) e a UPME (2006), propõem fazer a caracterização energética da empresa, com o propósito de fazer uma análise quantitativa e qualitativa da forma como a empresa administra e faz uso dos tipos de energia requeridos no processo produtivo. Assim, para fazer o diagnóstico energético, a UPME (2006) e o CEEMA (2002) sugerem utilizar as ferramentas apresentadas de 2.3.1.1 a 2.3.1.6.

### 2.3.1.1 Construção do fluxograma do processo produtivo

O fluxograma permite visualizar cada etapa do processo e sua relação, o tipo de energia e os produtos que entram e saem de cada etapa. Permite também visualizar os efluentes energéticos não utilizados e suas possibilidades de uso, as possíveis mudanças na programação do processo, assim como a introdução de modificações para reduzir os consumos. A figura 2.2 apresenta um exemplo de um fluxograma do processo de produção de um refrigerante.

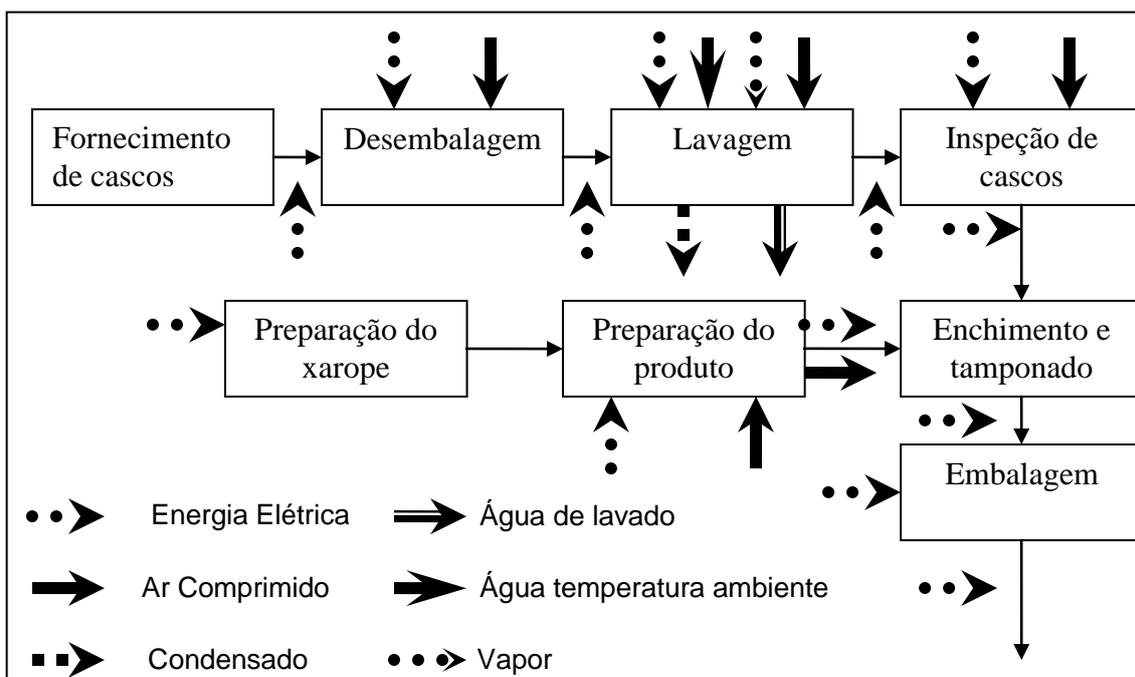


Figura 2.2 - Fluxograma do processo produtivo de um refrigerante.

Fonte: Adaptado do CEEMA (2002)

### 2.3.1.2 Diagrama de Pareto e estratificação

Conhecido também como Lei 20 – 80, o diagrama permite identificar os 20% das causas que geram os 80% dos efeitos de um fenômeno. Para o caso objeto de estudo, este diagrama permite determinar o 20% dos processos, áreas ou equipamentos, que geram o 80% do consumo energético. Deste modo, podem ser identificados os pontos-chave de controle e consumo energético. Por exemplo, segundo a figura 2.3, o diagrama de Pareto foi feito para a área de fornos e foi identificado que os fornos 1, 2 e 3 consomem 84% da energia total desta área.

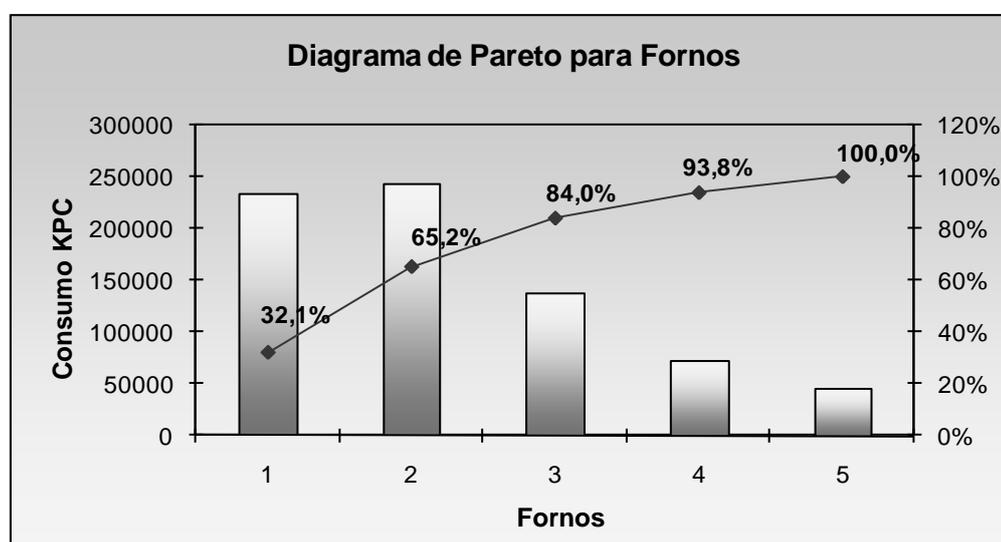


Figura 2.3 – Diagrama de Pareto para a área de fornos.

Fonte: Adaptado da UPME (2006).

### 2.3.1.3 Diagrama de energia e produção versus tempo

Este diagrama permite visualizar a variação simultânea do consumo energético com a produção no tempo. Pode ser feito para toda a empresa, uma área ou equipamento específico e mostra os períodos de tempo nos quais se produzem comportamentos anormais na variação do consumo energético em relação a variações na produção, além de permitir identificar as causas que produzem variações nos consumos, pois ao verificar aqueles comportamentos anormais, pode-se fazer uma análise específica para os períodos nos quais se apresentam estes comportamentos, e assim descobrir os fatos que os geram (UPME 2006) e (CEEMA 2002). A figura 2.4 apresenta um exemplo deste tipo de diagrama.

De acordo com os autores citados, a confiabilidade dos dados deve ser avaliada para determinar se a amostra tem a validade necessária e assim realizar a caracterização energética. Esta classificação da confiabilidade é determinada pela UPME (2006) como se apresenta na tabela 2.1.

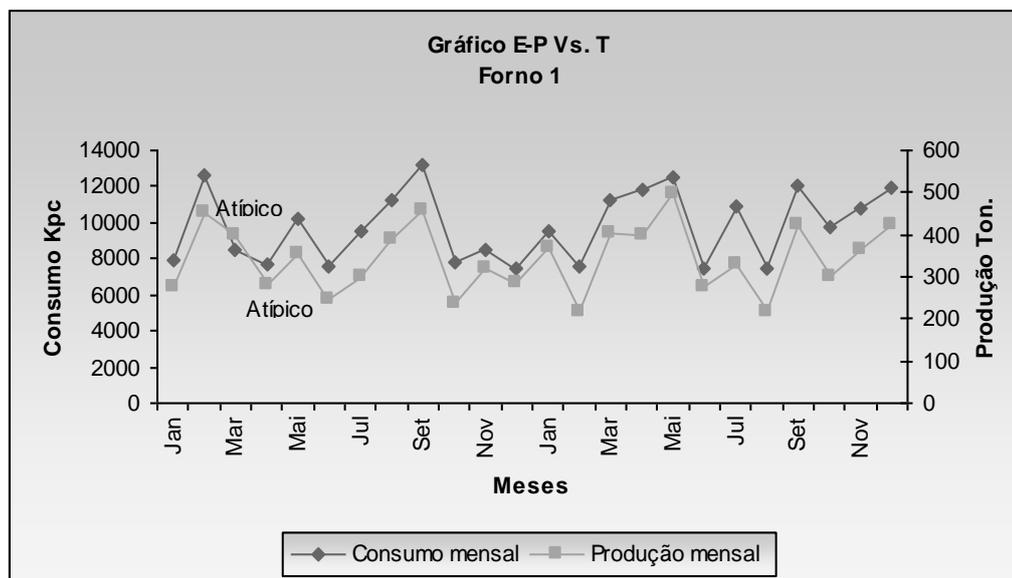


Figura 2.4 – Diagrama de energia e produção versus tempo.

Fonte: Adaptado da UPME (2006).

Percentagem de confiabilidade %	Classificação
100 - 95	Boa
95 - 80	Regular
<80	Deficiente

Tabela 2.1- Confiabilidade dos dados.

Fonte: UPME (2006).

### 2.3.1.4 Diagrama de energia versus produção

Também pode ser chamado de diagrama de correlação. O objetivo deste diagrama é apresentar a correlação entre duas variáveis, neste caso, consumo de energia e produção. Para isto, devem ser coletados os dados de produção e consumo para um período de tempo (dias, anos, meses) e através do método dos mínimos quadrados, determinar o coeficiente de correlação (R) e a equação da linha que se ajusta aos pontos do gráfico. De acordo com o

CEEMA (2002), o coeficiente de correlação deve ser maior ou igual a 75%, enquanto que a UPME (2006) indica que deve ser maior ou igual a 85%. Porém os autores concordam em que valores menores indicam uma correlação fraca entre as variáveis e, portanto os dados não são adequados para efetuar o diagnóstico energético. Igualmente, afirmam que um coeficiente de correlação menor faz com que o índice de consumo (ferramenta apresentada em 2.3.1.5) não reflita adequadamente a eficiência energética da empresa ou área analisada.

De acordo com o CEEMA (2002) e a UPME (2006), as razões mais freqüentes que causam uma correlação fraca entre as variáveis podem ser:

- Erros na medição, coleta e processamento dos dados;
- O consumo de energia não é controlado adequadamente e as práticas de operação e manutenção estão pobremente definidas;
- Os períodos para os quais foram medidos o consumo e a produção não são iguais;
- O termo produção não foi claramente definido, pois podem existir produtos em processo que consumiram energia, mas que não considerados, e produtos com diferentes requerimentos energéticos ou fatores ou atividades que influenciam no consumo e que não se refletem na produção.

Para os casos em que a correlação seja fraca, CEEMA (2002) propõe analisar qual das possíveis causas apresentadas pode estar gerando-a. Caso se deva a problema na definição da produção, pode-se aplicar o método de produção equivalente, o qual permite incorporar à produção os fatores ou atividades que tem uma influência significativa no consumo e que normalmente não são considerados.

Com a análise de correlação, é determinada a equação da linha que se ajusta aos pontos do gráfico, e está dada por:

$$E = mP + E_0 \quad (1)$$

Sendo:

E = consumo de energia.

P = produção.

m = inclinação da linha.

E<sub>0</sub>= Interseção da linha.

A equação apresenta aspectos importantes: a inclinação “m” corresponde à razão de variação meio do consumo de energia em relação à produção, a interseção “E<sub>0</sub>”, é o consumo de energia não associada à produção, o que quer dizer, que se a empresa não produzir, mesmo assim, há um consumo de energia. Muitas das economias de energia podem estar naquele consumo não associado à produção e segundo a UPME (2006) este consumo pode ter como causas:

- A iluminação da usina;
- A eletricidade para equipamentos dos escritórios;
- As áreas acondicionadas tanto de aquecimento quanto de resfriamento;
- A energia usada durante os serviços de manutenção;
- O pré-aquecimento dos equipamentos e sistemas de tubulações;
- A energia perdida em ar comprimido.

A figura 2.5 apresenta um exemplo do diagrama de dispersão como ferramenta da caracterização energética da empresa.

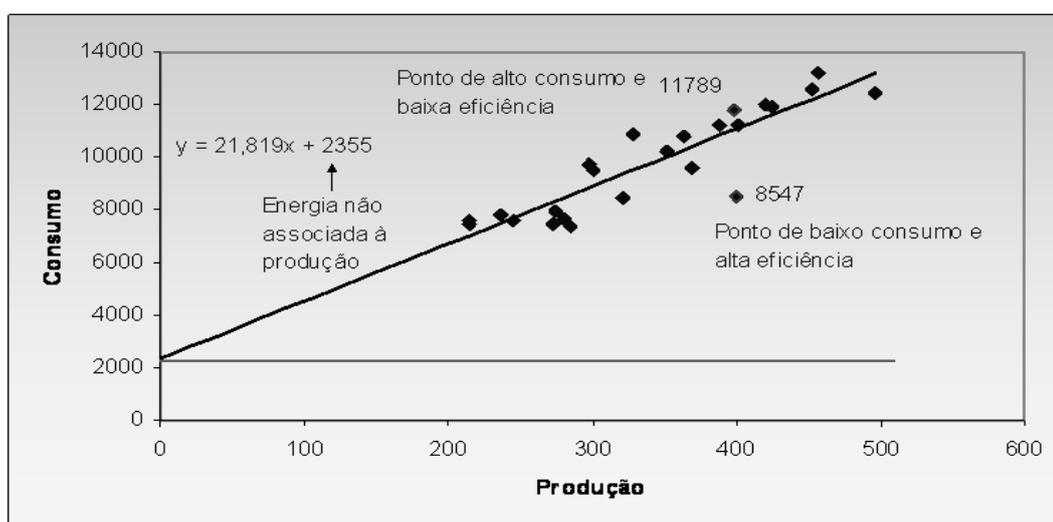


Figura 2.5 – Diagrama de dispersão Consumo Energia Vs. Produção.

Fonte: Adaptado de UPME (2006).

### 2.3.1.5 Diagrama índice de consumo versus produção

Obtida a equação 1, pode-se obter o índice de consumo, dividindo-se os consumos de energia desta equação pela produção, como apresentado na equação 2

$$\begin{aligned}
 IC &= \frac{E}{P} = \frac{mP}{P} + \frac{E_0}{P} \\
 IC &= \frac{E}{P} = m + \frac{E_0}{P} \\
 IC &= m + \frac{E_0}{P}
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

A equação 2 mostra que o índice de consumo depende do nível da produção realizada, e como apresentado na figura 2.6, a curva mostra que se a produção diminuir é possível diminuir o consumo total de energia. Porém as despesas de energia por unidade de produto aumentam. Isto acontece porque há uma menor quantidade de unidades produzidas suportando o consumo energético não associado à produção. Deste modo, se a produção aumentar, diminuirão as despesas energéticas por unidade de produto. Porém, até o valor limite da inclinação da linha representada pela equação1 (UPME, 2006).

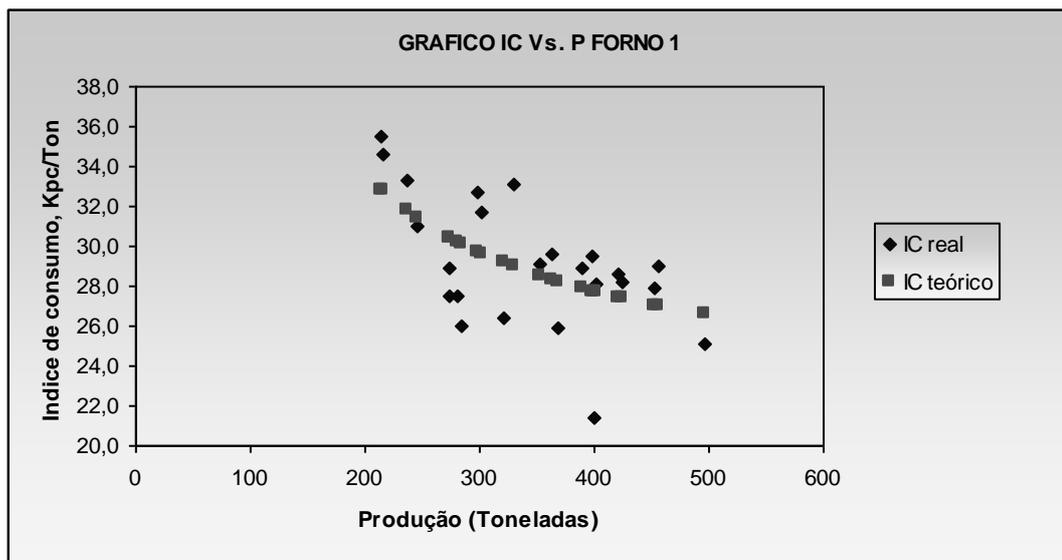


Figura 2.6 – Diagrama índice de consumo Vs. Produção.

Fonte: Adaptado da UPME (2006).

### 2.3.1.6 Diagrama de tendência dos consumos energéticos acumulados

Este diagrama pode ser usado para monitorar os consumos energéticos acumulados da empresa e compará-los com o período base, para determinar as economias ou perdas

produzidas, avaliar a efetividade das medidas de EE, além de comparar períodos de diferentes níveis de produção e EE. A figura 2.7 apresenta um exemplo deste tipo de gráfico.

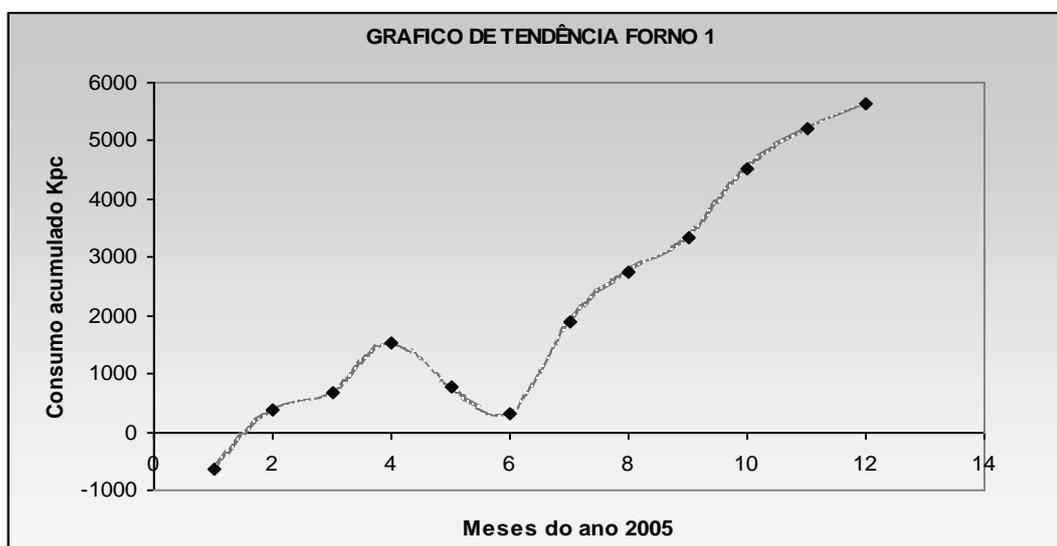


Figura 2.7 – Gráfico de tendência dos consumos energéticos acumulados.

Fonte: Adaptado de UPME (2006).

### 2.3.2 Estimativa das economias de energia

A linha de regressão obtida do diagrama de dispersão representa a linha base de consumo, indispensável para a estimativa das economias de energia, pois a diferença entre esta linha e a linha de consumo gerada pelo projeto de EE, corresponde às economias de energia geradas por este, assumindo-se que o projeto de EE está implementado (ICRA 2004). Deste modo, a estimativa das economias de energia é dada pela equação 3 proposta por ICRA (2004):

$$EcoE = (LBCE - CeDEE) * PE + -A \quad (3)$$

Sendo:

EcoE = Economia de energia.

LBCE = Linha base de consumo de energia.

CeDEE = Consumo de energia depois de implementar a EE.

PE = Preço da energia.

A = Ajustes.

Segundo ICRA (2004), os ajustes tem que ser levados em conta para ter uma maior precisão na estimativa das economias de energia e, portanto, das receitas geradas pelo investimento em EE. Estes ajustes podem ser de rotina ou não, sendo que os de rotina estão relacionados com ajustes durante o período de implementação da EE e podem ser por causas sazonais ou cíclicas, como o clima e a variação na ocupação. Os ajustes que não estão relacionados com a rotina correspondem àqueles gerados pelas mudanças acertadas que podem variar o uso da energia de um equipamento.

De acordo com a EPA (1998), as estimativas de economia tem que levar em conta o preço da energia utilizada no processo produtivo, pois a auditoria energética converte o novo consumo de energia em termos monetários, e deste modo, caso se antecipem os preços do tipo de energia utilizada no processo pode-se planejar as economias do futuro.

### 3 INVESTIMENTOS EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Os investimentos em EE são considerados como parte do processo de tomada de decisões sobre o orçamento de capital (HÄRUS, 2009). Portanto, e de acordo com a EPA (1998), os investimentos em EE devem ser considerados como qualquer outro investimento, o que significa que têm que ser avaliados com as mesmas ferramentas de avaliação econômica, além de uma análise de risco. Porém, esta análise, pela natureza do investimento, não tem sido feita de maneira apropriada pelas empresas, embora recentemente tenha sido desenvolvida uma ferramenta de análise de risco exclusiva para este tipo de investimentos, conhecida como *Energy Budgets at Risk – EbaR<sup>®</sup>*, desenvolvida por Jackson (2008) e que será apresentada em 3.1.5.

Um investimento em EE difere de outros investimentos porque as receitas daquele são geradas pelas economias de energia e não pelas atividades que constituem o *core business* da empresa. E, apesar dos altos retornos oferecidos pelos investimentos em EE, ainda existem barreiras para este tipo de investimentos, pois as taxas de retorno exigidas pelas empresas têm sido fixadas em níveis mais altos que o custo de capital para a empresa (DeCANIO, 1993). Segundo DeCanio (1998), este fenômeno é conhecido como o paradoxo da eficiência, pois é uma situação em que as empresas que se pressupõem economicamente eficientes rejeitam opções de investimentos que trazem benefícios, por causa da falta de conhecimento na avaliação destes investimentos e pela adoção de critérios que apesar de serem convencionais, não são os mais apropriados para levar em conta o risco.

Na pesquisa feita por Sardianou (2008), o autor encontrou as duas principais barreiras aos investimentos em EE: uma está relacionada com as barreiras financeiras e de mercado e a outra com os fatores humanos. A primeira está relacionada ao limitado acesso ao capital por parte da empresa, sua percepção de risco para tais investimentos e a falta de informação adequada, enquanto que a segunda faz referência às atitudes de gestão frente à EE e às dificuldades técnicas para adotar novas tecnologias, sendo esta a causa, de acordo com o autor, de grande parte do sucesso das medidas de EE estar no investimento em capital humano.

Segundo Rohdin *et al.* (2007), a principal barreira dos investimentos em EE é o acesso limitado ao capital, seguido pelo risco técnico, como as interrupções da produção, indicando assim, uma grande aversão ao risco. Deste modo, Härus (2009) afirma que as barreiras dos investimentos em EE se derivam de uma mesma razão: a falta de ferramentas de análise

adequadas aos mesmos. Por esta razão o autor também afirma que é necessária a clara compreensão dos benefícios dos investimentos em EE para não serem rejeitados apesar de serem rentáveis.

### **3.1.1 Avaliação de investimentos em EE**

A avaliação dos investimentos em eficiência energética tem sido alvo de pesquisadores tanto da área de engenharia quanto da área financeira, assim como de organizações privadas e governamentais que promovem a EE, pois esta faz parte da política energética de diferentes países, com o propósito de diminuir os impactos ambientais gerados pelo consumo de energia e como medida de segurança energética para evitar sua escassez. Assim, diferentes trabalhos têm sido desenvolvidos, tentando auxiliar aos tomadores de decisões no processo de avaliação deste tipo de investimentos.

### **3.1.2 Métodos para avaliação de investimentos**

Short, Packey & Holt (1995) afirmam que as medidas utilizadas para avaliar um investimento são determinadas por diferentes fatores, tais como: perspectiva do investidor, a regulação, o risco, o financiamento, o fluxo de caixa, a comparação de alternativas mutuamente exclusivas, entre outros.

Nesta seção são apresentadas as metodologias mais comuns e em seguida é discutido o seu uso na avaliação de investimentos em EE. São elas:

#### **i. *Payback***

Esta metodologia indica o tempo necessário para recuperar o investimento inicial realizado. Short, Packey & Holt (1995), EPA (1998), *Energy Star*<sup>®</sup> (2007) e ICRA (2004) afirmam que os pontos fracos desta metodologia se devem à mesma não levar em conta os retornos após o tempo de recuperação do investimento, além de que não leva em conta o valor do dinheiro no tempo. Apesar das desvantagens do *payback*, os autores antes mencionados sugerem o uso desta metodologia na avaliação de investimentos em EE. Além disto, a pesquisa feita por Harris, Anderson & Shafron (2000) constatou que 80% das empresas pesquisadas utilizam o *payback* como metodologia de avaliação de investimentos.

De acordo com o trabalho feito pelo DOE (1996), o *payback* é uma das metodologias comumente utilizadas pelas empresas de pequeno e médio porte para avaliar investimentos de EE.

## **ii. Valor presente líquido (VPL)**

De acordo com Short, Packey & Holt (1995) esta medida é recomendada para avaliar as características de um investimento e para a tomada de decisões em projetos mutuamente exclusivos. Os autores afirmam que esta medida supõe o reinvestimento à taxa de desconto. EPA (1998) e *Energy Star*<sup>®</sup> (2007) indicam que o VPL é uma das ferramentas de avaliação mais poderosas e que é usado para comparar e estabelecer prioridades entre os projetos que competem pelo orçamento. Para EMTF (2006) o VPL é a melhor metodologia para avaliar investimentos, pois leva em conta a vida útil do projeto, o valor do dinheiro no tempo e o risco do investimento através da taxa de desconto. Segundo a pesquisa feita por Harris, Anderson & Shafron (2000), ao redor de 30% das empresas pesquisadas utilizam o VPL como critério de decisão para investimentos em EE.

## **iii. Taxa interna de retorno (TIR)**

Segundo o EMTF (2006), a diferença da TIR em relação ao VPL está em que para seu cálculo não é necessário ter uma taxa de desconto. Embora a TIR seja um dos critérios de avaliação mais utilizados, Short, Packey & Holt (1995) afirmam que não é recomendada para projetos mutuamente exclusivos, e que nestes casos é melhor utilizar o VPL como critério de seleção entre projetos, além de que nos casos em que o fluxo de caixa muda de sinal mais de uma vez, podem existir múltiplas TIR e, portanto, podem ser tomadas decisões erradas. Para a avaliação de um investimento utilizando como critério a TIR do investimento, esta deve ser comparada com o custo de capital ou taxa mínima de atratividade (TMA) do investidor. EPA (1998) sugere uma TMA mínima de 20% para os investimentos em EE.

### **3.1.3 Uso dos métodos na avaliação de investimentos em EE**

Ao considerar os investimentos em EE como parte do processo da tomada de decisões sobre orçamento de capital de uma empresa, vários métodos podem ser utilizados para avaliar os possíveis investimentos de capital (HÄRUS, 2009). Assim, Biezma & San Cristobal (2006)

afirmam que os projetos de EE tem que ser avaliados sob as óticas técnica e econômica, sendo esta última feita com os critérios de avaliação de investimentos. De acordo com os autores, praticamente os únicos critérios utilizados para avaliar um projeto são o VPL, a TIR e o *payback*, apesar de existirem numerosos critérios. Da mesma forma, Sandberg & Söderström (2003), que realizaram uma pesquisa com empresas de alto e baixo consumo energético com o propósito de identificar as necessidades em relação à tomada de decisões a respeito de investimentos de EE, constataram que a metodologia mais usada é o VPL, junto com TIR e o *Payback*. No trabalho feito por Harris, Anderson & Shafron (2000) estes constataram que a metodologia mais utilizada para avaliar um investimento é o *payback*, seguido pelo VPL e TIR, respectivamente. Os autores observaram que o tempo médio de recuperação é de 3,6 anos, enquanto que o DOE (1996) concluiu que para as empresas de pequeno e médio porte é necessário um *payback* de menos de dois anos, e para as empresas de grande porte o *payback* pode ser de três anos ou menos.

Segundo a EMTF (2006), o *payback* e o retorno sobre o investimento (ROI) são as regras *ad hoc* para a avaliação de investimentos em EE, mas que podem levar a decisões erradas, enquanto que a TIR e o VPL são mais efetivas, pois a TIR permite comparar entre os rendimentos esperados de outros investimentos, e o VPL leva em conta todas as variáveis importantes relacionadas com o investimento, permitindo um melhor critério de decisão. O ROI permite visualizar o retorno do investimento para a vida do projeto, ou seja, leva em conta a vida útil do projeto. Porém, não leva em conta o valor do dinheiro no tempo, e assim, não pode ser utilizado para comparar o projeto com outros investimentos. Além disso, o ROI pode sobrestimar a atratividade do projeto quando os fluxos de caixa não são constantes e ocorrem no final do projeto.

Em trabalhos mais recentes, Jackson (2010) e Elliot (2008) afirmam que na prática a metodologia mais utilizada para avaliar investimentos em EE é o *payback*, além de que é utilizado como uma simples regra de decisão para reduzir o risco, através da limitação da análise a períodos de recuperação curtos (JACKSON, 2010). Resultados similares foram encontrados anteriormente por Ross (1986), onde sua pesquisa encontrou que os tomadores de decisão só investem em projetos de eficiência energética cujo investimento inicial é recuperado no máximo em um ano. Sendo este um fator, o que causa o baixo investimento em eficiência energética (DeCANIO, 1993). Este autor também argumenta que a preferência por períodos curtos de recuperação está associada à remuneração dos gerenciadores e sua constante rotatividade. No primeiro caso, o autor afirma que se a remuneração depender do

desempenho recente do gestor, ele vai ter preferência pelos projetos de rápido retorno. Para o segundo caso, o autor afirma que a constante rotatividade traz consigo poucos incentivos para promover investimentos com períodos longos de recuperação.

Pode-se concluir que o *payback* é a metodologia de avaliação mais utilizada na tomada de decisões sobre investimentos em eficiência energética, pois as decisões baseadas em períodos curtos de recuperação supõem menos incerteza. Porém, seu uso é questionado por suas desvantagens, sendo uma das razões para a existência da lacuna da eficiência energética, dada pela barreira criada pela limitação das análises a períodos curtos de recuperação do investimento, devido à falta de metodologias de avaliação mais sofisticadas e precisas. Härus (2009), ao tratar sobre este assunto, conclui que o primeiro passo para melhorar a avaliação de investimentos em eficiência energética é fixar o VPL como método de análise primário.

### **3.1.4 Análise de risco de investimentos em eficiência energética**

A eficiência energética por si só já tem sido promovida como uma ferramenta de gestão de risco para reduzir os efeitos da volatilidade dos preços no mercado de energia (NAUMOFF, 2007; RUSSELL, 2005), mas mesmo assim, investir em EE traz consigo incertezas sobre as economias de energia que se podem gerar.

No trabalho feito por Härus (2009) demonstrou-se que a análise de risco é uma das áreas de avaliação de investimentos em eficiência energética que precisa de melhorias, pois segundo o autor, para este tipo de investimentos é necessária uma análise mais sofisticada, além disso, a falta de métodos adequados constitui um obstáculo.

Thompson (1997) afirma que o risco dos investimentos em eficiência energética está relacionado à incerteza do preço do combustível, e à incerteza dos consumos atuais e futuros, pois um equipamento antigo pode apresentar variações nos consumos na medida em que envelhece, enquanto que para o novo equipamento pode não haver um registro de consumo bem estabelecido.

Harris, Anderson & Shafron (2000) encontraram que as empresas que implantaram alguma medida de eficiência energética identificaram que os principais fatores de risco estão relacionados às mudanças de informação, com o ajuste dos custos durante e depois da instalação de novos equipamentos ou execução da medida de eficiência energética e com os custos associados com imprevistos. Um aspecto a se levar em conta é que estes riscos não são incluídos nos cálculos tradicionais do VPL, pois segundo os autores, são custos ocultos.

Groot *et al.* (2001) depois de estudar o comportamento do investimento nas empresas holandesas que mais consomem energia, identificaram três categorias como principais obstáculos aos investimentos em EE. São elas:

- Os obstáculos relacionados com o processo geral de tomada de decisões;
- A restrição do financiamento;
- Os obstáculos relacionados à incerteza.

Esta última categoria está relacionada à tecnologia futura, aos preços e à evolução das políticas energéticas. Deste modo, Härus (2009) baseado no estudo feito por Groot *et al.* (2001), afirma que deve-se dar ênfase na melhoria das ferramentas de análise de risco para investimentos em EE.

A EPA (1998) afirma que o risco dos investimentos em eficiência energética está relacionado à estimativa dos custos futuros da energia e com os custos de operação e manutenção, ou seja, às suposições assumidas durante a vida do projeto. Porém, afirma que estes investimentos, em comparação com outros, são considerados de risco baixo. Entretanto, de acordo com o trabalho desenvolvido por Harris, Anderson & Shafron (2000), 58% das empresas pesquisadas têm uma atitude conservadora ou muito conservadora frente ao risco, tanto que os autores constataram que a taxa média de desconto utilizada para o cálculo do VPL dos investimentos em eficiência energética é de 13% a.a, sendo uma taxa levemente superior à rentabilidade histórica da bolsa de valores, que é aproximadamente de 10% a.a (HÄRUS, 2009). Igualmente, no trabalho feito por Sandberg & Söderström (2003), estes encontraram que as empresas pesquisadas têm um alto grau de aversão ao risco. Isto significa que em termos gerais, as empresas percebem os investimentos em eficiência energética como de alto risco, convertendo-se em uma barreira para este tipo de investimentos.

Mathew *et al.* (2005) afirmam que sob a ótica do investidor, a fragilidade dos investimentos em eficiência energética está na falta de modelos quantitativos de risco e na sua análise, considerando este aspecto de grande importância. Para os autores, a avaliação de um investimento, sem avaliar os riscos associados a este, é uma prática sem sentido. Deste modo, sugerem que os riscos e a rentabilidade dos investimentos em eficiência energética sejam analisados e avaliados da mesma forma que outros projetos de investimento.

Mills *et al.* (2006) afirmam que muitos dos investimentos relacionados à energia são feitos sem uma clara compreensão dos seus valores financeiros, riscos e volatilidades. Por outro lado, também afirmam que é necessária uma análise robusta dos aspectos físicos da eficiência energética, ou seja, é necessária sua compreensão para a correta tradução destes

dados físicos na linguagem dos investimentos, concordando com Tuomaala (2010). Mas na realidade, os administradores da energia e os responsáveis pelas decisões de investimento não falam o mesmo idioma (MILLS *et al.* 2006).

Quanto à incerteza, Mills *et al.* (2006) encontraram que há diferentes fontes de risco nos investimentos em EE, além de outras fontes que afetam a capacidade de gestão do risco. Deste modo, os autores classificaram os riscos em cinco categorias: econômicos, contextuais, tecnológicos, operacionais e de medida e verificação. Cada categoria é afetada por fatores endógenos e exógenos. Os endógenos estão relacionados com as mudanças nas instalações, as quais podem afetar o consumo de energia, ou seja, mudanças quantitativas. Os aspectos exógenos estão relacionados com variações nos preços da energia, nas taxas de juros e nas taxas de câmbio, sendo que esta última afeta aqueles projetos financiados com capital estrangeiro ou que têm relação com outros países. As categorias e principais fontes de risco são apresentadas no quadro 3.1.

	Fatores endógenos	Gestão de risco	Fatores exógenos	Gestão de risco
<b>Econômicos</b>			Custo do combustível	Coberturas; preço fixo dos contratos;
			Encargos da demanda	Coberturas; preço fixo dos contratos;
			Custo do capital	Taxas baseadas no risco
			Taxa de câmbio	Coberturas
			Despesas laborais	Preço fixo dos contratos; títulos indexados à inflação
<b>Contextual</b>	Informações sobre a instalação	Pesquisas	Meio ambiente	Pré-projeto de análise de dados; previsão do tempo, coberturas
	Aplicabilidade, viabilidade	Cuidados projeto	Nível do serviço de energia	Exclusões contratuais; ajustes
<b>Tecnologia</b>	Desempenho dos equipamentos	Desenho, especificações, medição, ESI, definir poupança	Vida dos equipamentos	Cuidado no desenho, especificações, exclusões contratuais
	Desempenho do sistema	Medição		
	Tamanho dos equipamentos	Desenho		
<b>Operação</b>	Diminuição da poupança	Monitoramento e diagnóstico	Persistência	Treinamento do usuário final e informações; exclusões contratuais; incentivos de ocupação
	Ajustes à linha base Qualidade do ambiente interno	Ajustes contratuais Seguro de responsabilidade civil		
<b>Medição e verificação</b>	Qualidade dos dados	Revisão de engenharia		
	Modelação de erros	Validação de modelos		
	Potência da energia	Plano de medição e equipamentos adequados		
	Precisão / exatidão da medição	Medição adequada, especificação adequada da medição e testes		

Quadro 3.1. Principais fatores de risco nos investimentos em Eficiência Energética.

Fonte: Adaptado de Mills (2006).

Segundo Mills *et al.* (2006), esta classificação além de permitir identificar os riscos nos investimentos em EE, é essencial para a gestão de risco, pois permite encontrar as ferramentas de gestão mais adequadas para cada um.

Härus (2009) afirma que os riscos dos grupos econômicos, tecnológico e operacional são quantificáveis e que, portanto, os seus efeitos podem ser analisados através do uso de ferramentas de análise de riscos, enquanto que os efeitos dos riscos da categoria contextual só podem ser analisados sob a ótica qualitativa.

Para a quantificação dos riscos apresentados no quadro 3.1, Mills *et al.* (2006) apresentam a utilização do coeficiente de variação, o qual permite a comparação das

incertezas de uma variedade de processos físicos de uma forma diferente. A normalização se faz dividindo o desvio padrão de uma distribuição de possíveis resultados pela média (no trabalho desenvolvido por Mills *et al.* (2006) a média corresponde à média do *payback* dos projetos). Assim, pode-se comparar medidas de eficiência com diferentes níveis de incerteza, como apresentado na figura 3.1. Um coeficiente de variação pequeno significa que a incerteza e o risco são baixos.

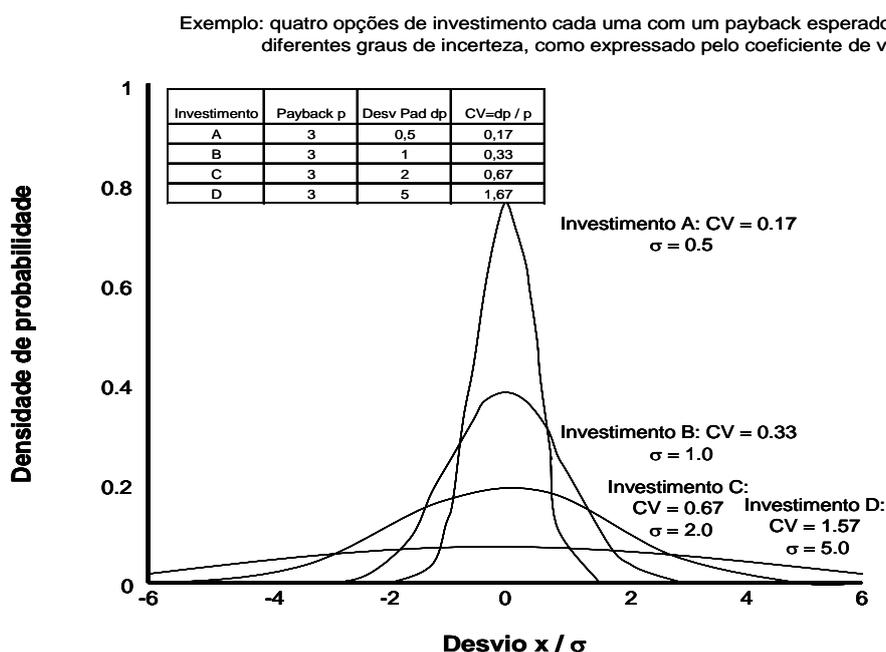


Figura 3.1- Uso do coeficiente de variação para avaliar a incerteza.

Fonte: adaptado de Mills *et al.* (2006).

Outra forma de medição do risco apresentada pelos autores é a simulação de Monte Carlo, que permite integrar as diferentes variáveis num método de avaliação econômica. Sob este enfoque, as características probabilísticas de cada componente de risco permitem identificar as incertezas e as atividades adequadas para a gestão de riscos (MILLS *et al.*, 2006).

Para a gestão destes riscos, Mills (2003) apresenta uma proposta para diminuir os riscos nos investimentos em EE, tomando como exemplo, a eficiência energética em construção de edifícios. Segundo o autor, pode-se atingir a referida diminuição através da transferência dos riscos por meio de *energy savings insurance (ESI)*. Este tipo de seguros é um contrato entre o corretor de seguros e o proprietário do edifício ou fornecedor de energia. Deste modo, é estabelecida uma linha base das potenciais economias e o corretor se

compromete a pagar qualquer déficit de economia de energia. O preço do seguro é estabelecido como uma porcentagem da economia de energia durante a vida do contrato. O *ESI* é utilizado no Canadá e nos Estados Unidos, além de alguns exemplos no Brasil e Malásia (MILLS, 2003).

De acordo com o autor, *ESI* tem um grande potencial para distribuir o risco e aumentar a confiança do mercado na economia de energia, além de que oferece vantagens frente a outras formas de transferência do risco, como as garantias de economias e os bônus de desempenho. Este é um motivo que leva o autor a propor uma investigação sobre os enfoques híbridos, tais como fianças para garantir a realização do projeto e *ESI* para garantir os fluxos futuros gerados pelas economias de energia.

Mathew *et al.* (2005) considera que do ponto de vista técnico, o desafio está na escassez de dados para apoiar a análise de riscos. Assim, afirmam que para medir a incerteza dos investimentos em eficiência energética, é importante ter uma base de dados para cada grupo de projetos similares, o que significa que as empresas que fornecem serviços de eficiência energética devem contribuir com a coleta de dados que permita fazer uma análise mais adequada. Deste modo, os autores propõem criar uma base de dados através de *actuarial data base*, sob o enfoque *actuarial pricing*. Este enfoque permite desenvolver modelos de predição probabilística.

Os autores afirmam que o desenvolvimento da base de dados apóia as outras formas de gestão de riscos, como as *ESI*, pois as companhias corretoras de seguros podem desenvolver um perfil de risco para os seus clientes baseados em suas características. Por outro lado, os autores também afirmam que a gestão de riscos baseada em portfólios pode reduzir os custos de transação e melhorar a viabilidade financeira dos projetos através da diversificação.

Harüs (2009) descreve as principais formas de gestão de risco para investimentos em eficiência energética, tais como: o ajuste da taxa de desconto, o ajuste do fluxo de caixa e a análise de sensibilidade.

### **i. Ajuste da taxa de desconto**

De acordo com o autor, esta é uma técnica tradicional para incorporar o risco no VPL, e consiste em determinar e utilizar como taxa de desconto o custo médio ponderado de capital ou *WACC* por sua sigla em inglês. Deste modo, o autor afirma que se os investimentos em eficiência energética forem considerados de risco médio, devem ser avaliados com esta taxa. O *WACC* é composto pelo custo do capital próprio e pelo capital de terceiros ou dívidas.

Pode-se determinar o custo de capital próprio utilizando o Modelo de Precificação de Ativos de Capital, mundialmente conhecido como *Capital Asset Pricing Model (CAPM)*. CAPM pode se expressar pela seguinte equação:

$$r_i = r_f + \beta * (r_m - r_f) \quad (4)$$

Onde:

$r_i$  = Ao retorno esperado.

$r_f$  = taxa livre de risco.

$r_m$  = retorno do mercado.

$\beta$  = risco sistemático.

Como taxa livre de risco podem ser considerados os títulos do governo. No caso dos Estados Unidos os títulos de longo prazo do tesouro norte-americano são considerados livres de risco (HARÛS, 2009). Portanto, a taxa de retorno destes títulos é considerada como a taxa livre de risco  $r_f$ . No Brasil, os títulos do tesouro e a poupança são considerados livres de risco.

Quanto ao retorno do mercado ( $r_m$ ), como o mercado é mais incerto, oferece um retorno maior do que os ativos sem risco. A diferença entre o retorno de mercado e o retorno livre de risco ( $r_m - r_f$ ) é considerada o prêmio pelo risco do portfólio de mercado.

Quanto ao risco sistemático, este corresponde aos riscos gerados pelas mudanças na economia e que afetam os ativos. Por exemplo, a taxa de câmbio, a inflação, os juros, o Produto Interno Bruto (PIB). Como estes riscos não dependem do ativo ou projeto, eles não podem ser diversificados, porém o afetam. Estes riscos sistemáticos ou não diversificáveis estão representados pelo coeficiente  $\beta$ . Este coeficiente mede a sensibilidade do ativo frente às variações do mercado.

Para a aplicação do CAPM a um projeto específico, o  $\beta$  pode ser definido pelo  $\beta$  das empresas do mesmo setor, as quais compartilham características semelhantes. Para o caso específico de investimentos em eficiência energética, as Empresas de Serviços de Conservação da Energia (ESCO), podem servir de referência para estimar o beta para este tipo de investimentos (HARÛS, 2009).

## ii. Ajuste do fluxo de caixa do investimento

De acordo com Harüs (2009), significa que os riscos não sistemáticos que podem se apresentar durante o projeto devem ser considerados dentro do fluxo de caixa. Estes riscos quando levados em conta dentro do fluxo de caixa não têm que ser incluídos na taxa de desconto. Porém, os riscos sistemáticos devem estar dentro desta taxa.

### **iii. Análise de sensibilidade**

Esta análise permite visualizar a sensibilidade do retorno do investimento sob diferentes suposições, como por exemplo, o que acontece com o retorno quando há mudanças nos custos de manutenção, nos preços da energia, nos custos de aquisição e instalação. Sobre esta análise, Harüs (2009) afirma que é um bom ponto de partida para a análise de risco de investimentos em eficiência energética, embora não ofereça uma regra clara de decisão. Segundo Jackson (2010) a análise de sensibilidade pode ser feita mediante cenários alternativos ou testes de estresse das variáveis e afirma que esta análise é importante para dar credibilidade ao valor do risco, o que significa que por si só não proporciona uma regra clara de decisão, mas sim, um complemento para reafirmar o resultado obtido do risco. Para isso, Jackson (2008) sugere ampliar o uso do *Value at Risk* (VaR) na avaliação e gestão de risco de investimentos em eficiência energética, que segundo Holton (2002), é a ferramenta mais utilizada para a gestão de risco.

Um trabalho importante que trata da análise de risco em investimentos em eficiência energética foi desenvolvido por Jackson (2008). O autor afirma que as medidas tradicionais como o *payback*, TIR e TMA não refletem a incerteza e, portanto, seus resultados, por si só, não podem ser utilizados como critério de avaliação de risco, sendo necessária uma avaliação adequada para estes investimentos. Jackson (2010) afirma que aqueles tomadores de decisões que utilizam períodos curtos de recuperação como critério de decisão têm uma posição conservadora frente ao risco, o que leva a tomadas de decisões erradas, ao rejeitar investimentos economicamente viáveis, só pelo fato de ter períodos de recuperação mais longos daquele estabelecido como regra de decisão. O autor complementa que estas práticas de avaliação de investimento são coerentes com a escassa literatura sobre a tomada de decisões em investimentos de EE.

### 3.1.5 Energy budgets at risk - EBaR<sup>®</sup>

Com o propósito de melhorar a análise de risco para os investimentos em eficiência energética, Jackson (2008) desenvolveu uma ferramenta chamada *Energy Budgets at Risk* (EBaR<sup>®</sup>). EBaR<sup>®</sup> tem duas áreas de aplicação: análise do orçamento e análise de investimentos. A análise de orçamento, apresentada por Jackson (2008) como *EBaRbudget* inclui uma análise dos custos e riscos esperados, enquanto a análise de investimento faz referência à análise de investimentos em EE, sendo que esta análise inclui o retorno e o risco do investimento. A análise do risco de investimentos em eficiência energética está baseada em VaR, que é uma ferramenta de gestão de riscos utilizada pelo setor financeiro. O coração de EBaR<sup>®</sup> é a simulação de Monte Carlo, considerada a mais poderosa no cálculo do valor do risco (JORION, 1998).

O EBaR<sup>®</sup> faz uma análise dos dados e das possíveis variações de cada uma das variáveis e as aplica em uma simulação de Monte Carlo, a qual, simultaneamente incorpora as influências das variáveis no investimento, como apresentado na figura 3.2, e fornece uma distribuição de probabilidade.

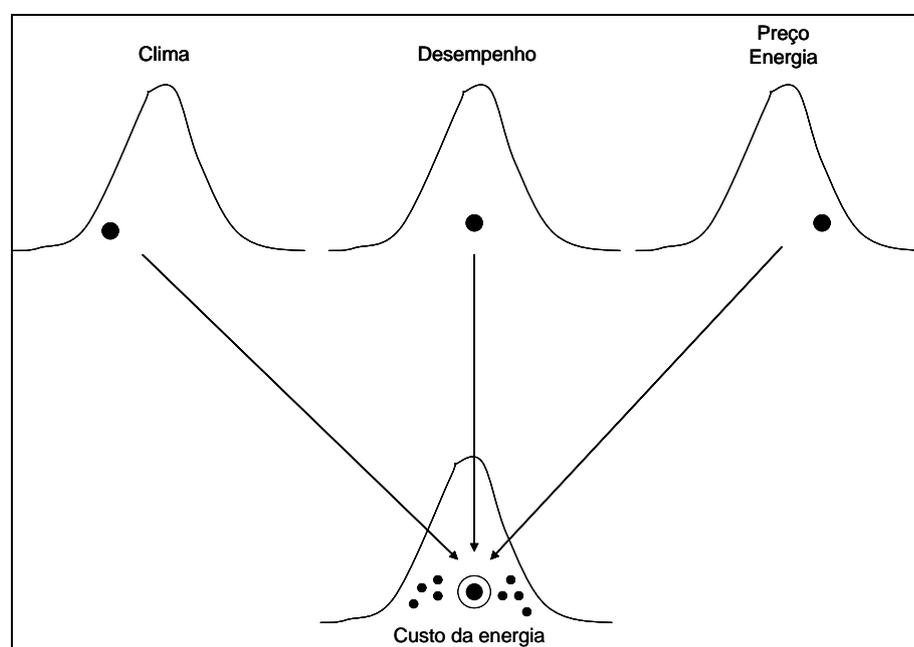


Figura 3.2– Estrutura da Análise de Monte Carlo.

Fonte: Adaptada de Jackson (2010).

Variáveis como o clima, o desempenho dos equipamentos e o preço da energia estão sujeitos à incerteza. Assim, a figura 3.2 reflete três distribuições de entrada, uma para cada

variável que gera incerteza (JACKSON, 2008). Em termos gerais, o que a ferramenta EBaR<sup>®</sup> permite fazer é uma caracterização quantitativa da incerteza dada pelas variáveis que influenciam as economias de energia, utilizando a simulação de Monte Carlo, oferecendo como resultado uma distribuição de probabilidade para a TIR, para as economias líquidas de energia e o para o orçamento de energia. Em outras palavras, a probabilidade de ocorrência dos cenários menos atrativos para os critérios de avaliação de investimentos, permitindo tomar decisões condicionadas pela tolerância ao risco de uma organização, pois se considerado apenas o resultado de cada critério não está se avaliando o risco gerado pela incerteza das variáveis antes mencionadas.

Ao utilizar a simulação de Monte Carlo, a EBaR<sup>®</sup> define uma distribuição para cada variável que afeta tanto as economias de energia quanto o rendimento do investimento, para depois simular repetidamente o processo para as variáveis de interesse, neste caso, as economias de energia e a TIR.

Segundo Jackson (2008), EBaR<sup>®</sup> fornece três variáveis de decisão primárias:

- EBaR<sub>budget</sub> que mostra a maior variação esperada do orçamento de energia (diferença entre o custo atual e o previsto), dado um nível de confiança;
- EBaR<sub>TIR</sub> e EBaR<sub>Economia Líquida</sub> que avaliam o retorno de um investimento em eficiência energética.

O autor ainda afirma que a TIR e as economias líquidas são as duas variáveis mais importantes que se deve considerar na avaliação de investimentos. Em relação às economias líquidas, estas refletem os benefícios gerados pelo investimento levando em conta os custos ou despesas que não estão explícitos na TIR, tais como as despesas associadas com as funções de gestão, contratação e aquisição (JACKSON, 2008).

De acordo com o autor, a utilização do EBaR<sup>®</sup> para análise de investimentos, pode ser resumida nos seguintes passos básicos:

1. Identificar as variáveis que possam afetar o rendimento do investimento;
2. Análise das variáveis para identificar a distribuição de probabilidade para cada variável;
3. Uso da simulação de Monte Carlo para extrair os valores para as variáveis com base em suas distribuições, para usá-las na análise dos investimentos;
4. A avaliação das estatísticas ou variáveis de decisão EBaR<sup>®</sup> e análise de sensibilidade;

5. Documentação que inclui a apresentação dos resultados em vários níveis, desde um relatório gerencial até relatório técnico.

Com o propósito de exemplificar a aplicação do EBaR<sup>®</sup> é apresentado o estudo de caso desenvolvido por Jackson (2010). A aplicação do EBaR<sup>®</sup> é feita para avaliar a melhoria da eficiência no sistema de iluminação, calefação, ventilação e ar condicionado (HVAC) num prédio de escritórios. As características do investimento são apresentadas na tabela 3.1. Os dados são analisados com EBaR<sup>®</sup> e são obtidos os resultados apresentados na tabela 3.2 e representados pelos gráficos apresentados nas figuras 3.3 e 3.4.

	<i>Valor</i>
<b>Custo total do investimento</b>	US\$ 325.000
<b>Economias de energia estimadas</b>	US\$ 153.400
<i>Payback</i>	2,1 anos
<b>TIR</b>	46,1%
<b>Economia de energia líquida</b>	US\$ 95.900

Tabela 3.1– Características do investimento.

Fonte: Adaptado de Jackson (2010).

	<i>Valor mínimo da TIR</i>		<i>Valor mínimo das economias líquidas (US\$)</i>
<b>EBaR<sub>TIR,esperado</sub></b>	46,1%	<b>EBaR<sub>EcoLiq,esperada</sub></b>	95.900
<b>EBaR<sub>TIR,90%</sub></b>	39,5%	<b>EBaR<sub>EcoLiq,90%</sub></b>	75.500
<b>EBaR<sub>TIR,95%</sub></b>	37,5%	<b>EBaR<sub>EcoLiq,95%</sub></b>	69.600
<b>EBaR<sub>TIR,97,5%</sub></b>	36,2%	<b>EBaR<sub>EcoLiq,97,5%</sub></b>	65.900

Tabela 3.2 – Resultados EBaR<sup>®</sup>.

Fonte: Adaptado de Jackson (2010).

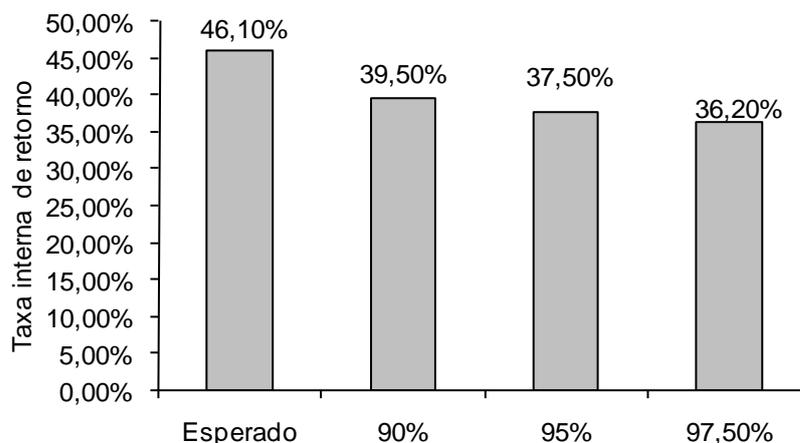


Figura 3.3- TIR sob diferentes níveis de confiança.

Fonte: Adaptado de Jackson (2010).

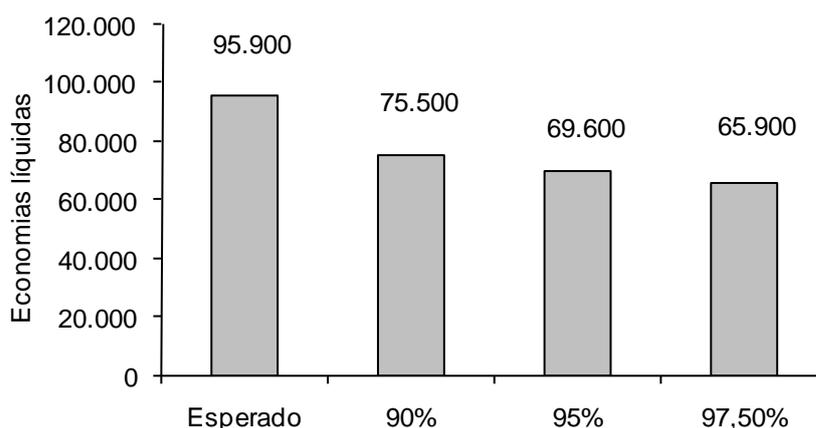


Figura 3.4- Economias líquidas sob diferentes níveis de confiança.

Fonte: Adaptado de Jackson (2010).

De acordo com Jackson (2010) e segundo os resultados apresentados na tabela 3.2 e nas figuras 3.3 e 3.4, EBaR<sup>®</sup> permite afirmar que há 90% de chance de obter uma TIR  $\geq$  39,5% e economias líquidas  $\geq$  US\$75.500, ou no pior dos casos, existe 2,5% de probabilidade de obter uma TIR  $\leq$  36,2% e economias líquidas  $\leq$  US \$65.900. Sob estes resultados Jackson (2010) afirma que se os tomadores de decisões se basearem no *payback* (2.1 anos), a empresa não aceitaria fazer o investimento, pois ao limitar a gestão de risco a períodos curtos de recuperação, este seria para eles um investimento de alto risco. Porém se utilizarem as ferramentas de avaliação do risco apropriadas, como EBaR<sup>®</sup> é evidente que o investimento gera retornos atrativos com pouco risco.

Cabe destacar que as diferentes aplicações que o autor da metodologia EBaR<sup>®</sup> tem feito ou proposto, tem sido para prédios de escritórios privados e do governo, restaurantes, escolas, supermercados, hotéis, hospitais e igrejas. Ou seja, para locais onde basicamente se oferecem serviços, onde são focadas as análises aos sistemas de ventilação, calefação, ar condicionado e iluminação. Para o caso proposto nesta pesquisa é adotada e adaptada a metodologia EBaR<sup>®</sup> para uma empresa industrial do setor metal-mecânico.

# **4 IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DE INVESTIMENTOS EM UMA EMPRESA INDUSTRIAL**

## **4.1 Características gerais da empresa**

A empresa onde foi realizado o diagnóstico energético é a fábrica da Mahle de Itajubá, Minas Gerais. Esta fábrica está dividida em mini-fábricas e o diagnóstico foi feito especificamente para a mini-fábrica de buchas e arruelas.

A Mahle é uma empresa de atuação mundial, com presença no Canadá, México, Estados Unidos, Argentina, Brasil, China, Índia, Japão, Coreia, Filipinas, Tailândia, Singapura e mais dezoito países da Europa. A Mahle fabrica componentes de motores, pistões, anéis, bronzinas, buchas, bielas, componentes sinterizados, sistemas de trem de válvulas, filtros automotivos e industriais.

## **4.2 Fluxograma para identificação e avaliação de investimentos em eficiência energética**

Para o desenvolvimento da identificação dos investimentos para melhorar a eficiência energética da mini-fábrica e a avaliação dos mesmos, é proposta a metodologia apresentada na figura 4.1. Com esta metodologia, são conciliadas a análise técnica e a análise de risco. Com a análise técnica, é feito o diagnóstico energético que permite identificar as medidas que vão melhorar a eficiência energética e os investimentos necessários para implantar tais medidas, e com a análise de risco, é possível avaliar o risco associado aos investimentos; permitindo assim, a tradução dos dados físicos da eficiência energética na linguagem dos investimentos.

A aplicação da metodologia é descrita passo a passo de 4.3.1 a 4.4.3

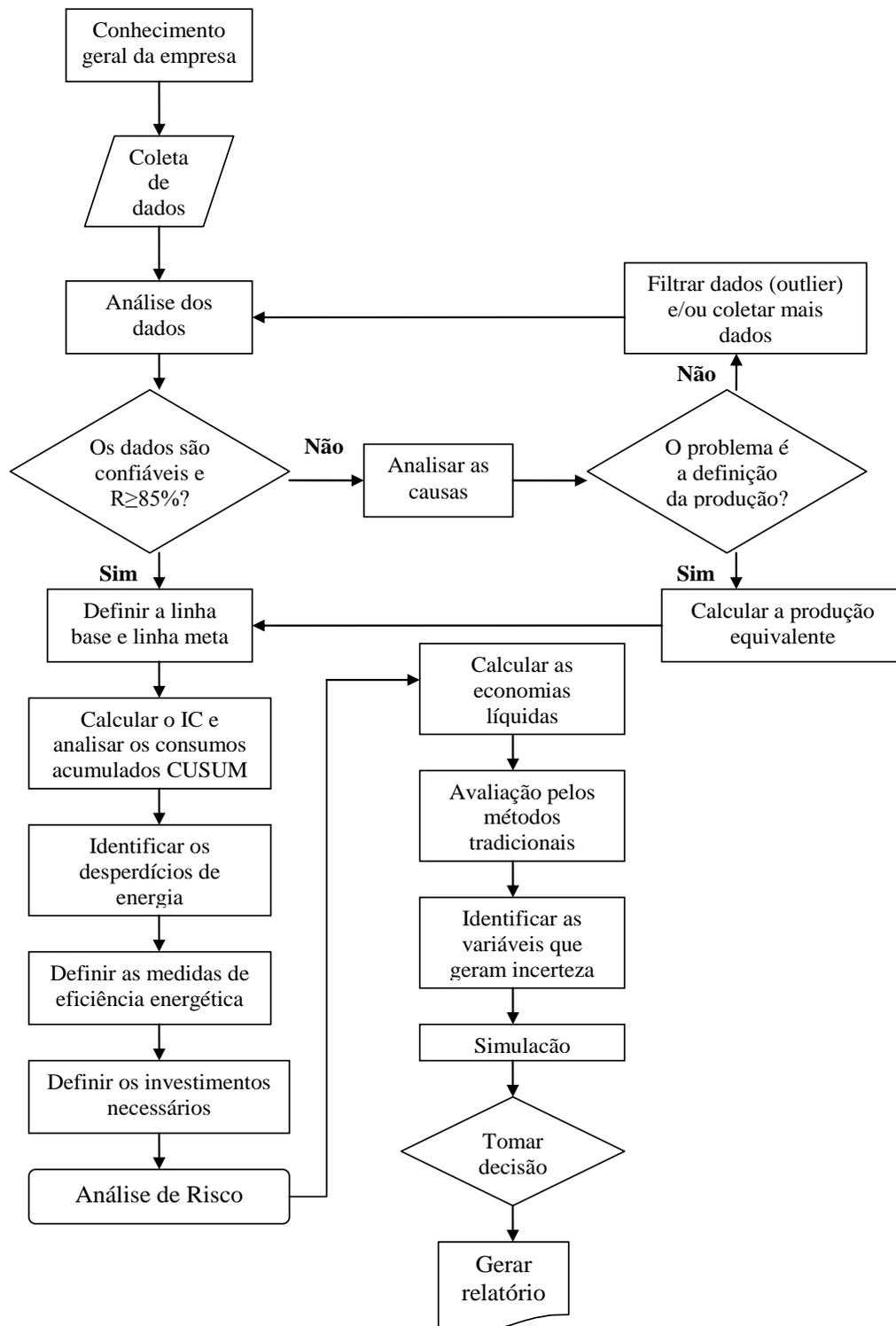


Figura 4.1- Fluxograma para identificação e avaliação de investimentos em eficiência energética.

Fonte: Elaborado pelo autor.

## **4.3 Diagnóstico energético**

### **4.3.1 Primeiro passo: Conhecimento geral da empresa e da unidade a ser analisada**

Para o desenvolvimento deste passo foram aplicados dois questionários, um para conhecer o que a empresa está fazendo em gestão energética e outro para conhecer a organização da mini-fábrica. Ambos os questionários foram enviados por e-mail, sendo o primeiro ao engenheiro da manutenção e o segundo ao engenheiro responsável pela mini-fábrica. Os questionários aplicados são apresentados no Anexo II.

Quanto à gestão da energia, a empresa tem uma política energética e entre seus objetivos está reduzir os custos através da diminuição do consumo de energia em 2,5%, sendo que para conseguir esta redução, tem como projetos: iluminação eficiente, bancos de capacitor e reaproveitamento de água da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE). Porém esta meta foi determinada através da média do consumo do último ano e não com indicadores ou ferramentas adequadas que refletem seu real desempenho energético, além de que a empresa não realizou nenhuma auditoria energética, seja interna ou externa.

De acordo com a análise feita pela empresa, as unidades de maior consumo são: fundição, usinagem, pré-usinagem, utilidades, buchas, aço nitretado e aço 3, como apresentado na figura 4.2.

A mini-fábrica opera 24 horas do dia, durante 365 dias do ano através de três turnos de 8 horas cada, incluindo uma hora de recesso em cada turno. A produção média anual é de 57.600.000 peças. Em média, o consumo mensal por demanda no horário de ponta é de 1040 kW e de 1137 kW no horário fora de ponta, com uma tarifa de R\$ 36,81 e R\$ 6,13 por kW, respectivamente e uma tarifa de consumo de R\$ 0,15289024, e a manutenção está focada na disponibilidade e não em critérios de eficiência e otimização energética e produtiva.

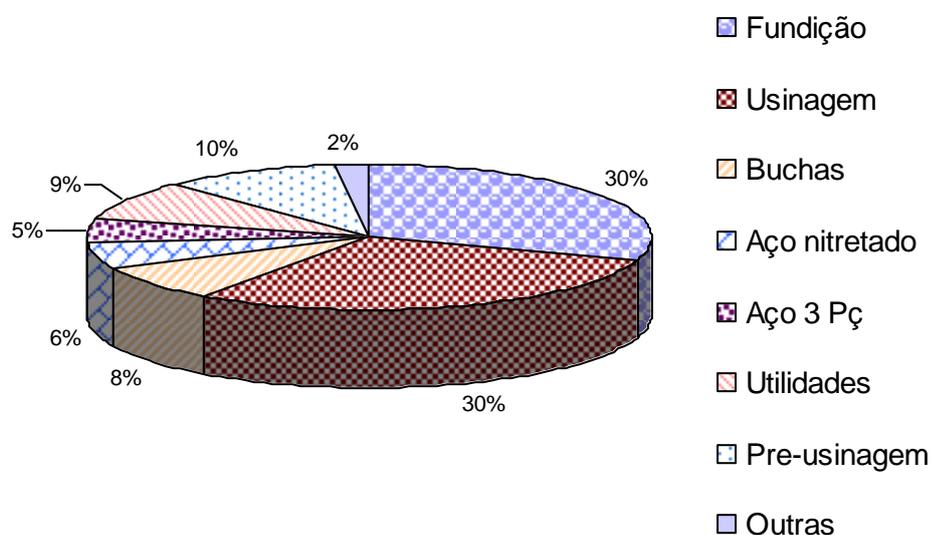


Figura 4.2– Unidades de maior consumo energético na Mahle.

### 4.3.2 Segundo passo: Coleta de dados

Para o desenvolvimento do diagnóstico energético foi realizada a coleta dos dados do consumo de energia e da produção mensal de buchas e arruelas para o período 2008-2010, através de informações de arquivo da mini-fábrica e que foram fornecidos pelo engenheiro da manutenção. Para o período analisado, são 36 pares de dados: consumo de energia (kWh) e produção (unidades). Os dados coletados são apresentados no Anexo I.

### 4.3.3 Terceiro passo: Análise dos dados

A análise dos dados foi realizada através das ferramentas propostas pela UPME (2006) e que foram apresentadas no capítulo 2, seção 2.3.1.

#### i. Gráfico de controle

Este gráfico é feito para a variável objeto de estudo, neste caso, o consumo. Como o propósito deste gráfico é analisar se o comportamento da variável está dentro dos limites estabelecidos, são calculados a média, o desvio padrão e o limite central inferior e superior

para o consumo de energia do período analisado (2008 – 2009). O limite inferior e superior, de acordo com a UPME (2006), é definido assim:

$$LCS = \mu + 3 * \sigma$$

$$LCI = \mu - 3 * \sigma$$
(5)

Sendo:

LCS = limite central superior.

LCI = limite central inferior.

$\mu$  = média dos dados coletados.

$\sigma$  = desvio padrão dos dados coletados.

Os dados estatísticos utilizados para construir o gráfico de controle são resumidos na tabela 4.1 e o gráfico é apresentado na figura 4.3.

Média – ( $\mu$ )	476.077,06
Desvio padrão – ( $\sigma$ )	129.999,18
LCS	866.074,61
LCI	86.079,50

Tabela 4.1- Estatísticos para construir o gráfico de controle.

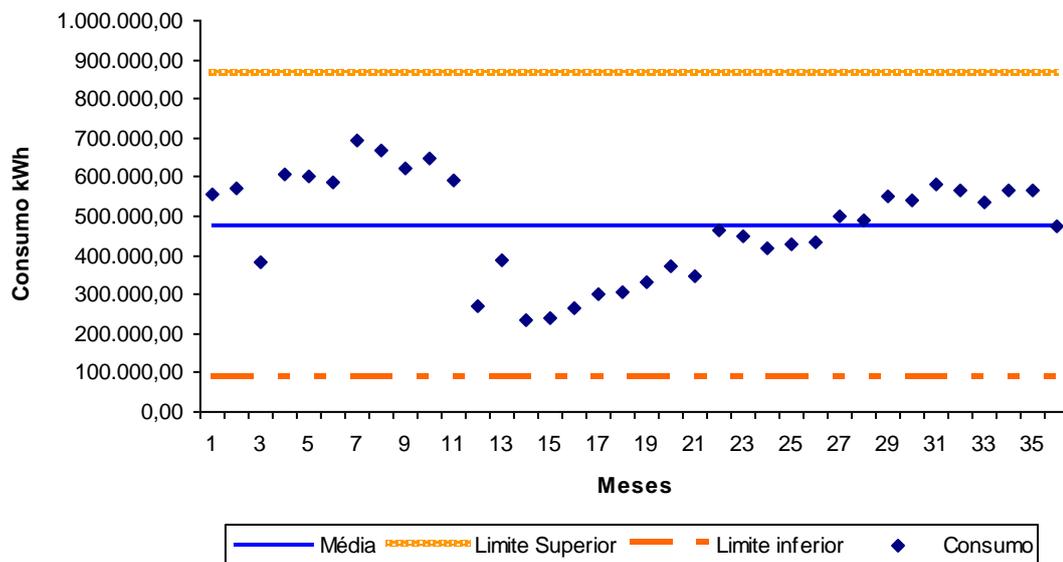


Figura 4.3 - Gráfico de controle para o consumo de energia.

É possível analisar que, aparentemente, a variável consumo está sob controle, pois seu comportamento está dentro dos limites estabelecidos, porém há pontos de distribuição anormais, ao se observar um comportamento de tendência com subidas e quedas que se mantém durante um período de tempo.

## ii. Diagrama de consumo e produção versus tempo

Para a elaboração deste diagrama é calculada a variação do consumo e da produção, segundo a equação 6. Os resultados são apresentados no Apêndice I

$$\left[ \frac{X_t}{X_{t-1}} - 1 \right] * 100 \quad (6)$$

Onde:

$X_t$  é a variável observada no período atual.

$X_{t-1}$  é a variável observada do período anterior.

Com os cálculos feitos é obtido o gráfico da figura 4.4, através do qual é possível determinar que existem vários períodos que apresentam comportamentos anormais, pois apresentam-se intervalos onde a produção aumenta e o consumo diminui, como no mês de março de 2008, onde a produção aumentou 5,56%, enquanto o consumo diminuiu 32,95%. O mesmo comportamento acontece em maio, setembro e novembro de 2008, fevereiro, junho e dezembro de 2009 e em junho, agosto e dezembro de 2010. Destacando que para os dois últimos anos, se repete o comportamento em junho e dezembro. Também é possível visualizar períodos onde a produção diminui e o consumo aumenta, como acontece em fevereiro de 2008, pois, enquanto a produção diminuiu 12,34%, o consumo aumentou 2,96%. Igualmente ocorre em abril e outubro de 2008, março, maio e julho de 2009 e em maio e julho de 2010, coincidindo o mesmo comportamento para maio e julho dos últimos dois anos.

Levando-se em conta que são apresentados muitos comportamentos anormais durante o período analisado, é necessário determinar a confiabilidade dos dados. Esta confiabilidade é calculada segundo a seguinte equação:

$$\frac{\text{Número de pares de dados com comportamento normal}}{\text{No. de dados da amostra}} * 100 \quad (7)$$

Substituindo os dados na equação 7, temos:

$$\frac{18}{36} * 100 = 50 \%$$

De acordo com a tabela 2.1, o resultado obtido classifica-se como confiabilidade deficiente. Este resultado, juntamente com o comportamento irregular observado na figura 4.4, mostra indícios de que existem inconsistências com os dados.

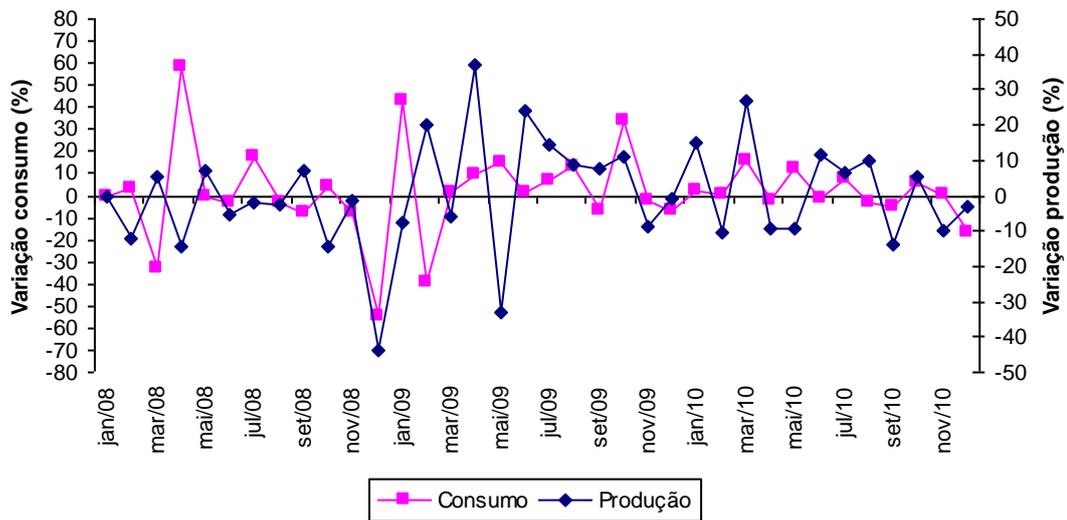


Figura 4.4 - Diagrama produção – consumo versus tempo.

Fonte: Elaborado pelo autor.

### iii. Diagrama de dispersão consumo versus produção

Este diagrama é feito através de uma regressão linear das variáveis consumo e produção, como apresentado na figura 4.5.

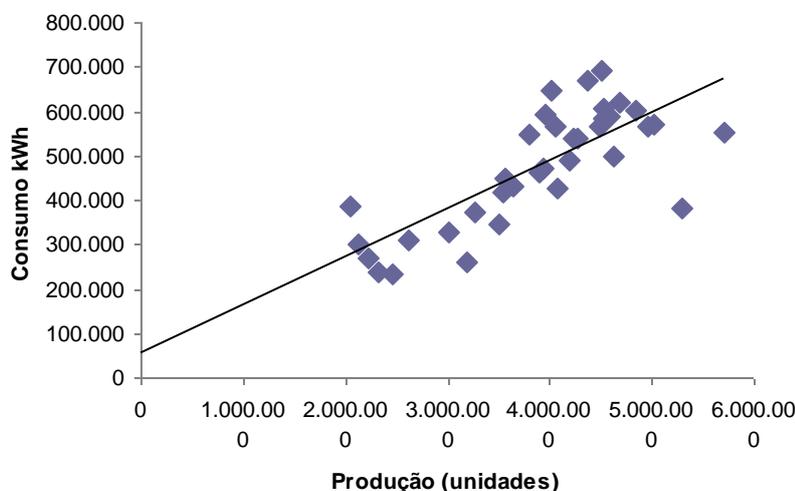


Figura 4.5 – Diagrama de dispersão consumo versus produção.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao realizar a análise de regressão linear é obtida a seguinte equação para o consumo:

$$\text{Consumo} = 57.733 + 0,1076 * \text{produção} \quad (8)$$

Com esta equação identifica-se que existe um consumo de energia não associado à produção de 57.733 kWh por mês e, é neste consumo onde se podem encontrar grandes potenciais de economia de energia. Porém, o coeficiente de correlação R é de 76,57%, e segundo UPME (2006), quando  $R \leq 85\%$  os dados não refletem a real eficiência da área analisada, ou seja, que os resultados obtidos não permitem determinar com grau de confiança os potenciais de economia de energia.

Levando em conta os resultados das análises anteriores, são estudadas as possíveis causas que estão gerando o comportamento das variáveis, seguindo as pautas propostas pela UPME (2006) e apresentadas em 2.3.1.4. Encontra-se, então, que há erros na medição, pois no mês de março de 2008 houve perda de dados de consumo por cerca de dez dias e, além disso, a mini-fábrica define sua produção com o total de unidades produzidas, sem levar em conta que há dezesseis linhas de produção, cada uma com requisitos energéticos diferentes. Logo, para fazer o diagnóstico e conhecer a real eficiência da mini-fábrica deve ser calculada a produção equivalente. A equação da produção equivalente está dada por:

$$\sum U_i * F_i \quad (9)$$

Sendo:

$U_i$  são as unidades produzidas por cada linha.

$F_i$  é o fator de conversão energético para cada linha.

Para o cálculo do fator de conversão energético é necessário definir uma das linhas como linha base e o consumo de cada linha vai ser dividido pelo consumo da linha base. Assim o fator de conversão energético para cada linha está dado pela equação 10:

$$F_i = \frac{C_i}{C_{base}} \quad (10)$$

Sendo:

$F_i$  é o fator de conversão para cada linha.

$C_i$  é o consumo de energia de cada linha por unidade produzida.

$C_{base}$  é o consumo de energia da linha base por unidade produzida.

Com auxílio do Diagrama de Pareto apresentado na figura 4.6 é possível determinar que 80,58% do consumo de energia da mini-fábrica são representados pela produção de buchas e que a linha de maior consumo é a linha B09.

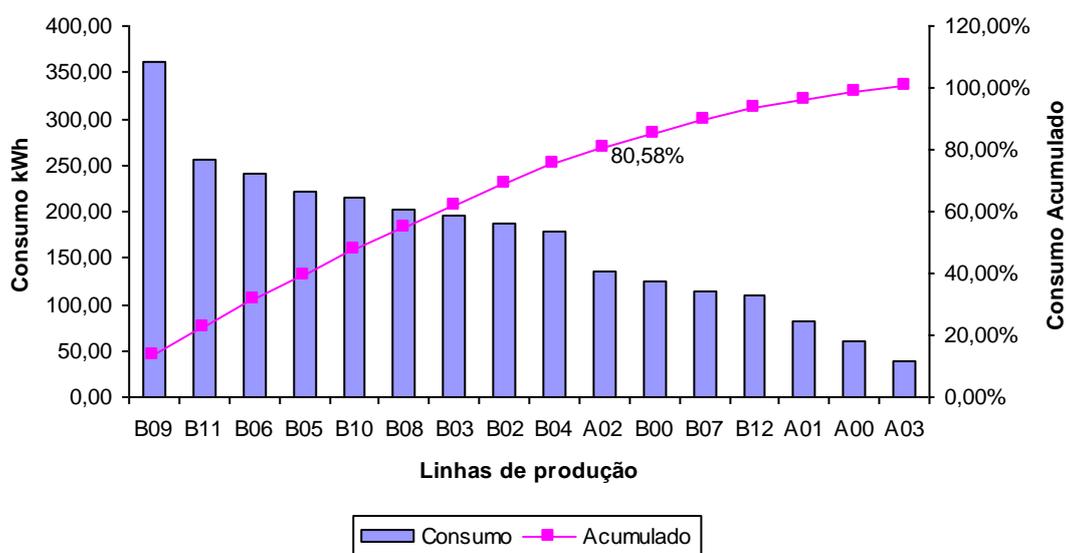


Figura 4.6 - Diagrama de Pareto para as linhas de produção da mini-fábrica.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com esta análise, a linha B09 é definida como linha base para o cálculo do fator de conversão energético. O fator de conversão para cada linha é apresentado na tabela 4.2.

	kWh/pç	Fator
A00	0,005	0,026
A01	0,050	0,255
A02	0,088	0,449
A03	0,066	0,337
B00	0,037	0,189
B02	0,044	0,224
B03	0,085	0,434
B04	0,111	0,566
B05	0,089	0,454
B06	0,092	0,469
B07	0,040	0,204
B08	0,105	0,536
B09	0,196	1,000
B10	0,149	0,760
B11	0,133	0,679
B12	0,001	0,005

Tabela 4.2 - Fator de conversão energético.

O cálculo desta produção deve ser feito para cada um dos meses do período analisado. Deste modo, substituindo os valores da produção mensal de cada linha e seu respectivo fator de conversão energético na equação 9, é possível expressar a produção da mini-fábrica em unidades equivalentes da linha B09. Os resultados obtidos de produção equivalente são apresentados no Apêndice II.

Com os resultados obtidos de produção equivalente para o período analisado, deve-se fazer novamente o diagrama de correlação e pode-se proceder ao cálculo do índice de consumo.

A figura 4.7 representa o novo diagrama de correlação através do qual é obtida a linha base de consumo, dada pela equação 11.

$$Consumo = 44,861 + 0,396 * P_{eq} \tag{11}$$

Sendo:

$P_{eq}$  é produção equivalente.

Com esta nova regressão é obtido um coeficiente de correlação R de 87,66%, o qual reflete uma forte correlação linear positiva entre as variáveis, indicando também que o uso da

produção equivalente é uma boa solução para melhorar o grau de relação entre as variáveis consumo e produção quando existirem fatores ou atividades que afetem a definição da produção.

Esta nova equação 11 permite afirmar que existe um consumo de energia não associado à produção de 44.861 kWh por mês.

Como se verificou, com o uso da produção equivalente consegue-se melhorar o coeficiente de correlação, portanto, baseando-se nestes dados e nos resultados obtidos é possível determinar a linha meta, a qual vai revelar os potenciais de economia de energia que podem ser atingidos pela mini-fábrica.

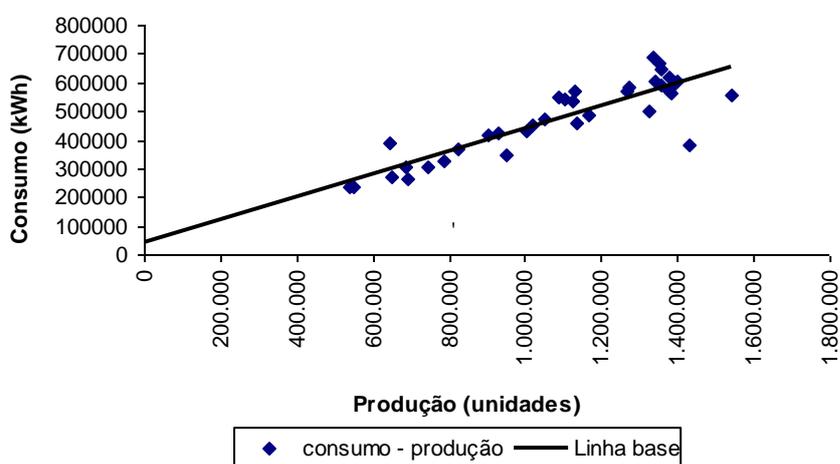


Figura 4.7 – Diagrama de correlação consumo Vs. produção equivalente.

Havendo definido a linha base de consumo, devem ser observados os pontos de melhor desempenho energético, os quais correspondem àqueles pontos que estão abaixo da linha de regressão. A UPME (2006) e o CEEMA (2002) propõem utilizar estes pontos porque partem da premissa que se foram atingidos esses níveis de produção com baixo consumo energético, então tal desempenho poderá ser atingido novamente. É por isso que é tão importante analisar o comportamento das variáveis e pesquisar sobre o que aconteceu naqueles períodos para os quais se conseguiu um bom desempenho. Com estes pontos de melhor desempenho é determinada a linha meta, e a diferença entre estas duas linhas (linha base e linha meta) vai determinar o potencial de economia de energia que se pode obter caso se implementem as medidas de eficiência energética. A linha meta é apresentada na figura 4.8.

Para a linha meta de consumo é obtido um consumo meta dado por:

$$C_{meta} = 17.832 + 0,396 * P_{metaeq} \quad (12)$$

Deste modo, as potenciais economias de energia da mini-fábrica são de 27.029 kWh por mês, que significa reduzir em 60% o consumo de energia não associado à produção. É neste consumo que se podem concentrar esforços para determinar os investimentos em medidas de eficiência energética necessários para atingir este potencial de economia.

Por outro lado, o coeficiente de correlação da linha meta é de 98,31%, maior que o obtido da linha base, o que significa que as variáveis estreitam sua relação. Outro aspecto que cabe ressaltar é que as mudanças da tecnologia inerente ao processo produtivo causam variações na inclinação “m”, mas levando-se em conta que ao determinar a linha meta a inclinação se mantém, o que significa que a mini-fábrica pode aumentar sua eficiência sem necessidade de trocar as máquinas, ou seja, que pode melhorar a eficiência através de mudanças no processo, manutenção, operação eficiente dos equipamentos e uso adequado dos mesmos, assim como outros aspectos que geram consumo, como a iluminação e uso de ar condicionado.

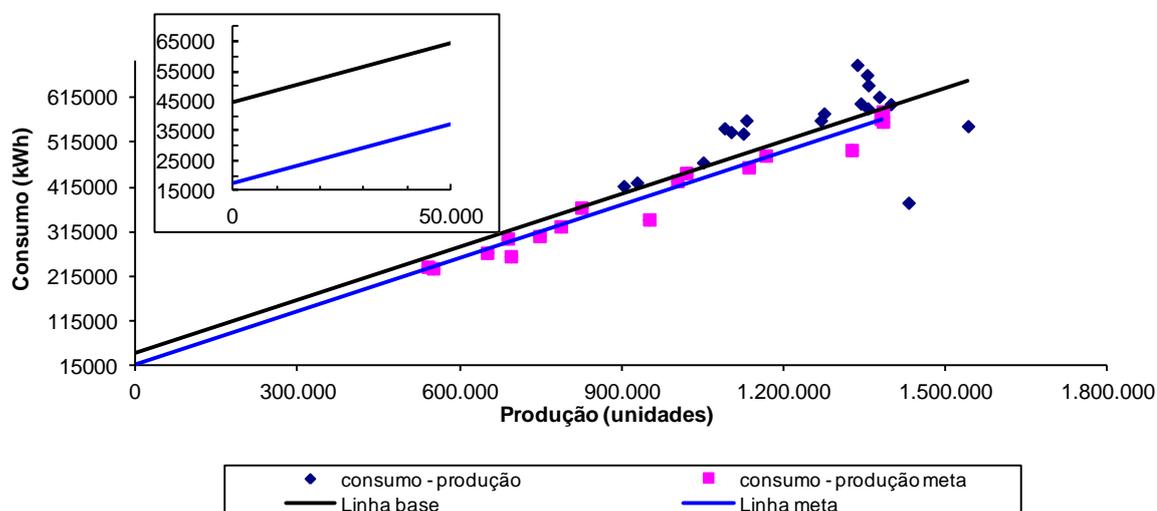


Figura 4.8 – Determinação da linha meta de consumo.

Fonte: Elaborado pelo autor.

#### iv. Índice de consumo Vs. produção

Com a primeira análise de correlação feita não foi possível determinar o índice de consumo Vs. produção que reflete o verdadeiro desempenho energético da mini-fábrica, já que o coeficiente de correlação obtido foi menor que 85%. Porém, como foi dada uma solução a este problema através do uso da produção equivalente é possível calcular este índice e estabelecer a produção crítica da mini-fábrica.

Para elaborar o gráfico do índice é necessário:

- 1) O consumo teórico: este consumo é calculado para cada mês do período analisado, substituindo-se o valor da produção equivalente de cada mês na equação 11;
- 2) O índice de consumo teórico: é calculado dividindo-se o consumo teórico de cada mês pela produção equivalente de cada mês do período analisado;
- 3) O índice de consumo real: está dado pela divisão do consumo mensal pela produção equivalente mensal;
- 4) Elaborar um gráfico de dispersão para índice de consumo teórico Vs. produção e para o índice de consumo real Vs. produção.

O gráfico do índice de consumo Vs. produção da mini-fábrica é apresentado na figura 4.9. Os dados utilizados para o cálculo deste índice são apresentados no Apêndice III.

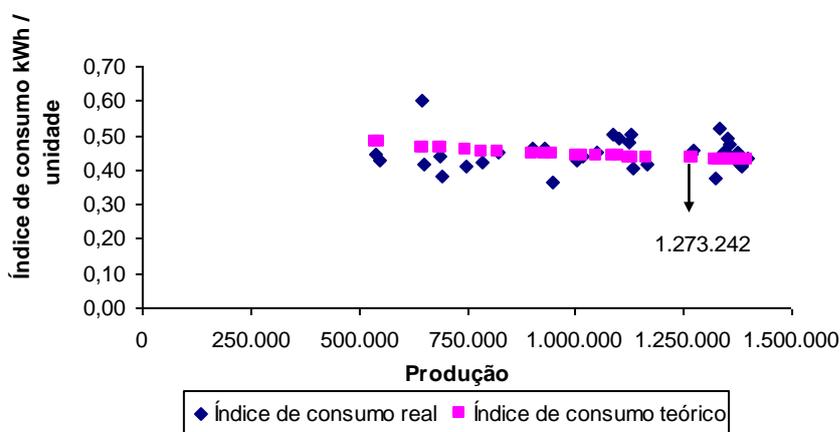


Figura 4.9 – Índice de consumo Vs. Produção.

Pode ser observado que a mini-fábrica tem seu índice de consumo real entre 0,36 e 0,60 kWh/unidade. O ponto crítico da mini-fábrica está dado aproximadamente por 1.273.242 unidades equivalentes. A partir deste ponto da curva de consumo teórico, o aumento dos níveis de produção não varia significativamente o índice de consumo, enquanto que níveis menores em relação ao definido pelo ponto crítico o aumentam, porque produções menores que este ponto diminuem o consumo energético, dado pela equação 11, porém o gasto energético por unidade de produto aumenta, porque há menos unidades produzidas suportando o consumo de energia não associado à produção. Assim, com o propósito de diminuir o índice de consumo, o gerente da mini-fábrica pode decidir aumentar a produção, o que vai fazer a relação  $E_0/P$  da equação 2 cada vez menor, mas a diminuição do índice vai ter como limite a inclinação  $m$  desta equação.

Com o índice de consumo apresentado na figura 4.9 é possível determinar que há pontos de operação eficiente ou de aumento da eficiência (pontos abaixo da linha de consumo teórico) e pontos de operação ineficiente, determinados por aqueles pontos que estão acima da linha, mas que representam um potencial de diminuição do índice de consumo. Esta diminuição está dada pela diferença entre os pontos que representam o índice de consumo real e o índice de consumo teórico para níveis iguais de produção.

#### **v. Diagrama de tendência dos consumos energéticos acumulados (CUSUM)**

Para a realização do diagrama CUSUM é necessário:

- 1) Definir um período base de comparação;
- 2) Obter para o período base a equação do consumo através do método dos mínimos quadrados;
- 3) Na equação obtida, substituir  $P$  pelo valor da produção do período atual, isto é, o consumo de energia no período base se a produção houvesse sido igual à produção do período atual;
- 4) Calcular a diferença entre o consumo do período atual e o consumo do período base obtido no passo 3;
- 5) Calcular a soma acumulativa da diferença do consumo calculado no passo anterior.

A definição do período base pode ser feita levando-se em conta:

- O período de melhor desempenho energético, ou seja, o período para o qual corresponda a maior quantidade de pontos abaixo da linha base de consumo ou em outras palavras, aquele período que forneceu a maior quantidade de pontos para a determinação da linha meta;
- O período com maior coeficiente de correlação.

<b>Período</b>	<b>Quantidade de pontos de melhor desempenho</b>	<b>Coeficiente de correlação R</b>
2008	2	66,00%
2009	10	85,54%
2010	4	67,11%

Tabela 4.3 – Características dos períodos analisados para determinar o período base.

De acordo com os resultados apresentados na tabela 4.3, o período que tem o melhor desempenho energético e o melhor coeficiente de correlação é 2009. Portanto, é definido como período base para a construção do diagrama de tendência de consumos energéticos acumulados.

Depois de definir o período de 2009 como base, prossegue-se com os passos anteriormente definidos, obtendo-se o gráfico de tendência apresentado na figura 4.10. A equação de consumo do período base e os dados para a elaboração do gráfico são apresentados no Apêndice IV.

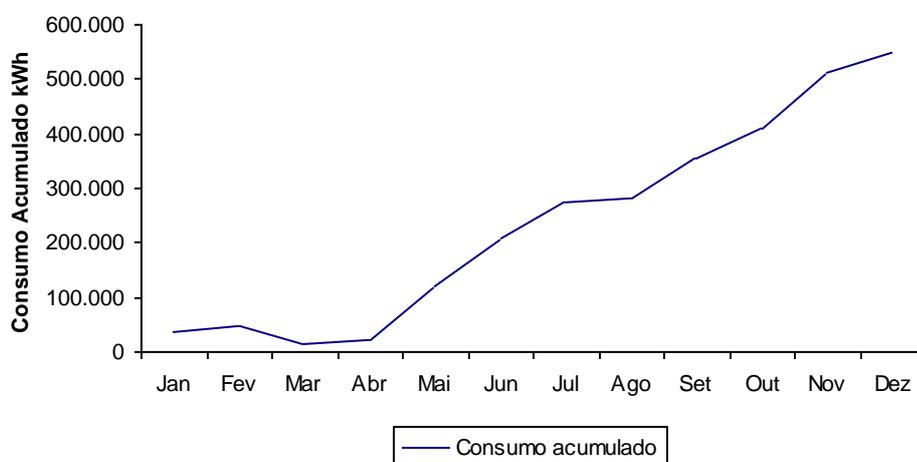


Figura 4.10 – Diagrama de CUSUM.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Este diagrama permite observar que a mini-fábrica apresenta uma tendência a aumentar seu consumo energético em relação ao período base, o que indica que é necessário tomar medidas para conseguir melhorar este comportamento. Este diagrama é útil tanto antes quanto depois de implantar alguma medida de eficiência energética, pois antes permite visualizar a tendência do consumo energético da empresa frente ao período base e depois é possível monitorar a efetividade da medida.

#### 4.3.4 Quarto passo: Identificar onde estão os desperdícios de energia

Ao se identificar onde estão os desperdícios de energia, identifica-se onde estão os potenciais de economia. Assim, baseando-se no resultado apresentado na figura 4.5 determinou-se que 80,58% do consumo de energia da mini-fábrica são representados pela área de buchas. Este resultado permite focar as análises para a área de buchas. Para facilitar esta análise se faz uso da estratificação. Deste modo, busca-se definir as linhas de buchas que consomem 80% da energia dessa área. Como resultado é possível determinar que 80,06% do consumo energético da área de buchas são causados pelas linhas: B09, B11, B06, BMS, B05, B10, B08, B03 e B02, como apresentado na figura 4.11.

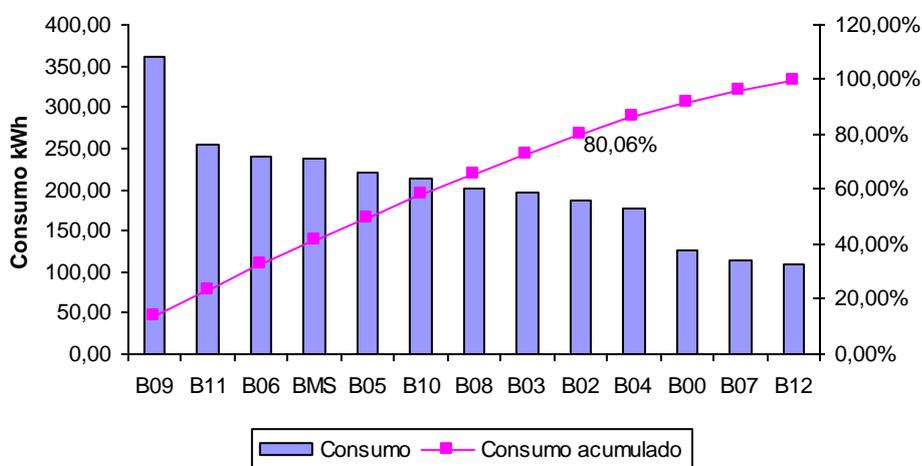


Figura 4.11- Diagrama de Pareto para a área de Buchas.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Aprofundando ainda mais as análises, é feita a estratificação para cada uma das linhas identificadas como as maiores consumidoras, ou seja, são analisados os processos ou máquinas de cada linha para encontrar quais são os que consomem 80% da energia dentro de cada linha.

Para isto é analisado o consumo específico de cada máquina, ou seja, o consumo que cada uma requer para produzir uma unidade. Foram coletados os dados de consumo de cada máquina medido em kWh e o número de peças processadas por hora, para determinar o consumo por unidade (kWh/unidade). Assim:

$$Consumo \text{ - específico} = \frac{Consumo \text{ - da - máquina - kWh}}{Unidades \text{ - processada s - por - hora}} \quad (13)$$

Através da figura 4.12 é possível determinar que:

- Nas linhas B09 e B11 as máquinas para mandrilar, chanfrar e fechar são responsáveis por 85,09% da energia consumida pelas linhas;
- Nas linhas B06 e B08 as máquinas para mandrilar e chanfrar são responsáveis por 79,56 e 87,35% da energia consumida pelas linhas, respectivamente;
- Na linha BMS a máquina de maior consumo energético é a Mori Seiki, pois ela sozinha causa 80,75% do consumo energético da linha;

- As máquinas para mandrilar e brunir são responsáveis por 77,80% do consumo energético da linha B05;
- Na linha B10 as máquinas para mandrilar, fresar e chanfrar geram 87,17% do consumo energético da linha;
- As máquinas para mandrilar, chanfrar e brunir são responsáveis por 85,79% do consumo energético da linha B03;
- Na linha B02, a máquina para chanfrar e a máquina G-Die, representam 87,56% do consumo energético da linha;

Ainda de acordo com a figura 4.12, uma mesma máquina é utilizada dentro do processo de diferentes linhas. Para facilitar a análise é feito um diagrama de Pareto, que envolve os equipamentos que fazem parte da área de buchas, como apresentado na figura 4.13

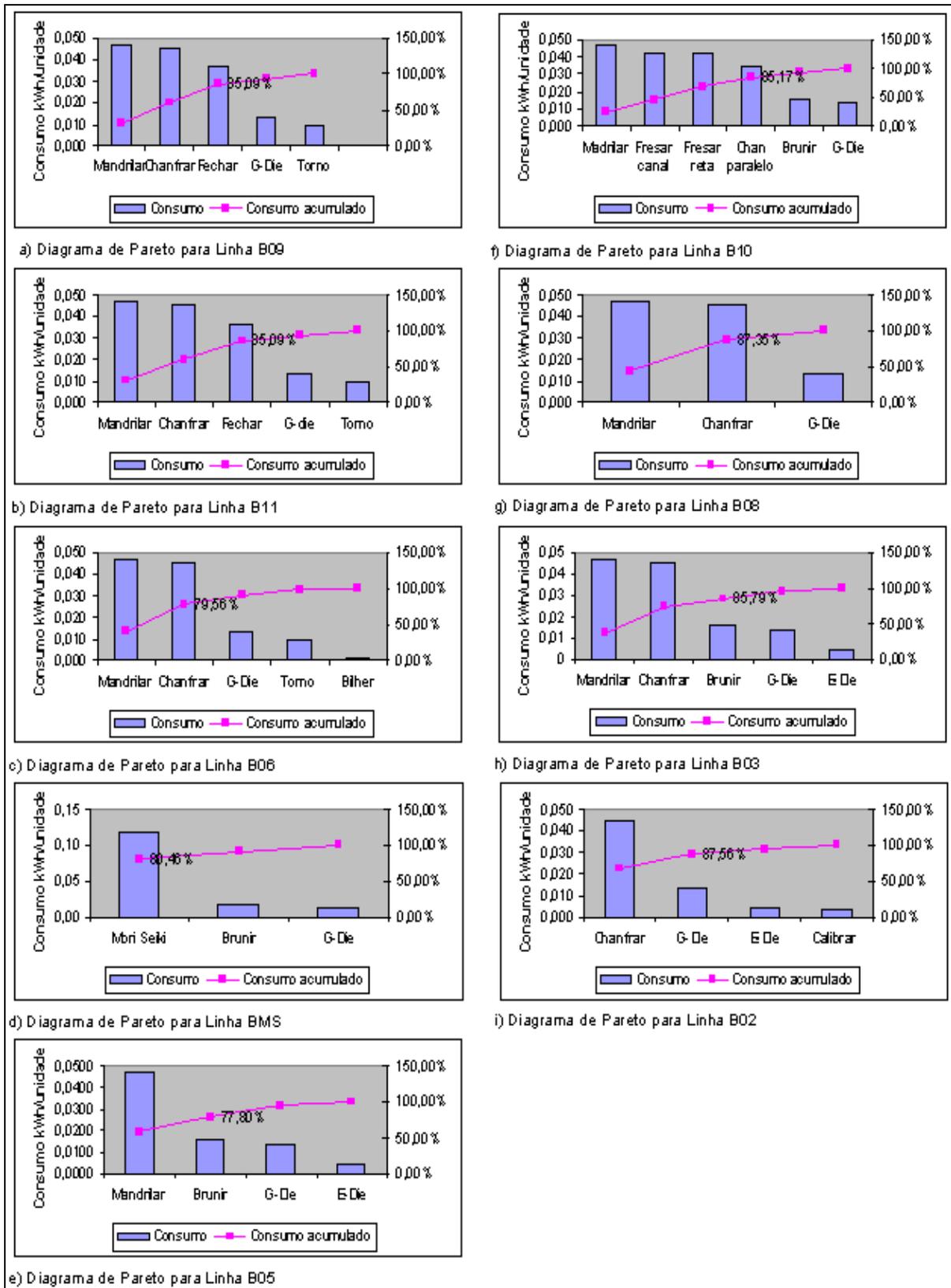


Figura 4.12 - Diagrama de Pareto para a área de buchas.

Fonte: Elaborado pelo autor.

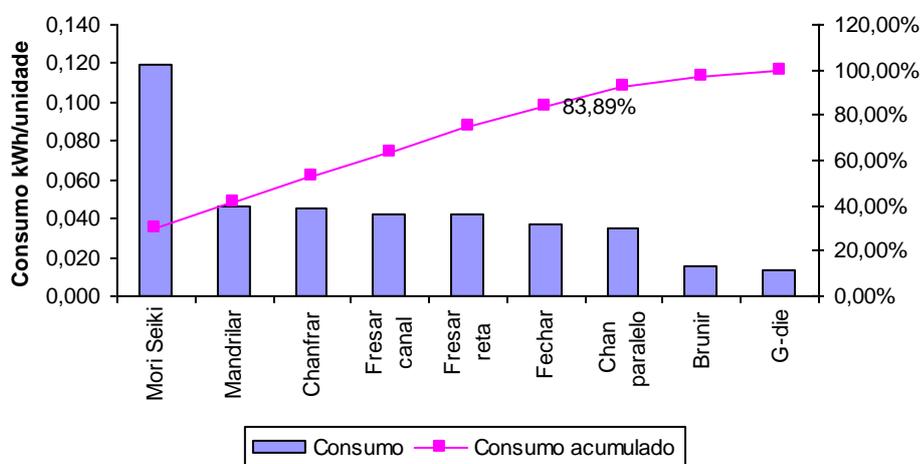


Figura 4.13 – Diagrama de Pareto para as máquinas da área de buchas.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Depois de identificar as áreas e máquinas que geram o maior consumo energético, foi feita uma vistoria para analisar sua operação. Levando-se em conta que a mini-fábrica opera em três turnos e, portanto, em cada turno muda-se o operador de cada máquina, propôs-se medir o consumo e a produção por hora em cada turno para a mandrilhadora, chanfadeira, fresadora, e brunidora, com o propósito de identificar diferenças no produzido e consumido em cada turno. Depois de identificar as diferenças é necessário analisar quais são as causas que as geram. Geralmente estas diferenças estão dadas pela forma em que cada operador trabalha e manuseia a máquina, além da operação ineficiente das máquinas por falta de manutenção com foco na melhoria da sua eficiência. Assim ao fazer esta análise podem-se identificar os comportamentos ou fatores que fazem um turno menos eficiente e corrigi-los.

Para o caso da mini-fábrica este conjunto de medidas ficou como uma proposta, pois a disponibilidade de aparelhos de medição é muito restrita, uma vez que existe somente um, o que torna este processo muito longo. Porém, é necessário para o gestor de energia quantificar as perdas de energia geradas por processos pouco eficientes e dessa mesma maneira determinar as ações necessárias para reduzir esses desperdícios.

Com a vistoria feita também foi possível perceber que os operadores da mini-fábrica não têm consciência do uso racional da energia, pois na hora do almoço (das 10h10min às 11h10min) deixam as máquinas e as lâmpadas ligadas mesmo sem estar produzindo, o que se reflete naquele consumo não associado à produção. O mesmo acontece nas salas do pessoal administrativo da mini-fábrica, pois ao sair da sala, não são desligados computadores e/ou

lâmpadas. Também foi verificada a presença de vazamentos de ar comprimido em quase todas as máquinas. Embora para garantir o fluxo de ar comprimido seja necessário o uso de energia elétrica, este fato não foi levado em consideração pela falta de medições. Porém, em trabalhos futuros pode ser feita uma análise para quantificar estes desperdícios e determinar os potenciais de economia de energia dada pelo ar comprimido.

De acordo com a identificação das áreas e máquinas de maior consumo energético e a vistoria feita, os desperdícios de energia resultam principalmente por:

- Diferenças na manipulação de um mesmo equipamento em cada turno;
- Falta de manutenção focada à melhoria da eficiência dos equipamentos ou máquinas;
- Máquinas e lâmpadas ligadas no horário de recesso de cada turno;
- Lâmpadas e computadores das salas administrativas ligados no horário de almoço.

#### **4.3.5 Quinto passo: identificação das medidas de eficiência energética**

Depois de identificar onde estão os desperdícios de energia, são identificadas as medidas de eficiência necessárias para evitar esses desperdícios. Estas medidas podem ser classificadas de acordo com o investimento:

- a) Medidas de baixo custo: aqueles investimentos focados à conscientização do uso racional da energia ou medidas para alterar o funcionamento dos equipamentos. Estas medidas estão geralmente relacionadas a casos onde os potenciais de economia de energia podem ser atingidos com a mesma tecnologia instalada;
- b) Medidas de médio custo: são os investimentos focados às mudanças no sistema de iluminação e refrigeração, através da troca dos equipamentos atuais por equipamentos mais eficientes;
- c) Medidas de alto custo: troca das máquinas atuais por tecnologia recente.

Como se apresentou nos resultados obtidos, ao se estimar a linha meta da mini-fábrica, pode melhorar sua eficiência e diminuir o consumo energético com a mesma tecnologia instalada, significando que não são necessários investimentos em novas máquinas. Assim, as

medidas de eficiência energética que juntas podem atingir este potencial de economia são medidas de baixo custo, tais como:

- Campanhas de conscientização sobre o uso racional da energia, com o propósito de que as lâmpadas do galpão sejam desligadas na hora do almoço, igualmente lâmpadas e computadores das salas de embalagem e do pessoal administrativo;
- Operação eficiente das máquinas, monitorando a forma como é manipulada uma mesma máquina pelos diferentes operadores em cada turno;
- Manutenção focada a melhorar o desempenho das máquinas;
- Automatização do desligamento das máquinas quando não estiverem em funcionamento, como por exemplo, na hora de recesso de cada turno.

Estas medidas permitem melhorar a eficiência com os recursos que a mini-fábrica tem. Medidas como as que a empresa tem considerado, como a melhora do sistema de iluminação, significam uma troca de tecnologia, mas de médio custo.

Para o desenvolvimento deste trabalho será analisada a medida de automatização das máquinas e o uso do sistema de iluminação eficiente.

- a) **Automatização das máquinas:** a mini-fábrica opera 24 horas do dia, 365 dias ao ano. Para sua operação estão definidos três turnos, sendo cada um de oito horas, incluindo uma hora de recesso em cada turno. Esta hora de recesso é chave para a economia de energia, pois como se constatou, os operadores não desligam as máquinas enquanto estão no recesso, o que significa que a mini-fábrica pode ter economias de energia durante três horas diárias. O processo consiste em programar as máquinas para se autodesligar depois de determinado tempo sem produzir. Para determinar o consumo de energia que pode ser economizado, analisou-se juntamente com o Engenheiro responsável pela mini-fábrica, quais as máquinas que poderiam ser automatizadas. Na tabela 4.4 são apresentadas as máquinas e seu consumo. Segundo os dados apresentados nesta tabela, pode-se economizar 11.723kWh ao mês e 140.676kWh ao ano, só operando estas máquinas durante 21 horas por dia.

<b>Máquinas</b>	<b>Consumo kWh mês (24 horas de operação)</b>	<b>Consumo kWh mês (21 horas de operação)</b>
Torno	1.506	1.318
Chanfradeira paralela	1.109	970
Chanfradeira inclinada	6.428	5.624
Fresadora	2.701	2.363
Retificadora	4.462	3.905
Lavagem	28.108	24.595
Estanagem	49.468	43.285
<b>Total</b>	<b>93.782</b>	<b>82.059</b>

Tabela 4.4 – Máquinas que podem ser automatizadas.

- b) **Iluminação eficiente:** outra opção que a mini-fábrica tem para diminuir seu consumo energético é através da troca das lâmpadas fluorescentes de 40W por lâmpadas LED, o que pode-se classificar como medida de médio custo. Atualmente a mini-fábrica tem instaladas 696 lâmpadas fluorescentes de 40W cada, com consumo de 28,8kWh por lâmpada. Estas lâmpadas têm uma vida útil de 12.000 horas, ou seja, sua troca deve ser feita a cada um ano e quatro meses. As lâmpadas LED têm uma potência de 16W, com um consumo de 11,52kWh e devem ser trocadas a cada 6 anos, pois têm uma vida útil de 50.000 horas, e além disso, não precisam de manutenção e de reator e ainda podem ser colocadas na instalação que já se dispõe para as lâmpadas atuais.

Com a troca das lâmpadas fluorescentes pelas LED, pode-se obter uma economia no consumo de energia de 12.027kWh ao mês e 144.323kWh ao ano.

#### **4.3.5.1 Características dos investimentos**

Para o desenvolvimento desta pesquisa será considerada a medida correspondente à automatização das máquinas e a opção de investimento para troca de lâmpadas. Embora

possam ser atingidos os potenciais de economia com as lâmpadas existentes através de seu bom uso, a empresa tem interesse em melhorar seu sistema de iluminação.

Projeto A – automatização das máquinas: de acordo com informação do engenheiro responsável pela mini-fábrica, para este processo só é necessário um engenheiro para programar cada máquina. Os dados do investimento são apresentados na tabela 4.5

Número de máquinas	27
Custo hora programador	R\$100,00
Tempo necessário por máquina	2 horas
<b>Investimento total</b>	<b>R\$5.400,00</b>

Tabela 4.5 – Dados de investimento - Projeto A.

Projeto B – troca das lâmpadas: para o cálculo do valor do investimento total foi levado em consideração o número de lâmpadas a trocar, o valor da mão-de-obra e o número de lâmpadas que podem ser instaladas por hora. Estes dados foram fornecidos pelo engenheiro da manutenção e são apresentados na tabela 4.6

Número de lâmpadas	696
Preço por lâmpada	R\$130,00
Custo mão-de-obra (R\$ / hora)	R\$37,50
Número de lâmpadas que podem ser instaladas por hora	4
<b>Investimento total</b>	<b>R\$97.005,00</b>

Tabela 4.6 – Dados de investimento - Projeto B.

## 4.4 Simulação

Este processo é feito adaptando a metodologia EBaR<sup>®</sup> para simular com Cristal Ball<sup>®</sup> cada uma das opções de investimentos. Os passos a seguir para a realização da simulação são apresentados de 4.4.1 a 4.4.3

#### 4.4.1 Construção do modelo para determinar as economias líquidas de energia

Este passo corresponde à determinação do fluxo de caixa de um projeto, com a diferença de que o fluxo de caixa dos investimentos em EE está dado pelas economias líquidas de energia geradas pela implantação da medida de EE. Para isto primeiro devem ser calculadas as economias de energia, as quais correspondem à diferença entre o consumo atual e o consumo se a medida for implantada, porém expressadas em termos monetários. Adaptando a equação 2.3, temos que as economias de energia estão dadas pela equação 14.

$$Economia = (C_A - kWh * T) - (C_F - kWh * T) \quad (14)$$

Onde:

$C_A$ = consumo em kWh atual, ou seja, sem a medida de eficiência energética.

$C_F$ = consumo em kWh se implantar a medida de eficiência energética.

$T$ = tarifa paga pelo consumo R\$/kWh.

Para a tarifa de energia considerou-se a tarifa por consumo de energia e a tarifa por demanda no horário de ponta e fora de ponta, correspondente ao período janeiro – maio de 2011. Deste modo, a tarifa total de energia é de 0,236326 R\$/kWh. Substituindo os valores de consumo mensal das máquinas e a tarifa na equação 14, as economias mensais de energia geradas pelo projeto A são:

$$Economia = (93.782 * 0,236326) - (82.059 * 0,236326)$$
$$Economia = 2.770,38$$

A opção A gera economias de R\$2.770,38 por mês, o que significa economias anuais de R\$33.244,50.

Depois devem ser descontadas e/ou somadas as despesas e/ou economias correspondentes à operação e manutenção. Ou seja, uma medida de eficiência energética pode gerar despesas, mas também pode ser que economize, como no caso da troca de lâmpadas. As lâmpadas fluorescentes (atuais) precisam de manutenção anual, enquanto as

LED não precisam, o que significa que ao investir nestas novas lâmpadas serão economizadas as despesas de manutenção das lâmpadas atuais.

Para o caso da automatização das máquinas prevê-se a manutenção anual, que consiste em uma atualização. Deste modo, estima-se uma nova automatização a cada ano. Considerando as despesas por manutenção da automatização, são determinadas as economias líquidas de energia, como apresentado na tabela 4.7.

	Anos						
	0	1	2	3	4	5	6
Investimento	5.400,00						
Economia de energia		33.244,50	33.244,50	33.244,50	33.244,50	33.244,50	33.244,50
Manutenção		5.400,00	5.400,00	5.400,00	5.400,00	5.400,00	5.400,00
<b>Economia líquida</b>	<b>-5.400,00</b>	<b>27.844,50</b>	<b>27.844,50</b>	<b>27.844,50</b>	<b>27.844,50</b>	<b>27.844,50</b>	<b>27.844,50</b>

Tabela 4.7 – Economia líquida gerada pelo projeto A.

Para o projeto B, substituindo-se os valores de consumo das lâmpadas e tarifa na equação 14, as economias de energia geradas pela troca das lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED são de R\$2.842,26 ao mês, portanto, representa uma economia anual de R\$34.107,10.

$$Economia = (20 \cdot 0,045 \cdot 0,236326) - (8 \cdot 0,18 \cdot 0,236326)$$

$$Economia = 2.842,26$$

Esta opção de investimento, além das economias de consumo de energia vai gerar economias em despesas de manutenção. As economias líquidas geradas pelo projeto B são apresentadas na tabela 4.8.

	Anos						
	0	1	2	3	4	5	6
Investimento	90.480,00						
Despesas por instalação	6.525,00						
Investimento total	97.005,00						
Economias de energia		34.107,10	34.107,10	34.107,10	34.107,10	34.107,10	34.107,10
Economia na manutenção		12.723,75	12.723,75	12.723,75	12.723,75	12.723,75	12.723,75
<b>Economias líquidas</b>	<b>-97.005,00</b>	<b>46.830,85</b>	<b>46.830,85</b>	<b>46.830,85</b>	<b>46.830,85</b>	<b>46.830,85</b>	<b>46.830,85</b>

Tabela 4.8 – Economia líquida gerada pelo projeto B.

Se a empresa decidir implantar as duas medidas de eficiência energética, o horizonte do projeto é determinado pela vida útil das lâmpadas.

	Anos						
	0	1	2	3	4	5	6
Investimento	102.405,00						
Economias		80.075,35	80.075,35	80.075,35	80.075,35	80.075,35	80.075,35
Despesas por manutenção		5.400,00	5.400,00	5.400,00	5.400,00	5.400,00	5.400,00
<b>Economias líquidas</b>	<b>-102.405,00</b>	<b>74.675,35</b>	<b>74.675,35</b>	<b>74.675,35</b>	<b>74.675,35</b>	<b>74.675,35</b>	<b>74.675,35</b>

Tabela 4.9 – Economias líquidas geradas pelos projetos A e B.

#### 4.4.2 Cálculo pelos métodos tradicionais

Como já se dispõe das economias líquidas de cada projeto, estas podem ser avaliadas pelos métodos tradicionais como VPL e *Payback*. Na tabela 4.10 são apresentados os dados para cada opção de investimento. Embora Jackson (2008) proponha usar a TIR, neste caso a mesma não é utilizada, pois os investimentos nas medidas de eficiência energética que serão adotados são investimentos sobre a unidade que já está instalada e totalmente equipada, ou seja, a economia gerada não pode ser atribuída apenas aos investimentos feitos em medidas para melhorar a eficiência energética da mini-fábrica. Desta forma, as medidas adotadas e simuladas são o VPL e as economias líquidas, já que de acordo com Harüs (2009), para melhorar a análise deste tipo de investimentos o primeiro passo é adotar o VPL como medida primária.

Considerando que a taxa de desconto da Mahle está entre 10% a.a e 20% a.a, e que segundo o apresentado no capítulo 2, as empresas tem uma atitude conservadora frente aos investimentos em EE, foi considerada uma TMA de 15% a.a

	Opção A	Opção B	A e B
<b>Investimento (R\$)</b>	5.400	97.005,00	102.405,00
<b>Economia líquida (R\$)</b>	27.844,50	46.830,85	74.675,35
<b>VPL (R\$)</b>	99.977,04	80.225,55	180.202,59
<b>Payback</b>	0,2	2,0	1,4

Tabela 4.10 – Avaliação dos investimentos pelos métodos tradicionais.

#### 4.4.3 Análise das variáveis de incerteza

As principais fontes de incerteza que devem ser consideradas nos investimentos em eficiência energética, como apresentado pela metodologia EBar<sup>®</sup>, são as variáveis: preço da energia, clima e desempenho dos equipamentos. Para os investimentos propostos, serão considerados:

- A tarifa de energia: de acordo com Jackson (2008), podem ser utilizados os dados históricos para identificar a distribuição de probabilidade que descreve as variáveis de incerteza. Ao fazer esta análise para a tarifa, verificou-se uma tendência estacionária, coincidindo com as afirmações de Brandão (2010) e Zhou *et al.* (2009), os quais levando em conta esta característica propõem modelar esta variável através de uma distribuição normal. Deste modo, a tarifa de energia será modelada com uma distribuição normal com  $\mu = \text{R\$ } 0,260769$  e  $\sigma = \text{R\$ } 0,034473$ .

Estes valores foram estimados para os dados históricos do valor da tarifa de energia, considerando o período janeiro 2008 - maio 2011.

- O desempenho dos equipamentos: segundo Jackson (2008), para avaliar o risco de investimentos no sistema de iluminação pode ser levado em conta  $\pm 15\%$  do desempenho das lâmpadas. Deste modo, define-se para a variável consumo uma distribuição triangular, onde mínimo = 9,792, máximo = 13,248 e valor mais provável = 11,52. Este consumo corresponde ao consumo em kWh das lâmpadas, segundo sua potência.

O clima não será considerado, levando-se em conta que esta variável afeta aqueles espaços que precisam ser aquecidos, resfriados com ar condicionado ou ventilação, e este não é o caso da mini-fábrica. Poderia ser levado em conta no diagnóstico energético para aquelas unidades compostas principalmente por áreas administrativas, onde o uso do sistema de ar condicionado e calefação é mais frequente.

Definindo as variáveis de incerteza e as variáveis de prognóstico, faz-se a simulação e, adotando-se a metodologia EBaR<sup>®</sup> são obtidos os resultados apresentados na tabela 4.11 e nas figuras 4.14 e 4.15

	Economias Líquidas (R\$)		VPL (R\$)	
	Máquinas	Lâmpadas	Máquinas	Lâmpadas
Esperado	27.844,50	46.830,35	99.977,04	80.225,55
90%	25.067,25	43.720,07	89.466,58	68.452,84
95%	23.296,71	41.879,20	82.766,00	61.486,11
97,50%	21.738,75	40.329,53	76.869,91	55.621,43

Tabela 4.11 – Análise EBaR<sup>®</sup> para as medidas de eficiência energética propostas.

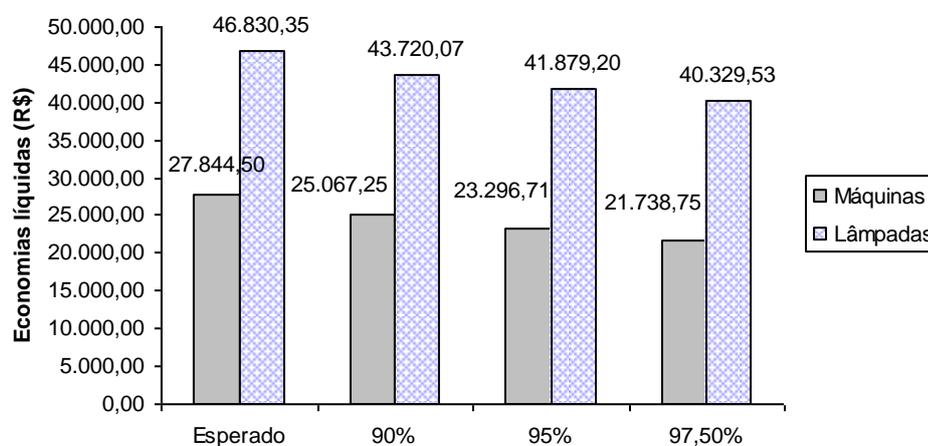


Figura 4.14 – Economias líquidas das medidas de eficiência energética.

Fonte: Elaborado pelo autor.

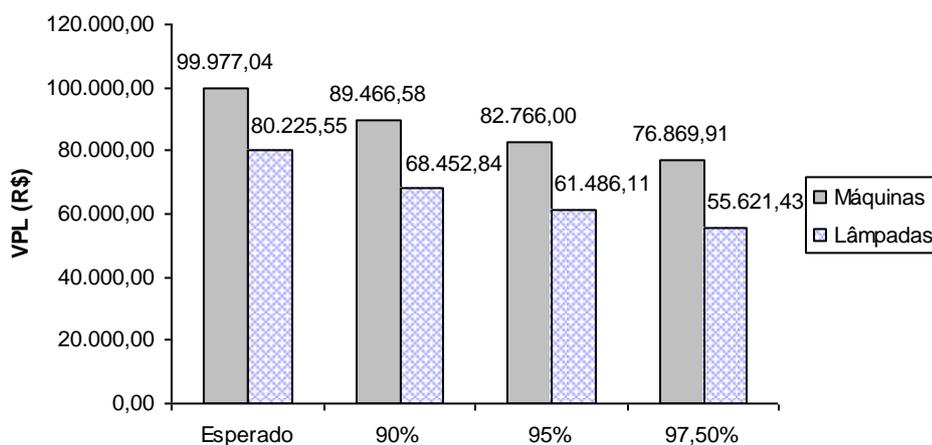


Figura 4.15 – VPL das medidas de eficiência energética.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Segundo os resultados apresentados na tabela 4.11 e nas figuras 4.14 e 4.15, existe 90% de probabilidade de obter economias líquidas maiores ou iguais a R\$25.067,25 e um VPL maior ou igual a R\$89.466,58, caso se implemente o projeto A, correspondente a automatização das máquinas. No pior dos casos existe 2,5% de probabilidade de obter economias líquidas menores ou iguais a R\$ 21.738,75 e um VPL menor ou igual R\$76.869,91, caso se implemente esta medida.

Para o caso do projeto B correspondente à troca de lâmpadas, existe 90% de probabilidade de obter economias líquidas maiores ou iguais a R\$43.720,07 e um VPL maior ou igual a R\$68.452,84 e no pior dos casos, existe 2,5% de probabilidade de obter economias líquidas menores ou iguais a R\$40.329,53 e um VPL menor igual a R\$55.621,43.

O resultado obtido para a análise de risco considerando as duas opções como uma medida para reduzir o consumo energético da mini-fábrica é apresentado na tabela 4.12 e na figura 4.16.

	VPL (R\$)	Economias líquidas (R\$)
Esperado	180.202,59	74.675,35
90%	158.555,37	68.955,36
95%	144.805,82	65.322,22
97,50%	133.171,75	62.248,07

Tabela 4.12 – Análise EBaR<sup>®</sup> para os projetos como uma só medida de eficiência energética.

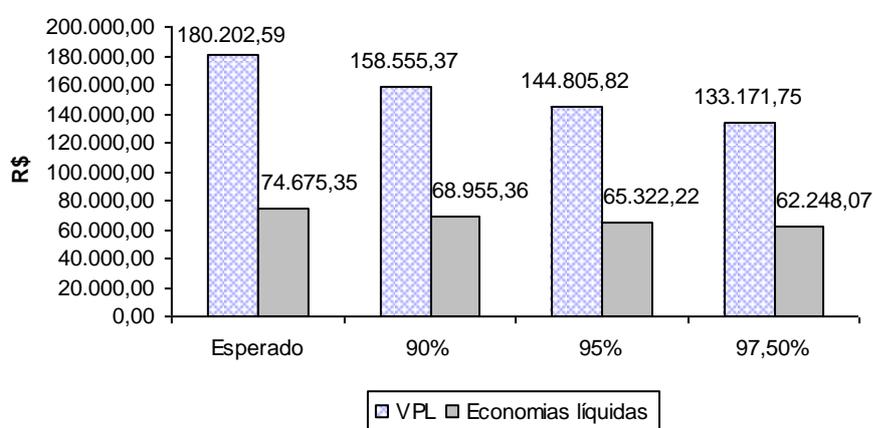


Figura 4.16 – VPL e economias líquidas dos projetos como uma só medida de eficiência energética.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Se a mini-fábrica automatizar as máquinas e trocar as lâmpadas como medida para diminuir o consumo de energia, há uma probabilidade de 95% de obter VPL maior ou igual a R\$144.805,82 e economias líquidas maiores ou iguais a R\$65.322,22 e no pior dos casos, há uma probabilidade de 2,5% de obter VPL menor ou igual a R\$133.171,75 e economias líquidas menores ou iguais a R\$62.248,07.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 5.1 Conclusões

A empresa tem uma política energética focada a reduzir o consumo de energia, cujo objetivo é reduzi-lo em 2,5%. Para atingir este objetivo tem definido alguns projetos. Porém, seu objetivo tem sido fixado com base na média do consumo do último ano (2010), ou seja, foi determinada como uma apreciação, e não com uma justificativa técnica baseada no resultado de uma análise que possibilite avaliar seu desempenho energético através de indicadores que permitam relacionar as variáveis consumo e produção, e então identificar onde estão os maiores desperdícios de energia e, assim, determinar com precisão o potencial de economia e os projetos para atingir esse potencial.

A aplicação das ferramentas de diagnóstico energético na mini-fábrica de buchas e arruelas permitiu identificar que a mini-fábrica tem um potencial de economia de energia de 324.348kWh e R\$76.751,07 por ano e que diminuir o consumo energético significa reduzir em 60% o consumo de energia não associada à produção. Permitiu identificar também que a área de buchas é a de maior consumo e que os desperdícios de energia estão dados principalmente pela falta de uso racional da energia, pois lâmpadas e máquinas permanecem ligadas em horários que não estão sendo utilizadas, o que leva a concluir que a mini-fábrica pode melhorar a eficiência energética com a mesma tecnologia que dispõe e, por conseguinte, com investimentos de baixo e médio custo, como os propostos.

As ferramentas de diagnóstico utilizadas também permitiram identificar que para uma correta análise do desempenho energético da mini-fábrica, não se pode considerar a produção apenas como o número de unidades produzidas, ou seja, é necessário incluir o conceito de produção equivalente, já que ao existir diferentes linhas de produção, existem requisitos e consumo energético específicos para cada linha.

A automatização das máquinas e a troca de lâmpadas são duas medidas que permitem diminuir o consumo de energia. Com a primeira pode-se obter economias no consumo de 140.676kWh e economias líquidas R\$27.844,50 ao ano e com a segunda, economias no consumo de 144.323kWh e economias líquidas de R\$46.830,35 ao ano.

A identificação das medidas e a quantificação das economias geradas pelas medidas que se propõe adotar são indispensáveis para fazer a avaliação econômica e de risco para os

investimentos em eficiência energética, pois a diferença frente a outros tipos de investimentos está no fluxo de caixa, dado pelas economias líquidas geradas pelas medidas de eficiência energética, o que indica que uma correta análise de engenharia vai proporcionar dados confiáveis para a análise econômica e de risco, pois uma incorreta estimativa das economias pode subestimar ou sobrestimar uma medida de eficiência energética. Deste modo, a metodologia adotada permite conciliar as duas análises e oferece aos tomadores de decisões uma melhor compreensão dos aspectos físicos da eficiência energética.

Quanto à análise de risco para os investimentos em eficiência energética, apesar de ser muito utilizado o *payback*, este não é o critério mais adequado para avaliar o risco, ao não serem consideradas as variáveis que geram incerteza neste tipo de investimentos. É por isso que a adoção de metodologias como EBaR<sup>®</sup>, através do uso do *Cristal Ball*<sup>®</sup>, permite aos tomadores de decisões terem uma visão mais abrangente e precisa sobre o risco dos investimentos em eficiência energética.

Segundo as avaliações feitas, tanto o projeto A (automatização das máquinas) quanto o projeto B (troca de lâmpadas) são investimentos que apresentam uma boa relação retorno-risco. Igualmente, se forem implementadas como uma só opção, e não como opções independentes, também serão gerados benefícios para a mini-fábrica ao reduzir o consumo de energia através de um investimento onde há grandes probabilidades de obter economias líquidas e VPL positivos.

Uma das limitações deste trabalho foi a aplicação da metodologia em apenas uma empresa, mas pode ser utilizada em outras aplicações considerando, é claro, as características da cada situação.

Por fim, a mini-fábrica de buchas e arruelas consome apenas 8% da energia da empresa e há grande potencial de economia de energia. Portanto, as unidades de maior consumo como fundição e usinagem, são unidades-alvo de diagnóstico energético.

## 5.2 Recomendações

A eficiência energética traz vantagens tanto econômicas quanto ambientais, pois ao reduzir o consumo de energia suas respectivas despesas são reduzidas e também o impacto no meio ambiente. Porém, é necessário observar que não é simplesmente trocar a tecnologia convencional pela nova tecnologia, mas sim compreender e pôr em prática o uso racional dos recursos energéticos. Mas para atingir este patamar é necessário que as organizações compreendam os benefícios da eficiência energética, inclusive a alta gerência, tornando-a um objetivo estratégico que pode ser atingido através de um sistema de gestão integral da energia, que envolva todos os níveis da organização, uma vez que já foi lançada a nova ISO: 50001.

Os benefícios ambientais são considerados na metodologia EBaR<sup>®</sup>, porém não foram considerados nesta pesquisa. Portanto, recomenda-se para trabalhos futuros, avaliar os benefícios ambientais gerados pelas medidas de eficiência energética propostas neste estudo, considerando também os benefícios econômicos ao se reduzir o impacto ambiental. Também recomenda-se analisar os desperdícios de energia causados pelo vazamento de ar comprimido e propor as medidas necessárias para reduzi-los.

Uma das limitações para se obter os dados foi a indisponibilidade de aparelhos de medição para determinar, para cada turno, o consumo e a produção por hora das máquinas de maior consumo energético, por isto sugere-se uma análise específica para estas áreas. Sugere-se também implantar o índice de consumo e o diagrama de CUSUM como indicadores de monitoramento do desempenho energético da mini-fábrica.

## REFERÊNCIAS

BENNETT, C., WELLS, R. **Planning for Energy-Based Business Risks**. Executive Action, Dec. 2002. 6 p.

BIEZMA, M.V., SAN CRISTOBAL, J.R. **Investment criteria for the selection of cogeneration plants—a state of the art review**. Applied Thermal Engineering, v. 26 p. 583–588, 2006.

BRANDÃO, M. **Análise dos parâmetros que influenciam a obtenção do valor da flexibilidade por Opções Reais no Setor Elétrico**. Tese (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UNIFEI, Itajubá. 2010. p. 69.

CAMPOS, J. C. **Caracterizacion Energetica: el primer paso hacia el uso racional de la energia**. Publicaciones Científicas. Revista Ciencias. 6 feb. 2004. Disponível em: <<http://www.revistaciencias.com/publicaciones/EpZyEkkEuulBycVxCr.php>>. Acesso em: 29 out. 2010.

CAMPOS, J.C **Electro industria**, dic. 2010. Disponível em: <<http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1530&edi=80>>. Acesso em: 1 jul. 2011.

CANADIAN INDUSTRY PROGRAM FOR ENERGY CONSERVATION (CIPEC). **Energy Efficiency Planning and Management Guide**. Ottawa, 2002. 193 p.

CARDOSO, A. **Quando menos é mais**. Energia Hoje, 13 mai. 2011. Disponível em: <<http://www.energiahoje.com/?ver=mat&mid=432276>>. Acesso em: 13 mai. 2011.

CENTRO DE ESTUDIOS DE ENERGIA Y MEDIO AMBIENTE (CEEMA). **Gestión energética empresarial**. Universidad de Cienfuegos. Cuba, 2002. 98 p.

CICONE, D., CORREA, F., MORALES M. E., BAESSO, J. A. **Atratividade financeira e tomada de decisão em projetos de eficiência energética**. Revista Brasileira de Energia, v. 13, n. 2, p. 129 – 146, 2007

DeCANIO, S. J. **Barriers within firms to energy-efficient investments**. Energy Policy, v. 21, n. 9, p. 906-914, 1993.

DeCANIO, S. J. **The efficiency paradox: Bureaucratic and organizational barriers to profitable energy-saving investments**. Energy Policy, v. 26, n. 5, p. 441-454, 1998

DEPARTMENT OF ENERGY (DOE). **Technical Report Four: Analysis of energy-efficiency investment decisions by small and medium-sized manufacturers**. Springfield, mar. 1996, 98 p. Disponível em: < <http://www.nrel.gov/csp/troughnet/pdfs/5173.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2010

ENERGY MANAGEMENT TASK FORCES (EMTF). **Guide for the selection of energy Efficient Technologies**. Saskatchewan, 2006. 24 p. Disponível em: <<http://www.emtfsask.ca/pdfs/gdnefftech.pdf>>. Acesso em: 06 nov. 2010.

ENERGY STAR® **Building upgrade manual**. U. S. Environmental Protection Agency. Oct 2007. 265 p. Disponível em: <[http://www.energystar.gov/ia/business/BUM\\_business\\_analysis.pdf](http://www.energystar.gov/ia/business/BUM_business_analysis.pdf)>. Acesso em: 28 set. 2010

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Business Analysis for Energy-Efficiency Investments**. United States, jun.1998, 12 p.

ELLIOTT, R., SHIPLEY, A., MCKINNEY, V. **Trends in industrial investment decision making**. American Council for an Energy Efficient Economy, set. 2008, 23 p.

FERREIRA, C. A., PERRONE, F. P. D., MOREIRA, M. A. R. G., OLIVEIRA, H. L., PINTO, A. B. A., SOBRAL, A.S., MOTTA, B. R., MOYA, C. H., SPERA, M. R., VILELA, L. C. T., GÓES, R. R. DE A., TEIXEIRA M. V. P., SOBRAL R. L. **Atuação da Eletrobrás, através do Procel, na Eficiência Energética de Indústrias Brasileiras**. In: 8th LATIN-AMERICAN CONGRESS ON ELECTRICITY GENERATION AND TRANSMISSION - CLAGTEE, Ubatuba, 2009. p. 2.

GASPAR, C. **Eficiência energética na indústria**. Gaia, 2004. 89 p.

GROOT, H., VERHOEF, E. T., NIJKAMP, P. **Energy savings by firms: decision-making, barriers and policies**. Energy Economics, v. 23, p. 717 -740, 2001

HARRIS, J., ANDERSON, J., SHAFRON W. **Investment in energy efficiency: a survey of Australian firms**. Energy Policy, v. 28, p. 867-876, 2000

HÄRUS, N. **Analyzing energy efficiency investments in the process industry - case Sachtleben Pigments Oy**. Tesis de maestria - DEPARTMENT OF ACCOUNTING AND FINANCE, HELSINKI SCHOOL OF ECONOMICS, 2009. 119p.

HOLTON, G.A. **History of Value-at-Risk: 1922–1998**. Working paper. Jul 25, 2002

ICRA Advisory Services: **Manual to appraise energy efficiency projects**. New Delhi, 2004. 60 p.

JACKSON, J. **Promoting energy efficiency investments with risk management decision tools**. Energy Policy, v. 38, n. 8, p. 3865-3873, 2010.

JACKSON, J. **Energy budgets at risk. A energy management approach to energy purchase and efficiency choices**. Wiley Finance. 300p., 2008.

JORION, P. **Value at risk: a nova fonte de referência para o controle do risco de mercado**. São Paulo: Bolsa de Mercadorias & Futuros. 305 p., 1998

MATHEW, P., KROMER, J.S., SEZGEN, O., MEYERS, S. **Actuarial pricing of energy efficiency projects: lessons foul and fair**. Energy Policy, v. 33, p. 1319–1328, 2005

MILLS, E. **Risk transfer via energy-savings insurance**. Energy Policy v. 31, p. 273–281, 2003

MILLS, E., KROMER, J.S., WEISS, G., MATHEW, P. **From volatility to value: analysing and managing financial and performance risk in energy savings projects.** *Energy Policy* v. 34, p. 188–199, 2006

NAUMOFF, C., SHIPLEY, A.M.. **Industrial energy efficiency as a risk management strategy.** In: Proceedings of the Industrial Energy Technology Conference, New Orleans. 2007. 6 p.

PRASAD, J. **Financing energy efficiency: lessons from experiences in India and China.** *International Journal of Energy Sector Management*, v. 3, n. 3, p. 293-307, 2009.

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA (PROCEL). [2008 ou 2009].

Disponível em: <http://www.eletrabras.com/elb/procel/main.asp?TeamID={FBFB8D50-65B6-4135-9477-B0B2711D7AD8}>>. Acesso em: 12 jan. 2011

PYE, M. **Making business sense of energy efficiency and pollution prevention.** Washington D.C: American Council for an Energy-Efficient Economy. Apr.1998, 29 p.

ROHDIN, P., THOLLANDER, P., SOLDING, P. **Barriers to and drivers for energy efficiency in the Swedish foundry industry.** *Energy Police*, v. 35, p. 672 – 677, 2007

ROSS, M. **Capital budgention practices of twelve large manufacturers.** *Financial Management*, v. 15, p. 15–22, winter,1986

RUSSELL, C. **Strategic industrial energy efficiency: reduce expenses, build revenues, and control risk.** *Energy Engineering: Journal of the Association of Energy Engineering* v102, p. 7–27, 2005

SANDBERG, P., SÖDERSTRÖM, M. **Industrial energy efficiency: the need for investment decision support from a manager perspective.** *Energy Policy*, v. 31, p. 1623–1634, 2003

SARDIANOU, E. **Barriers to industrial energy efficiency investments in Greece.** *Journal of Cleaner Production*, v. 16, n. 13, p. 1416 – 1423, 2008

SHORT, W., PACKKEY, D., HOLT, T. **A manual for the economic evaluation of energy efficiency and renewable energy technologies.** Mar. 1995, 120 p. Disponível em: <<http://www.nrel.gov/csp/troughnet/pdfs/5173.pdf>> Acesso em: 28 set. 2010

SILVA, E. L., MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação.** 4 Ed. rev. atual. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2005. 138 p.

SORRELL, S., DIMITROPOULOS, J. **The rebound effect: microeconomic definitions, limitations and extensions.** *Ecological Economics*, v. 65, n.3, p. 636-649, 2008.

TAYLOR. R., GOVINDARAJALU. C., LEVIN, J., MEYER, A., WARD, W. **Financing energy efficiency: lessons from Brazil, China, India, and Beyond.** Washington D.C, 2008. 306 p.

THOMPSON, P. **Evaluating energy efficiency investments: accounting for risk in the discounting process.** Energy Policy, v. 25, n. 12, p. 989-996, 1997

TUOMAALA, M., HURME, M., LEINO, A. **Evaluating the efficiency of integrated systems in the process industry Case: Steam cracker.** Applied Thermal Engineering, v. 30, p. 45–52, 2010

UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA (UPME). **Herramientas para el análisis de caracterización de la eficiencia energética.** Colômbia, 2006, 62 p.

WORLD ENERGY ASSESSMENT (WEA). **Energy and the challenge of sustainability.** New York, 2000. 506 p.

WORLD BANK. **Eficiencia energética: un gran potencial sin aprovechar en Brasil.** 27 fev. 2008. Disponível em: <<http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/BANCOMUNDIAL/NEWSSPAINISH/0,,contentMDK:21662984~pagePK:64257043~piPK:437376~theSitePK:1074568,00.html>>. Acesso em: 12 jan. 2011

ZHOU, H., CHEN, B., HAN, Z.X., ZHANG, F.Q. **Study on probability distribution of prices in electricity market: A case study of zhejiang province, China.** Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, v. 14, p. 2255 – 2265, 2009

# ANEXOS

## Anexo I – Dados de Consumo e produção da mini-fábrica (2008-2010)

	2008											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
A00	976.922	1.251.724	766.649	610.267	334.610	399.359	411.135	454.189	515.736	225.301	357.077	454.508
A01	499.890	589.427	599.303	362.540	583.312	448.927	405.731	584.370	520.608	684.022	426.621	185.148
A02	170.948	131.049	136.548	98.033	84.487	76.684	102.385	67.522	122.989	90.196	80.241	35.288
A03	143.867	158.284	89.184	182.508	232.900	251.436	200.160	256.998	235.970	117.383	205.500	12.248
A99	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0
B00	77.221	47.444	179.801	74.290	85.718	53.873	89.141	148.044	115.049	107.035	70.864	11.430
B01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B02	958.277	565.004	1.038.036	769.995	929.732	850.492	809.068	657.306	888.500	723.568	706.636	374.288
B03	684.983	427.424	480.108	495.949	467.642	634.833	460.792	497.006	518.795	655.939	466.318	233.759
B04	130.027	70.371	105.899	137.461	141.100	80.004	78.694	79.682	106.247	97.620	121.014	55.386
B05	371.842	239.582	291.018	311.232	220.284	245.080	237.711	250.765	346.168	213.524	259.047	80.864
B06	239.831	309.624	297.939	247.457	278.421	232.023	299.148	294.311	232.142	368.190	342.301	111.857
B07	60.200	110.600	193.200	0	92.400	50.400	21.000	14.000	39.200	0	0	0
B08	414.734	478.386	432.153	375.780	454.939	454.211	547.030	479.241	473.553	421.627	509.678	310.054
B09	23.709	28.820	9.773	7.164	3.087	16.020	12.108	9.963	13.645	9.227	2.934	4.113
B10	8.649	17.328	0	0	0	0	0	0	2.376	1.920	4.104	0
B11	164.893	214.895	110.954	263.693	169.863	182.083	152.119	170.475	62.866	96.174	191.315	133.194
B12	785.576	367.048	554.988	595.650	761.849	601.321	670.210	407.192	479.286	192.604	208.972	217.778
<b>Produção (unidades)</b>	5.711.569	5.007.010	5.285.553	4.532.019	4.840.344	4.576.746	4.496.472	4.371.064	4.673.130	4.004.330	3.952.622	2.219.915
<b>Consumo (kWh)</b>	554.320	570.702	382.637	605.068	603.532	587.124	691.485	668.760	619.904	645.979	593.896	270.516

Figura A.1 – Consumo e produção 2008

	2009											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
A00	298.466	722.315	520.566	915.847	105.440	302.190	482.154	600.264	642.126	635.039	616.002	521.209
A01	163.356	364.744	344.132	550.459	308.538	546.118	516.180	393.074	532.234	499.514	555.050	566.523
A02	29.623	51.045	61.323	69.232	73.529	63.501	51.926	70.143	91.533	91.563	102.177	66.171
A03	102.272	44.108	36.077	171.252	112.032	122.069	123.787	69.046	44.647	73.151	82.830	35.136
A99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	300
B00	13.484	81.945	31.200	95.413	69.572	71.484	73.436	91.500	90.160	110.863	64.319	87.005
B01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B02	363.400	420.034	295.460	434.168	406.730	568.302	573.644	426.632	644.430	595.810	379.786	770.016
B03	259.705	194.468	172.994	331.408	488.386	378.817	391.627	478.529	503.963	532.648	533.516	380.975
B04	93.146	30.655	33.698	17.591	12.483	20.787	23.760	24.570	32.623	39.598	37.017	45.590
B05	143.215	31.871	49.861	49.310	27.656	59.846	71.916	98.152	67.735	171.958	156.567	129.911
B06	82.791	11.109	106.554	70.710	97.596	186.341	187.911	193.338	210.288	399.583	257.565	273.162
B07	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B08	251.143	217.514	194.601	159.616	233.205	156.144	198.396	230.459	260.285	288.141	323.768	161.403
B09	6.153	45	4.095	1.935	0	2.205	270	1.782	432	4.161	6.846	3.250
B10	1.944	2.718	1.722	3.024	0	2.700	0	6.576	363	2.034	3.579	1.944
B11	78.233	71.647	69.992	35.900	40.602	13.156	31.744	74.575	105.050	130.661	88.664	61.703
B12	158.900	216.152	398.200	272.603	143.850	131.950	273.828	504.232	281.198	320.366	345.140	427.034
<b>Produção (unidades)</b>	2.046.031	2.460.370	2.320.475	3.178.468	2.119.619	2.625.610	3.000.579	3.262.872	3.507.067	3.895.090	3.552.832	3.531.332
<b>Consumo (kWh)</b>	387.561	235.718	239.235	262.800	302.630	308.004	329.753	371.829	345.197	461.928	449.509	420.023

Figura A.2 – Consumo e produção 2009

	2010											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
A00	893.265	562.424	598.248	722.916	449.851	744.582	733.759	514.153	480.889	756.694	595.935	643.815
A01	477.220	480.880	627.908	526.928	555.734	464.809	589.763	578.107	415.310	423.922	448.183	467.737
A02	84.018	91.401	135.029	123.385	134.768	97.349	133.063	126.070	106.963	118.912	121.551	125.881
A03	32.618	27.056	55.558	40.641	20.056	31.535	71.879	27.936	48.857	72.154	74.531	57.771
A99	0	768	0	0	0	0	0	0	600	0	0	0
B00	92.974	103.727	118.948	93.100	142.798	129.463	119.748	110.135	106.619	120.957	105.770	41.622
B01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B02	786.368	729.786	789.310	691.704	544.408	829.162	587.316	841.260	755.880	673.570	563.340	441.760
B03	415.942	505.863	667.350	537.778	452.355	391.756	363.375	625.023	580.682	571.302	422.616	422.206
B04	35.650	51.330	95.147	78.123	102.629	83.511	150.127	103.842	71.926	117.409	103.647	109.651
B05	188.020	154.789	257.277	193.711	230.707	251.461	264.103	323.248	193.700	243.978	261.056	220.713
B06	174.525	189.453	337.396	322.043	203.422	286.968	273.041	331.173	177.855	287.190	251.931	266.123
B07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B08	218.733	219.562	279.319	240.064	283.808	294.520	423.325	329.223	277.849	364.037	329.607	278.301
B09	7.120	4.695	8.460	8.325	4.068	8.919	7.281	11.448	2.286	7.385	10.618	8.757
B10	1.668	3.444	3.672	3.861	2.637	2.856	3.867	5.427	2.676	2.031	3.558	1.824
B11	63.114	142.169	129.629	164.443	153.010	89.580	198.845	173.363	190.692	179.087	150.122	143.308
B12	597.858	369.652	519.472	450.842	519.976	532.552	597.750	852.542	858.878	551.744	615.090	711.456
<b>Produção (unidades)</b>	4.069.093	3.636.999	4.622.723	4.197.864	3.800.227	4.239.023	4.517.242	4.952.950	4.271.662	4.490.372	4.057.555	3.940.925
<b>Consumo (kWh)</b>	427.786	431.348	500.821	488.345	549.528	541.062	582.652	564.431	537.500	567.181	567.262	472.748

Figura A.3 – Consumo e produção 2010

## Anexo II – Questionários

## QUESTIONÁRIO PARA CONHECIMENTO GERAL DA GESTÃO ENERGÉTICA DA EMPRESA

INFORMAÇÃO SOBRE GESTÃO ENERGÉTICA DA EMPRESA				
Existe atualmente um problema concreto relacionado com a energia?	SIM	NÃO	Qual?	
Existe uma política energética da gerência	SIM	NÃO	Qual é a política?	
			Quais são seus objetivos?	
Que projetos (em execução ou em planejamento) visam atingir os objetivos?				
Existe uma administração energética estratégica na empresa?	SIM			NÃO
Existe um comitê de energia na empresa?	SIM	NÃO	Quais são as funções?	
Existem metas de redução de custos energéticos?	SIM	NÃO	Quais são as metas?	
			Como foram determinadas?	

Existe um controle de indicadores energéticos para atingir a meta?	SIM		NÃO			
A empresa tem identificado os 20% das áreas ou equipamentos que consomem 80% da energia?	SIM	NÃO	Quais são as áreas ou equipamentos que consomem 80% da energia?			
A empresa já realizou uma auditoria energética?	SIM	NÃO	Que tipo de auditoria?	Interna	Externa	
Quais são os critérios de avaliação econômica e de viabilidade para os projetos de investimento em eficiência energética? (Por exemplo, TIR, VPL, <i>PAYBACK</i> )						
Qual é o <i>payback</i> que a empresa exige para fazer um investimento?						
Qual é a taxa de desconto utilizada pela empresa?						
Qual é o critério para avaliar o risco destes investimentos?						
RESPONSÁVEL PELA INFORMAÇÃO:						
DATA DE PREENCHIMENTO (dd / mm / aa)						
NOME DO RESPONSÁVEL PELO PREENCHIMENTO						
ASSINATURA						

Figura A.4 – Consumo e produção 2010

**PESQUISA DESCRIÇÃO GERAL DA EMPRESA E DA MINI-FÁBRICA**

<b>DADOS GERAIS DA EMPRESA</b>															
NOME DA EMPRESA:							CNPJ								
ENDEREÇO:							TELEFONE		CIDADE						
ATIVIDADE INDUSTRIAL:															
REPRESENTANTE LEGAL:															
RESPONSÁVEL PELA INFORMAÇÃO									TELEFONE						
<b>ORGANIZAÇÃO DA MINIFABRICA</b>															
MINIFABRICA: Buchas															
No. De dias de trabalho ao mês		Horário serviço		De		AM		a		AM					
						PM				PM					
No. De dias de trabalho ao ano		Produção mensal				Produção anual (média)									
TURNOS			No. De operários		Horário					No. Paradas por férias - <b>P.P.F</b>					
1					De		AM		a		AM				
							PM				PM		Mês de <b>P.P.F</b>		
2					De		AM		a		AM		Jul		
							PM				PM		Ag		
3					De		AM		a		AM		Set		
							PM				PM		Out		
													Nov		
													Dez		
													No. De dias de <b>P.P.F</b>		
													No. Paradas por manutenção - <b>P.P.M</b>		
													No. Dias <b>P.P.M</b>		

4	De	AM	a	AM	Mês de <b>P.P.M</b>	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
		PM		PM		Jul	Ag	Set	Out	Nov	Dez
	No. De paradas por baixa produção <b>P.B.P</b>		No. De dias de <b>P.B.P</b>		Mês de <b>P.B.P</b>	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
						Jul	Ag	Set	Out	Nov	Dez
	No. De paradas por outros motivos <b>P.O.M</b>		No. De dias de <b>P.O.M</b>		Mês de <b>P.O.M</b>	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
						Jul	Ag	Set	Out	Nov	Dez
Quais foram esses outros motivos?											
<b>PLANEJAMENTO DA MANUTENÇÃO</b>											
A empresa faz manutenção periódica?				SI				NO			
Qual é a periodicidade com que faz manutenção? A cada						<b>Dias</b>		<b>Meses</b>			<b>Anos</b>
Quais são as tarefas e/ou atividades de manutenção que a empresa faz?											
DATA DE PREENCHIMENTO dd / mm / aa											
NOME DO RESPONSÁVEL PELO PREENCHIMENTO											
ASSINATURA											

Figura A.5 – Consumo e produção 2010

# APÊNDICES

## Apêndice I – Variação mensal da produção e consumo (2008-2010)

		Produção	Variação Produção	Consumo	Variação Consumo
<b>2008</b>	Jan	5.711.569	0	554.320	0
	Fev	5.007.010	-12,34	570.702	2,96
	Mar	5.285.553	5,56	382.637	-32,95
	Abr	4.532.019	-14,26	605.068	58,13
	Mai	4.840.344	6,80	603.532	-0,25
	Jun	4.576.746	-5,45	587.124	-2,72
	Jul	4.496.472	-1,75	691.485	17,77
	Ago	4.371.064	-2,79	668.760	-3,29
	Set	4.673.130	6,91	619.904	-7,31
	Out	4.004.330	-14,31	645.979	4,21
	Nov	3.952.622	-1,29	593.896	-8,06
	Dez	2.219.915	-43,84	270.516	-54,45
<b>2009</b>	Jan	2.046.031	-7,83	387.561	43,27
	Fev	2.460.370	20,25	235.718	-39,18
	Mar	2.320.475	-5,69	239.235	1,49
	Abr	3.178.468	36,97	262.800	9,85
	Mai	2.119.619	-33,31	302.630	15,16
	Jun	2.625.610	23,87	308.004	1,78
	Jul	3.000.579	14,28	329.753	7,06
	Ago	3.262.872	8,74	371.829	12,76
	Set	3.507.067	7,48	345.197	-7,16
	Out	3.895.090	11,06	461.928	33,82
	Nov	3.552.832	-8,79	449.509	-2,69
	Dez	3.531.332	-0,61	420.023	-6,56
<b>2010</b>	Jan	4.069.093	15,23	427.786	1,85
	Fev	3.636.999	-10,62	431.348	0,83
	Mar	4.622.723	27,10	500.821	16,11
	Abr	4.197.864	-9,19	488.345	-2,49
	Mai	3.800.227	-9,47	549.528	12,53
	Jun	4.239.023	11,55	541.062	-1,54
	Jul	4.517.242	6,56	582.652	7,69
	Ago	4.952.950	9,65	564.431	-3,13
	Set	4.271.662	-13,76	537.500	-4,77
	Out	4.490.372	5,12	567.181	5,52
	Nov	4.057.555	-9,64	567.262	0,01
	Dez	3.940.925	-2,87	472.748	-16,66

Figura A.6 – Consumo e produção equivalente da mini-fábrica

## Apêndice II – Consumo e produção equivalente calculados (2008-2010)

		Produção	Consumo
<b>2008</b>	Jan	1.540.108	554320
	Fev	1.378.103	570702
	Mar	1.429.762	382637
	Abr	1.341.259	605068
	Mai	1.396.835	603532
	Jun	1.381.974	587124
	Jul	1.334.661	691485
	Ago	1.353.014	668760
	Set	1.375.377	619904
	Out	1.355.236	645979
	Nov	1.354.223	593896
	Dez	648.647	270516
<b>2009</b>	Jan	646.531	387561
	Fev	548.747	235718
	Mar	538.911	239235
	Abr	692.775	262800
	Mai	687.031	302630
	Jun	745.916	308004
	Jul	785.260	329753
	Ago	823.555	371829
	Set	949.333	345197
	Out	1.133.480	461928
	Nov	1.017.743	449509
	Dez	902.132	420023
<b>2010</b>	Jan	926.629	427786
	Fev	1.001.536	431348
	Mar	1.324.412	500821
	Abr	1.165.139	488345
	Mai	1.088.810	549528
	Jun	1.100.917	541062
	Jul	1.273.242	582652
	Ago	1.382.273	564431
	Set	1.123.451	537500
	Out	1.267.303	567181
	Nov	1.129.311	567262
	Dez	1.049.186	472748

Figura A.7 – Consumo e produção equivalente da mini-fábrica

## Apêndice III – Cálculo do índice de consumo real e teórico

		Produção (unidades)	Consumo (kWh)	IC real (C kWh / P)	C <sub>teórico</sub> (C <sub>t</sub> )	IC <sub>teórico</sub> (C <sub>t</sub> /P)
2008	Jan	1.540.108	554.320	0,36	654.897,73	0,43
	Fev	1.378.103	570.702	0,41	590.727,75	0,43
	Mar	1.429.762	382.637	0,27	611.189,80	0,43
	Abr	1.341.259	605.068	0,45	576.133,50	0,43
	Mai	1.396.835	603.532	0,43	598.147,29	0,43
	Jun	1.381.974	587.124	0,42	592.261,06	0,43
	Jul	1.334.661	691.485	0,52	573.520,06	0,43
	Ago	1.353.014	668.760	0,49	580.789,70	0,43
	Set	1.375.377	619.904	0,45	589.647,90	0,43
	Out	1.355.236	645.979	0,48	581.670,11	0,43
	Nov	1.354.223	593.896	0,44	581.268,66	0,43
	Dez	648.647	270.516	0,42	301.789,92	0,47
2009	Jan	646.531	387.561	0,60	300.951,78	0,47
	Fev	548.747	235.718	0,43	262.219,52	0,48
	Mar	538.911	239.235	0,44	258.323,70	0,48
	Abr	692.775	262.800	0,38	319.269,21	0,46
	Mai	687.031	302.630	0,44	316.994,08	0,46
	Jun	745.916	308.004	0,41	340.318,16	0,46
	Jul	785.260	329.753	0,42	355.902,44	0,45
	Ago	823.555	371.829	0,45	371.071,19	0,45
	Set	949.333	345.197	0,36	420.891,72	0,44
	Out	1.133.480	461.928	0,41	493.832,34	0,44
	Nov	1.017.743	449.509	0,44	447.988,99	0,44
	Dez	902.132	420.023	0,47	402.195,66	0,45
2010	Jan	926.629	427.786	0,46	411.898,71	0,44
	Fev	1.001.536	431.348	0,43	441.569,26	0,44
	Mar	1.324.412	500.821	0,38	569.460,69	0,43
	Abr	1.165.139	488.345	0,42	506.372,73	0,43
	Mai	1.088.810	549.528	0,50	476.138,80	0,44
	Jun	1.100.917	541.062	0,49	480.934,09	0,44
	Jul	1.273.242	582.652	0,46	549.192,32	0,43
	Ago	1.382.273	564.431	0,41	592.379,44	0,43
	Set	1.123.451	537.500	0,48	489.860,01	0,44
	Out	1.267.303	567.181	0,45	546.839,64	0,43
	Nov	1.129.311	567.262	0,50	492.181,06	0,44
	Dez	1.049.186	472.748	0,45	460.443,68	0,44

Figura A.8 - Dados para o cálculo do índice de consumo real e teórico

**Apêndice IV – Diagrama de consumos acumulados (CUSUM)**

Equação de consumo para o período base:

$$C_{2009} = 58.788 + 0,396 * P_{2009} \quad \text{A.1}$$

Mês	Ca	Pa	Cb= mPa + Eo	Ca - Cb	((Ca - Cb)i + (Ca - Ct)i-1)
Jan	427.786	926.629	392.282	35.504	35.504
Fev	431.348	1.001.536	419.241	12.107	47.612
Mar	500.821	1.324.412	535.444	-34.623	12.989
Abr	488.345	1.165.139	478.122	10.223	23.212
Mai	549.528	1.088.810	450.651	98.877	122.089
Jun	541.062	1.100.917	455.008	86.054	208.143
Jul	582.652	1.273.242	517.028	65.624	273.767
Ago	564.431	1.382.273	556.268	8.163	281.930
Set	537.500	1.123.451	463.118	74.382	356.312
Out	567.181	1.267.303	514.890	52.291	408.603
Nov	567.262	1.129.311	465.227	102.035	510.638
Dez	472.748	1.049.186	436.390	36.358	546.996

Figura A.9 - Dados para elaboração do diagrama de consumos acumulados – CUSUM