

**Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto**



**FEUP**

**Ferramentas de Medição, Diagnóstico e  
Otimização de Processos Industriais Integrando a  
Componente de Consumo Energético**

Vítor Gonçalves Teixeira

VERSÃO FINAL

Dissertação realizada no âmbito do  
Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores  
Major Energia

Orientador: Professor Doutor Cláudio Domingos Martins Monteiro

Julho de 2012

© Vítor Gonçalves Teixeira, 2012

# Resumo

A primeira parte desta dissertação é dedicada a uma revisão do estado da arte existente, de sistemas de gestão e otimização de processos industriais, assim como das suas funcionalidades e características.

Numa segunda parte é feita uma modelação de um sistema de gestão e otimização de processos industriais integrando a componente de consumo energético. Nesta modelação serão explicadas as etapas assim como os pressupostos assumidos e a formulação matemática a utilizar na análise dos casos de estudo de processos industriais reais. São apresentados os modelos de regressão de variáveis com relação entre si e os valores estimados dos seus parâmetros.

Os casos reais em estudo assentam nos pressupostos assumidos aquando da modelação do sistema de gestão e otimização desenvolvido. São apresentadas todas as parametrizações das variáveis correlacionadas, indicando os parâmetros que melhor caracterizam a relação das variáveis. É feita uma análise do resíduo, procedendo-se posteriormente à análise do modelo de regressão.

São apresentados também indicadores de produção e indicadores de energia, de modo a poderem ser caracterizados e analisados os dois campos. Os indicadores apresentados fornecem informações relevantes sobre o estado da produção e da energia utilizada, podendo-se assim saber se a produção real está acima ou abaixo da estimada durante a construção do modelo de gestão e otimização de processos industriais. O mesmo acontece em relação ao indicador de energia.

É apresentado também um possível estudo da robustez do modelo de sistema de gestão e otimização de processos desenvolvido nesta dissertação, aplicados na análise dos casos reais.

**Palavras-chave:** Sistemas de gestão de energia, Otimização de Processos, Consumo Energético.



# Abstract

*The first part of this dissertation is dedicated to an overview of the state-of-art of the existing management and optimization systems of industrial processes, as well as their functionalities and characteristics.*

*In the second part is performed a modelling of a management and optimization system of industrial processes taking into account the consumption of energy. In this modelling it will be explained the steps, the assumed premises and the mathematical formulation for the analysis of case studies of real industrial processes. The variables regression models are presented, relating themselves to the estimated values of their parameters.*

*The real cases in study are based in the assumed premises upon the modelling of the management and optimization system developed. All the parameterizations of the correlated variables are presented, indicating the parameters which better characterize the relation between variables. It is done a residue analysis and then proceeding to the analysis of the regression model.*

*Production and energy indicators, are also presented, in order to be characterized and analysed both fields. The presented indicators provide relevant information about the state of production and used energy, allowing to know if the real production is above or below the estimations during the construction of the model of management and optimization of the industrial processes. The same applies to the energy indicator.*

*It is also presented a possible study of the robustness of the model of management and optimization system, developed in this dissertation, applied in the analysis of real cases.*

**Keywords:** *Energy management systems, processes optimization, energy consumption.*



# Agradecimentos

Gostaria de agradecer a todas as pessoas que direta ou indiretamente, me ajudaram na realização desta dissertação.

Um profundo e especial agradecimento aos meus pais e aos meus tios pelo grande e forte apoio, motivação e disponibilidade ao longo dos anos.

Gostaria de agradecer ao meu orientador, Professor Cláudio Domingos Martins Monteiro pela sua disponibilidade e apoio ao longo desta dissertação. Assim como um agradecimento especial pelos seus sábios conselhos e sugestões que foram muito importantes para a conclusão da dissertação.

Um agradecimento ao Engenheiro Bruno Marques da Savinor e ao Engenheiro Rui Azevedo da *Smatwatt* pelos esclarecimentos prestados às dúvidas surgidas durante a realização da dissertação.

Sem esquecer a minha namorada Natacha, um muito obrigado pelo apoio, paciência e constante incentivo demonstrado.

Para finalizar, um agradecimento a todos os meus amigos e colegas de curso, que ao longo do tempo me ajudaram e motivaram, porque sem eles seria uma caminhada mais difícil.



# Índice

<b>Resumo</b> .....	<b>iii</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>v</b>
<b>Agradecimentos</b> .....	<b>vii</b>
<b>Índice</b> .....	<b>ix</b>
<b>Lista de figuras</b> .....	<b>xi</b>
<b>Lista de tabelas</b> .....	<b>xv</b>
<b>Abreviaturas e Símbolos</b> .....	<b>xvii</b>
<b>Capítulo 1</b> .....	<b>1</b>
Introdução.....	1
1.1 - Enquadramento e objetivos.....	1
1.2 - Motivação .....	4
1.3 - Estrutura da Dissertação.....	5
<b>Capítulo 2</b> .....	<b>7</b>
Estado da Arte.....	7
2.1 - Introdução.....	7
2.2 - Medição da Eficiência .....	8
2.3 - Controlo e Melhoria da Eficiência.....	10
2.4 - Sistemas de Informação e Gestão.....	11
2.5 - Standards de Eficiência na Indústria .....	11
2.6 - Software de Gestão de Energia.....	12
2.7 - Conclusões .....	19
<b>Capítulo 3</b> .....	<b>21</b>
Metodologia.....	21
3.1 - Introdução.....	21
3.2 - Etapas Desenvolvidas.....	21
3.4 - Recolha dos dados de Produção e Energia .....	23
3.5 - Análise das séries de dados .....	23
3.6 - Metodologia de Cálculo .....	25
3.7 - Robustez da Metodologia .....	29
3.8 - Criar Indicadores.....	31

<b>Capítulo 4</b> .....	<b>35</b>
Apresentação de Resultados .....	35
4.1 - Introdução.....	35
4.2 - Apresentação das Empresas e Unidades de Medida.....	35
4.3 - Recolha dos dados de produção e energia (Savinor) .....	38
4.4 - Análise dos dados recolhidos (Savinor) .....	39
4.5 - Metodologia de Cálculo (Savinor) .....	40
4.6 - Robustez da Metodologia (Savinor) .....	49
4.7 - Indicadores (Savinor).....	56
4.8 - Recolha e Tratamento de Dados (Sorgal).....	62
4.9 - Metodologia de Cálculo (Sorgal) .....	63
4.10 - Indicadores de Energia (Sorgal) .....	65
<b>Capítulo 5</b> .....	<b>69</b>
Conclusões .....	69
5.1 - Introdução.....	69
5.2 - Objetivos Alcançados .....	69
5.3 - Desenvolvimentos Futuros .....	70
<b>Referências</b> .....	<b>71</b>

## Lista de figuras

Figura 1.1 - Níveis de execução possíveis num sistema de energia [5].....	3
Figura 2.1 - Gestão de Energia na Produção [22]. ....	8
Figura 2.2 - Constituição do <i>Energy Brain</i> [17]. ....	13
Figura 2.3 - Módulos do <i>Energy Brain</i> [19]. ....	14
Figura 2.4 - Analisador X3M [19]. ....	15
Figura 2.5 - Exemplo de diagramas de carga diários do <i>Energy Brain</i> [19]. ....	16
Figura 2.6 - Exemplo de um gráfico de consumo de energia ativa e reativa com detalhe diário, utilizando o <i>Energy Brain</i> [19]. ....	16
Figura 2.7 - Arquitetura do <i>Elipse Power</i> [20]. ....	18
Figura 3.1 - Fluxograma das etapas seguidas no desenvolvimento do modelo.....	22
Figura 3.2 - Caracterização das etapas desde a recolha até à produção de farinha e gordura.....	23
Figura 3.3 - Evolução da recolha nos dias da semana. ....	24
Figura 3.4 - Variáveis relacionadas de um processo industrial. ....	27
Figura 3.5 - Variáveis do processo produtivo da Savinor.....	28
Figura 3.6 - Representação de um resíduo bem distribuído [17]. ....	30
Figura 3.7 - Evolução da produção real e da produção estimada. ....	32
Figura 3.8 - Caracterização dos desvios máximos e mínimos dos indicadores. ....	32
Figura 4.1 - Estrutura do grupo Soja de Portugal, S.A [8]. ....	35
Figura 4.2 - Maquinaria usada na unidade fabril de <i>pet-food</i> na Sorgal [8]. ....	36
Figura 4.3 - Tecnologia usada na unidade fabril de <i>pet-food</i> na Sorgal [8]. ....	36
Figura 4.4 - Contador de energia da Savinor [30]. ....	37
Figura 4.5 - Sistema das unidades de medida implementadas na Savinor. ....	38

Figura 4.6 - Relação entre o consumo de energia com a quantidade de recolha efetuada (fábrica do peixe). .....	39
Figura 4.7 - Evolução da produção de farinha nos dias da semana (fábrica do peixe). .....	39
Figura 4.8 - Evolução da produção de farinha com a quantidade de recolha, nos diferentes dias da semana (fábrica de mamíferos). .....	40
Figura 4.9 - Relação da energia em função da recolha (fábrica do peixe). .....	41
Figura 4.10 - Relação da produção de farinha em função da recolha (fábrica do peixe). .....	42
Figura 4.11 - Relação da produção de gordura em função da recolha (fábrica do peixe). .....	43
Figura 4.12 - Relação da produção de farinha em função da energia (fábrica do peixe). .....	43
Figura 4.13 - Relação da produção de gordura em função da energia (fábrica do peixe). .....	44
Figura 4.14 - Relação da produção de gordura em função da produção de farinha (fábrica do peixe). .....	44
Figura 4.15 - Relação da energia em função da recolha (fábrica de mamíferos). .....	45
Figura 4.16 - Relação da produção de farinha em função da recolha (fábrica de mamíferos). .....	46
Figura 4.17 - Relação da produção de gordura em função da recolha (fábrica de mamíferos). .....	46
Figura 4.18 - Relação da produção de farinha em função da energia (fábrica de mamíferos). .....	47
Figura 4.19 - Relação da produção de gordura em função da energia (fábrica de mamíferos). .....	48
Figura 4.20 - Relação da produção de gordura em função da produção de farinha (fábrica de mamíferos). .....	48
Figura 4.21 - Resíduo da farinha (fábrica do peixe). .....	51
Figura 4.22 - Resíduo da gordura (fábrica do peixe). .....	51
Figura 4.23 - Resíduo de farinha (fábrica de mamíferos). .....	52
Figura 4.24 - Resíduo de gordura (fábrica de mamíferos). .....	52
Figura 4.25 - Histograma do Resíduo da farinha (fábrica do peixe). .....	53
Figura 4.26 - Histograma do resíduo da gordura (fábrica do peixe). .....	53
Figura 4.27 - Histograma do resíduo da farinha (fábrica de mamíferos). .....	54
Figura 4.28 - Variáveis do processo industrial em questão relacionadas entre si. ....	54
Figura 4.29 - Gráfico do indicador da farinha em % (fábrica do peixe). .....	58
Figura 4.30 - Desvio da produção de farinha em relação ao seu valor estimado. ....	58
Figura 4.31 - Gráfico do indicador da gordura em % (fábrica do peixe). .....	58

Figura 4.32 - Gráfico do indicador da farinha em % (fábrica de mamíferos).....	60
Figura 4.33 - Gráfico do indicador da gordura em % (fábrica de mamíferos). ....	60
Figura 4.34 - Gráfico do indicador de Energia em % (fábrica do peixe).....	61
Figura 4.35 - Relação da Energia em função do número total de lotes (referência 18p5w). ..	63
Figura 4.36 - Relação de Energia um função do número total de lotes (referência cmxdor4).....	64
Figura 4.37 - Relação de Energia um função do número total de lotes (referência M27655). .	64
Figura 4.38 - Relação de Energia um função do número total de lotes (referência M28250). .	65



## Lista de tabelas

Tabela 2.1 - Indicadores de Eficiência Energética [22] .....	9
Tabela 3.1 - Demonstração do cálculo do Resíduo.....	30
Tabela 3.2 - Exemplo de informação dos indicadores de produção e suas etapas de construção.....	34
Tabela 3.3 - Exemplo de informação dos indicadores de energia e suas etapas de construção.....	34
Tabela 4.1 - Valores máximos e mínimos da produção de farinha e da quantidade de recolha (fábrica do peixe) .....	42
Tabela 4.2 - Valores máximos e mínimos para a quantidade de produção de farinha e para a quantidade de recolha (fábrica de mamíferos).....	46
Tabela 4.3 - Valores dos parâmetros das funções consideradas.....	49
Tabela 4.4 - Variáveis em consideração na análise do resíduo (exemplo para a fábrica de mamíferos) .....	50
Tabela 4.5 - Valores dos parâmetros estimados (para a fábrica do peixe).....	55
Tabela 4.6 - Valores dos parâmetros obtidos (para a fábrica do peixe) .....	55
Tabela 4.7 - Valores dos parâmetros estimados (para a fábrica de mamíferos).....	55
Tabela 4.8 - Valores dos parâmetros obtidos (para a fábrica de mamíferos).....	56
Tabela 4.9 - Valores da média e do desvio padrão para a subtração da produção estimada pela produção real de farinha (fábrica do peixe) .....	56
Tabela 4.10 - Alguns valores do indicador da produção de farinha e as variáveis consideradas (fábrica do peixe) .....	57
Tabela 4.11 - Valores da média e do desvio padrão para a subtração da produção estimada com a produção real de gordura (fábrica do peixe) .....	57
Tabela 4.12 - Alguns valores do indicador da produção de gordura e as variáveis consideradas (fábrica do peixe) .....	57

Tabela 4.13 - Valores da média e do desvio padrão para a subtração da produção estimada com a produção real de farinha (fábrica de mamíferos).....	59
Tabela 4.14 - Alguns valores do indicador da produção de farinha e as variáveis consideradas (fábrica de mamíferos).....	59
Tabela 4.15 - Valores da média e do desvio padrão para a subtração da produção estimada com a produção real de gordura (fábrica de mamíferos).....	59
Tabela 4.16 - Alguns valores do indicador da produção de gordura e as variáveis consideradas (fábrica de mamíferos).....	59
Tabela 4.17 - Valores da média e do desvio padrão para a subtração da energia estimada com a energia real (fábrica do peixe).....	61
Tabela 4.18 - Alguns valores do indicador de energia e as variáveis consideradas (fábrica do peixe).....	61
Tabela 4.19 - Mapa de produção da Sorgal.....	62
Tabela 4.20 - Valores da média e do desvio padrão para a subtração da energia estimada pela energia real (referência 18p5w).....	65
Tabela 4.21 - Alguns valores do indicador de energia (referência 18p5w).....	66
Tabela 4.22 - Valores da média e do desvio padrão para a subtração da energia estimada pela energia real (referência cmxdor4).....	66
Tabela 4.23 - Alguns valores do indicador de energia (referência cmxdor4).....	66
Tabela 4.24 - Valores da média e do desvio padrão para a subtração da produção estimada pela produção real (referência M27655).....	67
Tabela 4.25 - Alguns valores do indicador de energia (referência M27655).....	67
Tabela 4.26 - Valores da média e do desvio padrão para a subtração da produção estimada pela produção real (referência M28250).....	67
Tabela 4.27 - Alguns valores do indicador de energia (referência M28250).....	67

# Abreviaturas e Símbolos

## Lista de abreviaturas

CIM	<i>Common Information Model</i>
CSV	<i>Comma-separated values</i>
DEEC	Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
EEA	<i>European Environment Agency</i>
EMS	<i>Environmental Management Standard</i>
ETC	<i>Et cetera</i>
EUA	Estados Unidos da América
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
HTML	<i>Hypertext Markup Language</i>
ISSO	<i>International Organization for Standardization</i>
OCDE	Organização de Cooperação e Desenvolvimento Económico
PME	Pequenas e Médias Empresas
SA	Sociedade Anónima
SPSS	<i>Statistical Package for Social Sciences</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>

## Lista de símbolos

$\alpha$	Coeficiente
$\beta$	Coeficiente
$\epsilon$	Erro
$e$	Resíduo
%	Por cento (percentagem)
$\sigma^2$	Variância
$\sigma$	Desvio-padrão
$\mu$	Média da população
$\bar{x}$	Média aritmética simples
$\hat{y}$	Valor estimado da variável

# Capítulo 1

## Introdução

Este capítulo descreve o problema que vai ser abordado ao longo desta dissertação, assim como os objetivos pretendidos e o contexto em que se insere.

É apresentada a estrutura desta dissertação. É feita um breve resumo de cada um dos capítulos que compõe este documento.

### 1.1 - Enquadramento e objetivos

Num mundo globalizado e em constante mudança, é imperativo relacionar os processos produtivos com os seus consumos energéticos.

Esse panorama aborda questões como relacionar os processos produtivos com os seus consumos, de modo a que estes possam ser minimizados tanto quanto possível.

Assumem fundamental importância os processos produtivos, uma vez que é nestes processos que se pode ganhar vantagem à concorrência, minimizar e caracterizar os processos de produção industriais é fundamental. Outro fator de relevância são os consumos energéticos que advêm dos processos industriais, pelo que a sua eficiência medição e otimização devem ser encarados como fundamentais por parte de uma empresa.

As etapas do processo produtivo podem ser consideradas subprocessos industriais e interagem entre si. A interação de toda a sequência operacional depende da eficiência do trabalho de cada uma das etapas e da sincronia que existe nas suas relações. A gestão do processo produtivo é a coordenação de atividades integradas que procuram os resultados do negócio como um todo. Os processos industriais, estão relacionados com a competitividade de uma empresa, são eles que a definem. A qualidade final do produto depende da qualidade em cada etapa do processo [1].

Num processo industrial a etapa inicial é uma das mais importantes. O produto é o resultado de todas as etapas do processo produtivo.

Dentro dos processos industriais é importante ter indicadores que nos permitam analisar, medir, caracterizar o seu desenvolvimento.

É de extrema utilidade e importância usufruir-se de indicadores que nos informem se um dado produto está a ser produzido conforme o esperado ou não, se os consumos energéticos inerentes ao seu fabrico estão de acordo com o esperado, ou se pelo contrário, se estão muito acima ou muito abaixo do valor que seria suposto. Os indicadores são uma ferramenta muito poderosa para a caracterização e também para a avaliação dos processos industriais.

A OCDE define os indicadores como sendo uma ferramenta de avaliação entre outras. Servem sobretudo para explicar fatores que se encontram na origem de uma modificação do valor do indicador que serve de base a uma avaliação. A EEA define-os como sendo uma medida, geralmente quantitativa, que pode ser usada para ilustrar e comunicar um conjunto de fenómenos complexos de uma forma simples, incluindo tendências e progressos ao longo do tempo [2].

Os indicadores são ferramentas essenciais para a comunicação de questões energéticas relacionadas com o desenvolvimento sustentável para os agentes de decisão políticos, para o público e para a promoção do diálogo institucional. Cada conjunto de indicadores expressa aspetos ou consequências da produção e utilização de energia.

Os indicadores dão uma visão clara de todo o sistema tendo uma grande utilidade na monitorização do processo [13].

Quando se analisam os processos industriais, é indispensável e imperativo relaciona-los com a sua componente de consumo energético. Uma boa componente energética significará poupanças nesse campo e mais lucro para as empresas. Conciliar e relacionar os processos industriais à sua componente de consumo energético é fundamental para se poder estimar relações entre os produtos obtidos e o consumo de energia gasto na sua elaboração.

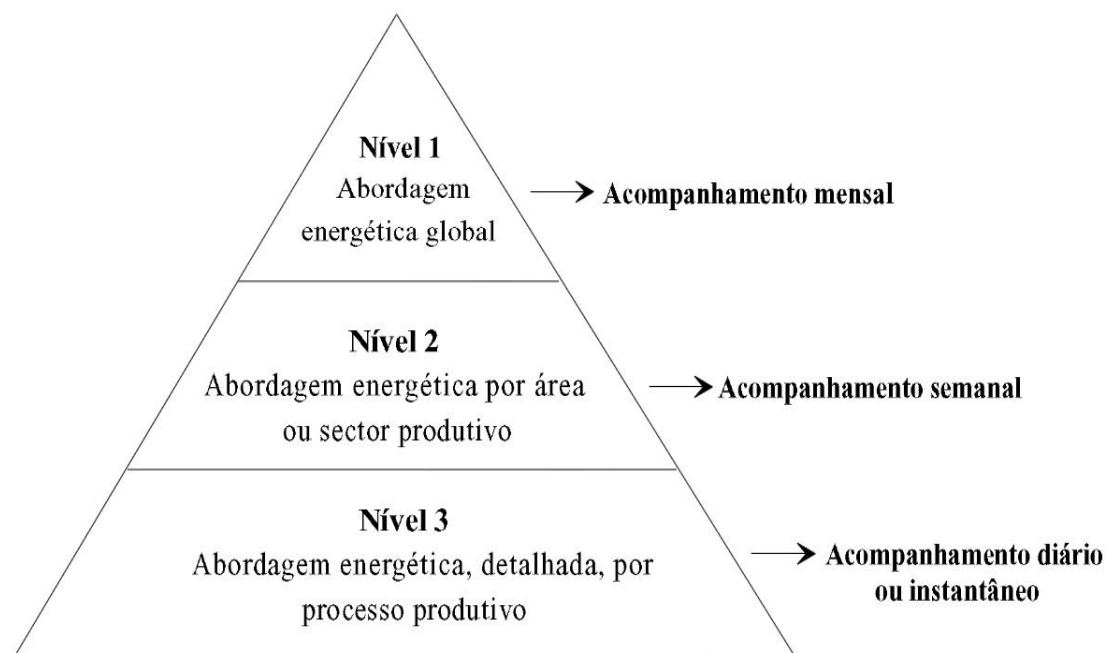
A melhoria da produtividade e da qualidade na empresa necessita da implementação duma política que gere mutações internas mais ou menos profundas. A gestão da energia integra-se perfeitamente nesta política e constitui, por vezes, o seu motor principal. É comum afirmar-se que “a utilização da energia é essencial ao desenvolvimento económico e social e necessária à manutenção de elevados padrões de conforto e de qualidade de vida”. Esta afirmação embora não seja incorreta é imperfeita, já que o conforto e a qualidade de vida em geral não necessitam de recursos energéticos. As exigências colocam-se ao nível dos serviços energéticos [4].

Otimizar o uso de energia na indústria é essencial para melhorar a competitividade industrial e alcançar objetivos mais precisos, tais como, a recuperação económica e o seu desenvolvimento. Programas de gestão de energia têm-se mostrado fundamentais na resposta a muitas das barreiras que inibem a absorção em larga escala da gestão de energia na indústria [3].

Os consumos energéticos dos processos industriais estão muito relacionados com o sistema de organização da gestão de energia adotados pela empresa.

Tradicionalmente existem três níveis de abordagem energética [5]:

- **Nível 1** - este é um nível primário para o estabelecimento de metas de economias de energia e para a análise comparativa dos consumos de energia.
- **Nível 2** - este nível permite atuar no interior de cada área da empresa ou de cada setor produtivo, por setor.
- **Nível 3** - este nível, atuando no processo produtivo, por processo, permite ter um controlo muito fino sobre a eficiência energética de uma instalação.



**Figura 1.1** - Níveis de execução possíveis num sistema de energia [5].

As melhorias na eficiência energética podem reduzir a necessidade de investimento em infraestruturas energéticas, reduzir os custos de combustível, aumentar a competitividade, e reduzir os custos para o utilizador. Os benefícios ambientais também podem ser alcançados pela redução das emissões de gases de efeito estufa e poluição do ar. A eficiência energética foi uma das seis grandes áreas de foco do programa da Agência Internacional de Energia do G8 em *Gleneagles* [15].

A eficiência energética pode ser vista como tendo um amplo significado, engloba todas as alterações das quais resulta a diminuição da energia utilizada para produzir uma determinada atividade. A escassez dos combustíveis fósseis e os problemas ambientais que lhe estão

associados levam a encarar a eficiência energética como uma das soluções para responder à procura de energia, combatendo também as alterações climáticas. *“Aprender a utilizar de forma responsável a energia de que dispomos é garantir um futuro melhor para as gerações vindouras”* [7].

A eficiência energética apresenta atualmente uma diversidade de conceitos, estando geralmente associados à dicotomia medidas implementadas/resultados alcançados na redução do crescimento da procura de energia, ou seja, de uma melhor utilização final da energia. Conceitos como conservação de energia, utilização racional de energia, gestão de energia, gestão da procura de energia, estão associados à eficiência energética [6].

Associar os consumos energéticos aos processos industriais é muito importante para se estabelecer um padrão dos consumos efetuados nesses processos, sendo assim possível tirar conclusões quanto à sua evolução em determinado processo, em determinado dia e até mesmo em determinado período de tempo que se queira estudar. Quanto melhor for a relação entre os consumos energéticos e os processos industriais, melhor é a eficiência e eficácia do processo, o que traz vantagens a nível competitivo para a empresa.

Pretende-se nesta dissertação a integração de informação de fluxos energéticos com informação de fluxos de matérias, em casos reais, de forma a conseguir-se uma otimização completa do processo. Como tal, será criado um modelo onde será possível caracterizar, otimizar e monitorizar os processos industriais. O modelo terá por base o mapeamento das parametrizações do processo (soluções otimizadas, função das diversas variáveis de fluxos de materiais, fluxos energéticos e variáveis de ambiente do processo), que serão parte fundamental na e para a caracterização do mesmo.

## **1.2 - Motivação**

O motivo principal da realização da dissertação com o tema proposto está relacionado com a capacidade de criar um modelo que caracterize processos industriais reais, enquadrando e relacionando os processos à sua componente de consumos energéticos.

A motivação presente nesta dissertação prende-se com o facto de se pretender criar uma metodologia, que sirva de base à implementação de sistemas de gestão energética.

Para ser possível reduzir e otimizar o valor do consumo energético de um processo industrial é necessário conhecer e perceber as condições de operação onde esse processo está inserido. Para isso é necessário ter um bom conhecimento das condições e dos elementos que caracterizam o processo industrial, bem como dos fatores que o afetam. Por esse motivo a tarefa de modelizar processos industriais tem sido amplamente discutido e analisado por vários especialistas em todo o mundo.

### 1.3 - Estrutura da Dissertação

A estrutura da dissertação encontra-se dividida em cinco capítulos, sendo que no primeiro é realizada uma introdução ao tema, é realizada também um enquadramento contextualizado do tema indicando os objetivos subjacentes do mesmo e ainda a motivação para a realização desta dissertação.

No segundo capítulo é efetuada a revisão do estado da arte, capítulo onde é abordado as principais metodologias de gestão e otimização dos processos industriais e de gestão de energia.

O terceiro capítulo é dedicado à descrição da metodologia criada, assim como a explicação de todos os passos realizados e respetiva formulação matemática inerente. O objetivo deste estudo consiste na caracterização dos processos industriais para deste modo ser realizado um mapeamento das parametrizações do mesmo com vista à construção de um modelo que caracterize uma grande parte de processos industriais reais.

No quarto capítulo são apresentados e analisados dois casos reais onde a metodologia criada no capítulo anterior é aplicada. Essa metodologia será aplicada a processos industriais reais da Savinor e da Sorgal.

No quinto e último capítulo, são apresentadas as conclusões retiradas do trabalho desenvolvido e dos objetivos alcançados, ao longo da dissertação. São também apresentadas sugestões para desenvolvimentos futuros sobre o tema abordado.



# Capítulo 2

## Estado da Arte

### 2.1 - Introdução

Neste capítulo são descritas tecnologias para a medição, para o controlo e para a melhoria da eficiência energética para a gestão da energia de processos industriais.

A medição da eficiência energética é a base para controlar o consumo de energia nos processos de produção, para decidir sobre a melhoria e o controlo das alterações da eficiência energética. Além disso as tecnologias de informação e comunicação (TIC) e a padronização desempenham importantes papéis para a produção eficiente de energia. A eficiência energética no setor industrial tem variadas definições. Pode ser entendida como a relação da energia de saída (utilizada na elaboração de um produto) a energia que entra, ou seja deve-se tirar o máximo de proveito da energia que se compra.

Uma maior eficiência energética pode ser obtida, utilizando uma tecnologia mais eficiente de recuperação de energia, reduzindo o desperdício de energia nos diferentes processos. A eficiência pode ser aumentada, otimizando a eficiência dos processos. A energia utilizada na indústria pode ser classificada de energia indireta e energia direta. Energia direta está associada aos processos de produção, enquanto, que a energia indireta está ligada aos processos de apoio, tais como a ventilação, iluminação, aquecimento, refrigeração, entre outros [22].

Aspetos como a medição da eficiência, o controlo e melhoria da eficiência, *standards* de eficiência na indústria e sistemas de informação e gestão, assumem um importante papel.

Neste capítulo são ainda identificados e caracterizados, alguns sistemas de gestão de energia existentes. São apresentadas algumas descrições dos mesmos sistemas, características e potencialidades. É feita também uma conclusão sobre esta temática.

Os sistemas de gestão de energia que são alvo de análise são:

- *Energy Brain*.
- *Circuitor (Power Studio Scada)*.
- *Eclipse Power*.
- *PowerView*.

De referir que muitos mais sistemas de gestão haveria para se analisar, mas como será esclarecido na conclusão tal análise não será fundamental.

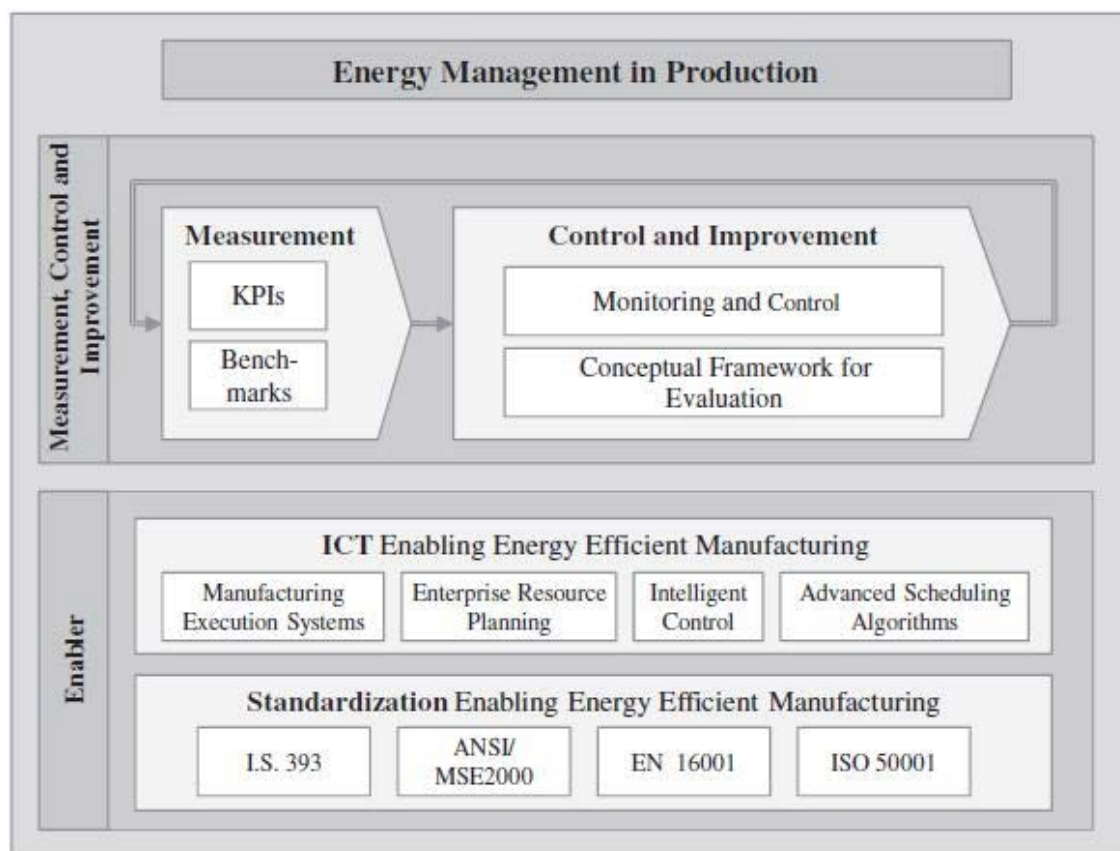


Figura 2.1 - Gestão de Energia na Produção [22].

## 2.2 - Medição da Eficiência

A medição do consumo de energia de um processo permite avaliar os potenciais de otimização, bem como a visualização dos benefícios decorrentes das medidas de melhoria. A aplicação de indicadores de eficiência energética depende da finalidade e contexto aos quais serão aplicados. Normalmente os indicadores são rácios que descrevem a relação entre uma atividade e a energia necessária para a sua realização. Na indústria, os processos industriais ligados à produção de um produto, podem ser descritos em termos económicos ou físicos. Os indicadores económicos são úteis para um nível agregado, para a comparação de diferentes setores. No entanto, para se obterem informações específicas sobre os processos de produção, os indicadores físicos são os mais adequados. A intensidade energética (IE) e o consumo específico de energia (SEC) são alguns indicadores típicos. O indicador IE é definido como a razão entre o consumo energético, com o produto interno bruto (PIB). Devido à variedade e complexidade dos processos industriais, existe uma multiplicidade de indicadores estruturais e explicativos, por exemplo, indicadores projetados para um específico e determinado setor industrial. Deve-se ter especial cuidado quando se compara a eficiência energética a nível internacional e também quando se compara diferentes indústrias, setores e empresas. Os resultados da comparação podem variar fortemente em função do consumo de energia.

A Agência Internacional de Energia fornece ferramentas com base em indicadores numa pirâmide hierarquizada. Não existe eficiência energética apenas na análise de um único indicador, mas sim num conjunto de indicadores que devem ser definidos em função da decisão a ser tomada ou da ferramenta a ser aplicada. Os agentes políticos estão focalizados para a medição da eficiência energética a nível nacional e internacional. Muitos países começaram a desenvolver na década de 1970, indicadores de eficiência energética de comparação internacional, motivados pela preocupação sobre os limites dos recursos energéticos. A aceitação mundial de um conjunto de indicadores também tem sido bastante discutida. Embora vários estudos tenham sido realizados sobre indicadores de eficiência energética a nível nacional ou setorial, existe um número limitado de estudos sobre uma empresa ou um processo [22].

**Tabela 2.1 - Indicadores de Eficiência Energética [22]**

Referência	Indicador	Tipo de Indicador	Aplicação
Phylipsen et al, 1997	Intensidade de energia	Económico	Nível agregado
	Consumo específico de energia	Físico	Nível desagregado
Irrek and Thomas, 2006	Intensidade de energia	Macroeconómico	Nível agregado
	Grau de eficiência	Engenharia	Nível agregado
Patterson, 1996	Melhoria da Eficiência de energia final	Físico	nível nacional
	Eficiência de energia termodinâmica	Termodinâmico	As medições derivadas da ciência da termodinâmica
	Eficiência energética Físico-termodinâmica	Híbrido	Medir o serviço ou a entrega do processo
	eficiência energética económico-termodinâmica	Híbrido	Medir o serviço ou a entrega do processo
Farla et al., 1997	Eficiência energética económica	Económico	Medir em termos de valor de mercado
	Medição de eficiência energética	Económico	Atividade de um sector
IEA, 2008a	Consumo específico de energia	Físico	Nível do processo, a comparação
	Eficiência de energia térmica do equipamento	Físico	Para o equipamento único
	Intensidade do consumo de energia	Físico	Mais ampla do indicador térmico: empresas, etc.
	Quantidade absoluta de consumo de energia	Físico	Com indicação dos volumes de produção
IEA, 2007a	Taxas de difusão de equipamento	Físico	Com foco em tecnologia de energia específica eficiente
	Intensidade de energia industrial	Físico	Comparação de dados de eficiência de um nível subsector entre os países
	Consumo específico de energia	Físico	nível setorial

## 2.3 - Controlo e Melhoria da Eficiência

A monitorização e as auditorias de eficiência energética são muito importantes para a gestão de energia, uma vez que permitem aos agentes de decisão identificar oportunidades de melhoria e acompanhar os efeitos das suas decisões sobre o uso de energia.

O constante monitorização e análise do consumo de energia das máquinas nos processos produtivos é o primeiro passo para a eficiência energética. Além disso, a monitorização do consumo de energia da empresa mostra se a poupança da energia está ou não a ser alcançada conforme o previsto.

A monitorização ajuda a identificar os processos de maior consumo de energia. As auditorias energéticas levam a uma melhoria da eficiência.

No entanto, os programas de auditoria, não conduzem automaticamente a altas taxas de desempenho. Devido a razões económicas, financeiras e institucionais das empresas, levam a que estas não adotem as considerações nem os projetos que foram recomendados pelos programas de auditoria energética. Quarenta a cinquenta por cento das medidas de eficiência energética são adotadas, entre as quais, medidas na área da ventilação do espaço, aquecimento, iluminação, motores, compressores de vapor e/ou recuperação de calor. Os recursos financeiros e a falta de informação são barreiras determinantes para o investimento na eficiência energética.

Os balanços de energia são outra importante ferramenta. Eles mostram a entrada e a saída de energia assim como a falta dela nos processos de produção. A monitorização da energia nas máquinas é uma parte importante da monitorização em geral, uma vez que ajuda a entender, caracterizar e reduzir a energia utilizada no processo de fabrico. Além disso a utilização de sensores e dispositivos inteligentes no processo de medição, fornece aos agentes decisores dados quase em tempo real. Essas novas tecnologias permitem monitorizar de forma precisa, fornecendo assim uma base substancial de informação para a produção e para a sua gestão. A monitorização do uso de energia num nível de processo é um pré-requisito para a visualização, que apoia a avaliação e a tomada de decisão sobre medidas de eficiência energética.

Mesmo com um mecanismo de controlo eficaz, os gestores podem ter dificuldades na avaliação do impacto e dos efeitos da melhoria da eficiência energética, por causa da falta de conceitos apropriados para a avaliação. A implementação de medidas de eficiência energética poderia ser melhorada através da simplificação e rapidez dos processos burocráticos. As ferramentas de apoio à decisão têm de ser adequadas. A base para a avaliação da eficiência energética é a definição e desenvolvimento de indicadores adequados assim como de mecanismos de monitorização.

Existem ferramentas de gestão disponíveis, entre as quais, ferramentas ambientais, de contabilidade, ferramentas que suportam a decisão através do custo ambiental e físico, os fluxos ambientais também incluem aspetos energéticos. Alguns modelos frisam a complexidade da visualização da gestão da produção, considerando aspetos do ciclo de vida do produto e o aumento da transparência das informações, para a tomada de decisão no planeamento da produção ou para incluir os custos ambientais e de poupança no apoio às decisões de investimento. Além disso, existe também abordagens para aumentar a gestão da produção, de modo a contribuir para a sustentabilidade e eficiência energética.

A integração bem-sucedida dos aspetos de eficiência energética no processo da tomada de decisão exige ter em conta avaliação económica. Podem ser aplicados cálculos de

rentabilidade, o método do valor atual líquido, o método da taxa interna de retorno. As empresas podem também calcular o período de retorno, aquando da decisão sobre os investimentos em eficiência energética. Reduções fiscais, benefícios adicionais de produtividade, poderiam ser levados em conta, para uma avaliação económica mais abrangente sobre as medidas de eficiência energética [22].

## 2.4 - Sistemas de Informação e Gestão

As tecnologias de informação e comunicação podem ajudar a gerir e reduzir o consumo de energia nos processos industriais de produção. Podem apoiar o controlo dos processos de produção, bem como a análise e avaliação do potencial económico dos investimentos de energia. Estudos recentes sublinham o papel das tecnologias de informação e comunicação para a eficiência energética e para a redução de emissões de CO<sub>2</sub>. Existem muitos sistemas diferentes de infraestruturas de tecnologias de informação e comunicação, tais como, empresas de planeamento de recursos, sistemas de execução da produção, relacionamento com o cliente, gestão de sistemas e soluções de gestão do ciclo de vida do produto. Em muitos setores as tecnologias de informação e comunicação desempenham um papel central para a redução dos custos energéticos e emissões de CO<sub>2</sub>.

A Comunidade Europeia destaca a importância crescente das tecnologias de informação e comunicação para a eficiência energética na produção, com especial incidência sobre redes de sensores e atuadores, componentes inteligentes, sistemas de monitorização de ativos e avançados algoritmos de programação. Engenharia de produção tem de ser melhorada, com vista a apoiar as organizações na redução das suas despesas de energia e nas emissões de CO<sub>2</sub>. Além disso existem abordagens para incorporar parâmetros de sustentabilidade e parâmetros de uso de energia, metodologia de simulação de eventos para multicritério de apoio à decisão no planeamento da produção.

Ao integrar a eficiência energética em sistemas de tecnologias de informação e comunicação para a gestão da produção, tem de se ter atenção às interfaces entre os diferentes sistemas. A cultura da empresa, a educação e o treino dos funcionários são fatores a ter em conta na consideração de uma aplicação bem conseguida das tecnologias de informação e comunicação [22].

## 2.5 - Standards de Eficiência na Indústria

As normas de gestão de sistemas visam aumentar o desempenho da eficiência energética de uma empresa, pela melhoria dos processos existentes de organização. A uniformização aumenta a transparência dos processos das empresas e pode mais facilmente avaliar o compromisso de uma empresa para melhorar o seu desempenho ambiental. Diversos padrões nacionais para a gestão de energia já existem há vários anos (por exemplo, na Irlanda, Coreia, EUA, Espanha, Tailândia, Dinamarca e Suécia). A norma europeia EN16001 para sistemas de gestão de energia foi lançada em 2009 pelo Comité Europeu de Normalização (CEN). Daí resulta a abordagem do *Plan-Do-Check-Act*, que apoia a integração de considerações do consumo de energia de todas as atividades de uma empresa. A norma fornece um quadro para a poupança de energia e orientações práticas para o gestor de energia. Além disso a Organização Internacional para a Padronização (ISO) lançou em 2011

uma nova norma de gestão efetiva de energia ISO 50001. A padronização também será compatível para a gestão da qualidade ISO 9001 e ambiental ISO 14001, uma vez que inclui um mecanismo de melhoria contínua. É esperado que padronização aumente a eficiência energética no setor industrial, comercial e institucional.

Pouco se sabe sobre a adequação e eficácia das normas nacionais e internacionais para a gestão de energia. No entanto existem vários estudos sobre os benefícios de uma aplicação bem-sucedida de EMS (*Environmental Management Standard*). Quando se trata das vantagens ou desvantagens da sua certificação, alguns aspetos podem ser mencionados: por um lado, a certificação minimiza a variação do EMS e fornece orientações sobre como o adotar, por outro lado, as empresas sem certificação podem ter mais flexibilidade e podem implementar uma gestão ambiental a vários níveis. Uma limitação importante da certificação energética, é que não avalia o desempenho ambiental real de uma empresa, mas assume que a empresa reduz os seus impactos ambientais de forma eficiente. Além disso também existem obstáculos para a certificação das empresas, tais como os altos custos de certificação e a falta de recursos disponíveis nas empresas. Estas barreiras são mais evidentes nas PME (pequenas e médias empresas), uma vez que faltam recursos financeiros e humanos para atenderem os requisitos da implementação e certificação dos sistemas de gestão de energia. Uma maneira de promover a certificação para as PME é certificá-las em *cluster*, ajudando assim a superarem-se as barreiras para a certificação.

Em geral, as normas de gestão de energia podem apoiar significativamente a gestão da energia na produção. Podem contribuir para a criação, medição e controlo contínuo de mecanismos de melhoria da eficiência energética. Os estudos sobre a gestão de energia estão disponíveis, podendo-se assim avaliar se as normas satisfazem as necessidades das empresas, na área da gestão de energia na produção [22].

## 2.6 - Software de Gestão de Energia

- **Energy Brain**

O *Energy Brain* é um *software* desenvolvido pela *Electrex* que tem como função realizar a contagem e a gestão do consumo de energia. Esta aplicação trabalha com os analisadores e contadores *Electrex* que possuam uma porta de comunicação e dispõe de todas as funções necessárias para uma total monitorização dos consumos de energia. A análise de conteúdo harmónico, formas de onda e visualização de diagramas vetoriais poderá ser efetuada utilizando a gama de analisadores X3M [18].

Esta solução tem como principal objetivo a divisão de custos de consumo de energia, o que permite que as empresas possam verificar e efetuar a respetiva imputação de custos a cada departamento para programação dos ciclos de produção, obtendo uma verdadeira vantagem económica.

O *Energy Brain* apresenta-se como um sistema para aquisição e simulação de dados de energia elétrica, em que os principais objetivos do seu sistema são [17]:

- Análise da fatura da energia - otimização do contrato de aquisição de energia.



- Localização de *downloads*.
- Agenda.
- Gráficos.
- Registo de eventos.
- Configuração de tarifas.
- Canais virtuais e fórmulas.
- Edição de tarifas.

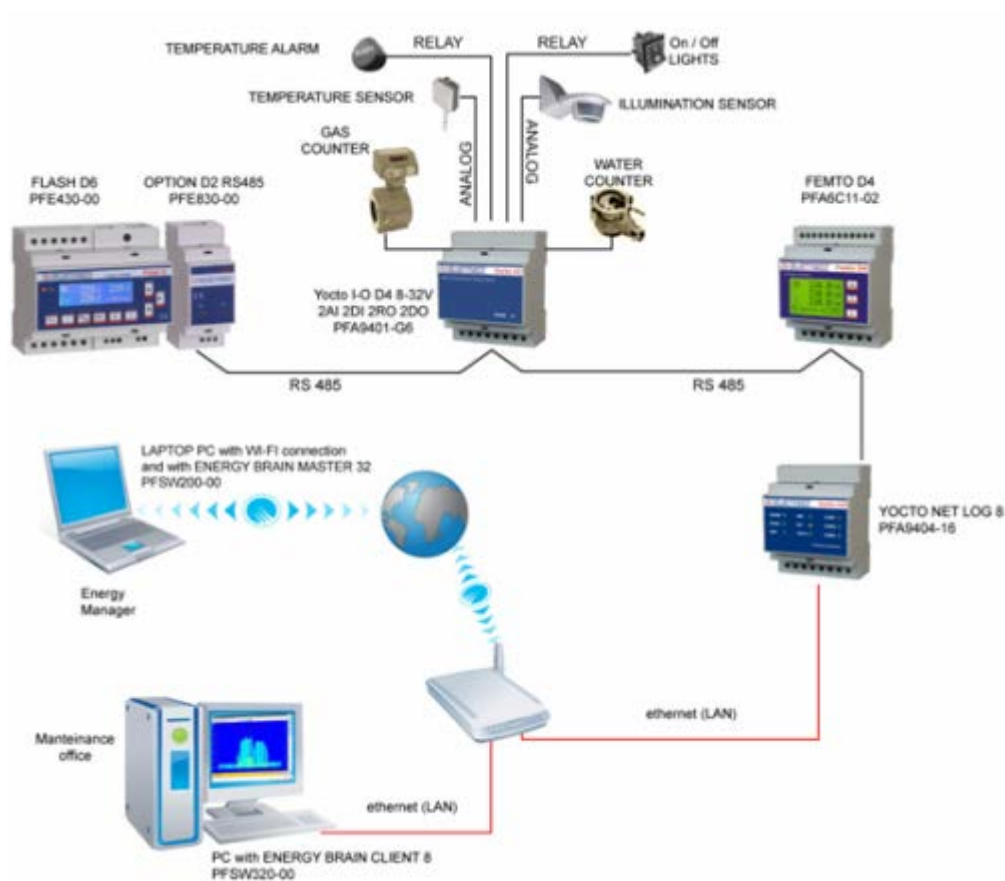


Figura 2.3 - Módulos do *Energy Brain* [19].

Este sistema possui inúmeras potencialidades tais como [16]:

- Controlo remoto através da recolha de dados calendarizados.
- Monitorização de energia ativa, energia reativa, potência aparente e fator de potência.
- Relatórios diários dos consumos divididos pelas tarifas horárias.
- Relatórios mensais dos consumos divididos pelas tarifas horárias.
- Relatórios de “picos” de potência pelas tarifas horárias.
- Gráficos de perfil de cargas com intervalos de 15 minutos.
- Gráficos de consumos com intervalos de 1 hora.

- Impressão de gráficos ou exportação em ficheiros formato CSV.
- Gráficos editáveis para adição de informações adicionais como luminosidade, temperatura, entre outros.
- Possibilidade de criação de canais virtuais e canais para transmissão de dados de impulsos.
- Exibição de dados de um ou de múltiplos instrumentos.
- Criação de fórmulas para análise de dados (custos com energia, divisão por centros de custo, médias, etc.).
- Editor para calendário e adequação de tarifas
- Gravação de eventos e qualidade de energia (cavas, sobretensões e abaixamentos de tensão) para os equipamentos da família X3M.
- Configuração de equipamentos e rede.
- Criação e envio para um endereço de correio eletrónico automaticamente de um relatório *Excel* com os consumos mensais e perfis de dados (gráficos com detalhes diários mais sumário mensal) e com as leituras detalhadas com indicação de tempo para cada intervalo.
- Criação e envio de uma mensagem de *correio* eletrónico com o estado dos canais e anomalias durante o *download* dos dados.
- Criação de um relatório com os valores de contagem da energia (kWh e kVarh) de todos os contadores de uma determinada localização, em formato HTML e CSV.



**Figura 2.4** - Analisador X3M [19].

Para a parte elétrica, além do consumo e, conseqüentemente, os custos decorrentes, podem-se também obter informações sobre processos de trabalho e eficiência das máquinas. O consumo de energia ativa é, de facto, um indicador do trabalho real, logo, a curva de

consumo corresponderá também à curva relativa à eficiência. Se a componente reativa for superior à componente ativa, os motores estão a trabalhar mas não estão a produzir.

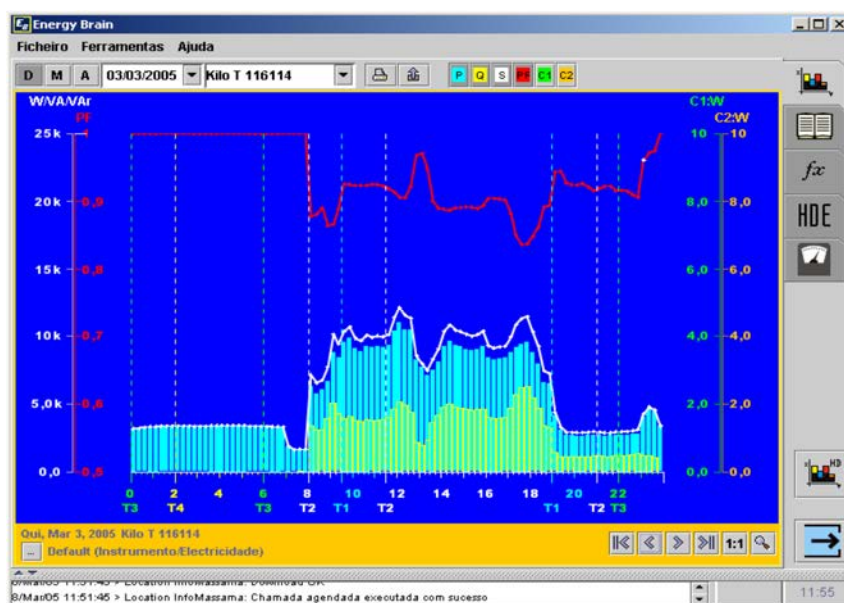


Figura 2.5 - Exemplo de diagramas de carga diários do *Energy Brain* [19].

As análises diárias podem proporcionar análises mais detalhadas e identificar comportamentos anormais em termos do consumo energético nas diferentes instalações monitorizadas [16].

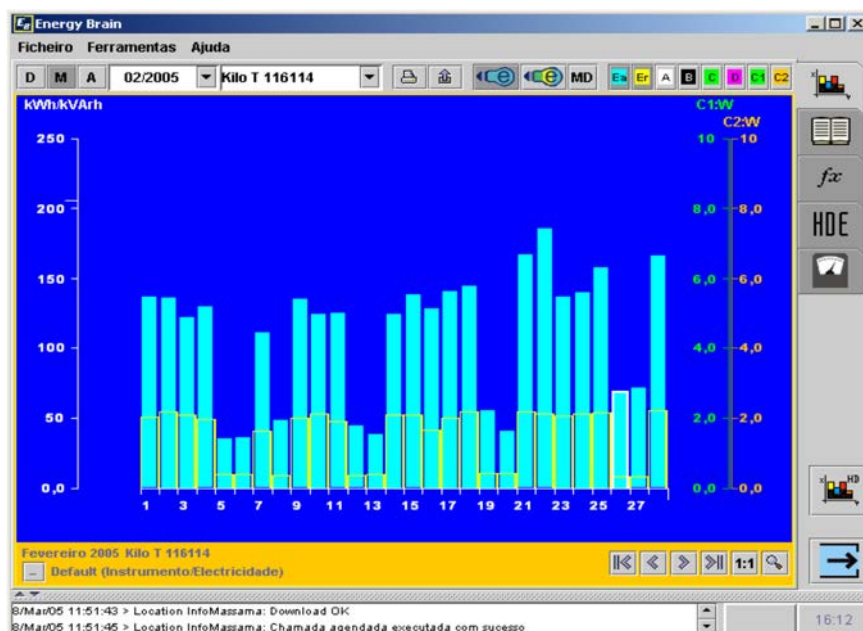


Figura 2.6 - Exemplo de um gráfico de consumo de energia ativa e reativa com detalhe diário, utilizando o *Energy Brain* [19].

- ***Circutor (Power Studio Scada)***

O *Power Studio Scada* é um *software* poderoso mas simples, que pode ser usado para estudos de energia a um nível elevado. Permite uma supervisão completa através de analisadores de energia e o completo controlo de diferentes magnitudes na área de processos industriais [23].

- ***Elipse Power***

O *Elipse Power* é uma solução para a gestão de sistemas industriais, onde a energia elétrica seja utilizada de forma intensiva e a sua disponibilidade e qualidade sejam fatores essenciais no processo produtivo. O *Elipse Power* possui ferramentas seguras, rápidas e de fácil utilização para o desenvolvimento e implantação de aplicações de supervisão e controlo de subestações e geradores de energia.

O *Elipse Power* possui todas as funcionalidades *SCADA* que grandes instalações de geração e transmissão de energia requerem: sistema de gestão de alarmes, sequência de eventos, arquitetura totalmente redundante, processamento distribuído, registo histórico de todas as variáveis monitorizadas, estrutura cliente/servidor, geração de relatórios, etc. além destas funcionalidades *SCADA*, o *Elipse Power* tem um conjunto de aplicações elétricas que ajudam os operadores a manter uma operação segura e eficiente, além de oferecer uma ferramenta completa para a simulação, análise e treino. Com o *Elipse Power* é possível [20]:

- Criar alarmes em tempo real.
- Identificar e corrigir erros em medições elétricas, reduzindo assim o risco de decisões baseadas em informações erradas (Estimador de Estado).
- Controlar o fluxo de potência reativa, minimizando a circulação de corrente e controlando a tensão no sistema.
- Criar, editar e executar procedimentos operativos.
- Realizar análises de curto prazo sobre o impacto de manobras programadas, usando o estado atual do sistema como base.
- Treinar operadores com a ajuda de ferramentas de simulação integradas ao mesmo sistema *SCADA* utilizado pelo centro de controlo.
- Utilizar o módulo *playback* para reduzir o que o operador havia constatado durante a ocorrência de um evento e investigar possíveis falhas de operação.
- Manter atualizado o banco de dados do sistema elétrico e compatível com a norma IEC 61970 - *Common Information Model* (CIM).

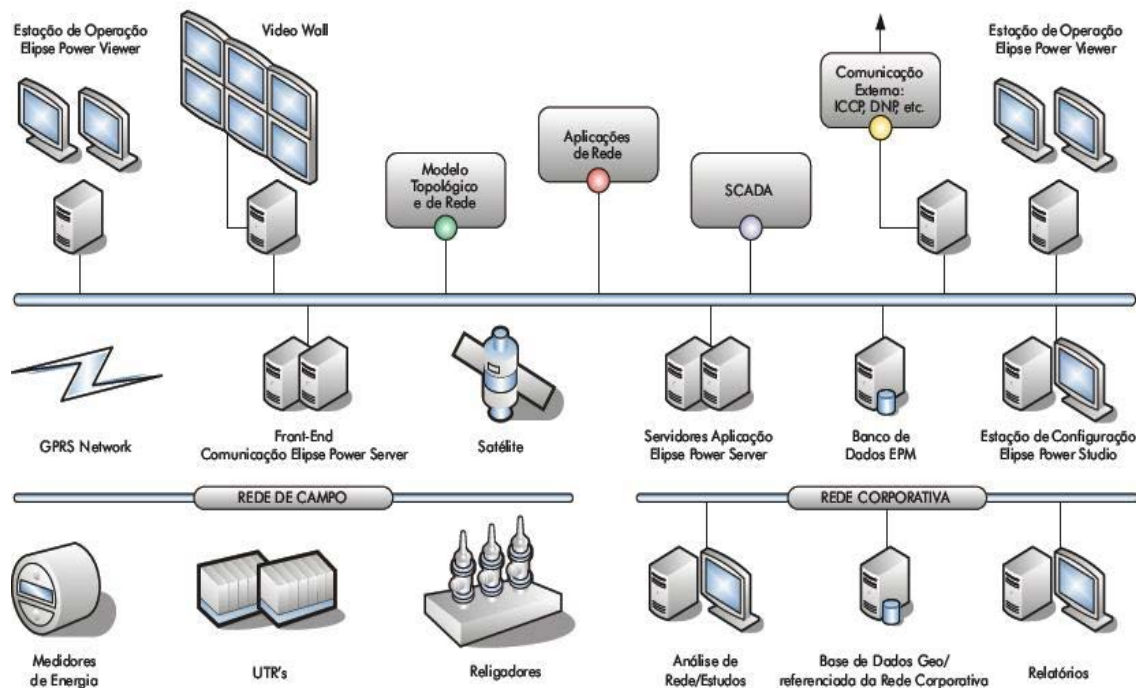


Figura 2.7 - Arquitetura do *Elipse Power* [20].

A figura 2.7 mostra a arquitetura *Elipse Power*.

- **PowerView**

O *PowerView* é um software para gestão, controlo e análise de consumos de energia elétrica. É possível gerir custos provenientes do perfil de consumo energético em diversos pontos do processo produtivo ou de instalações.

O *PowerView* é um *software* de fácil de utilizar, é uma solução de monitorização de energia ideal para aplicações em sistemas de pequeno porte. As empresas procuram soluções inovadoras para reduzirem os custos relacionados com a energia e para otimizarem o uso dos seus equipamentos. O *software* pertence a acompanhar em tempo real as condições de alimentação [21]. As suas principais aplicações são:

- Faz as leituras e registos das grandezas medidas.
- Visualiza as medições em tempo real.
- Parametriza a carga tributária para geração de faturas.
- Seleciona intervalos de registos.
- Visualiza o histórico de registos.
- Gera e imprime relatórios das grandezas registadas.
- Exporta relatórios e gráficos.
- Gera gráficos e imprime as grandezas registadas.
- Simula o melhor enquadramento tarifário.
- Gera e imprime relatórios de falhas de comunicação.
- Parametriza os equipamentos da rede.
- Configura horário de verão.

- Configura feriados fixos e móveis.
- Comunica via rede *Ethernet*, porta COM (RS485/RS232) e porta USB (RS485/USB).
- Verifica o perfeito funcionamento dos equipamentos da rede.
- Gera e imprime o relatório de consumo de energia diário.
- Permite efetuar cópia de segurança do banco de dados.
- Possibilita comparar duas grandezas no mesmo gráfico através de um eixo secundário.
- Etc...

O *PowerView* define-se como uma solução económica de monitorização de energia.

## 2.7 - Conclusões

A energia é um recurso fundamental no desenvolvimento económico e social, que tem sofrido um aumento sustentado do seu custo o que, associado às crescentes preocupações ambientais leva cada vez mais, à adoção de medidas de eficiência energética por parte dos promotores e proprietários de edifícios, indústrias ou outras instalações consumidoras de energia. O aumento da eficiência energética e a identificação das oportunidades de redução de custos com a energia é efetuado através da gestão e monitorização dos consumos de energia.

A descentralização da produção de energia provoca uma reforçada importância na gestão de energia, pois introduz um “*mix*” energético consumido que deve ser controlado e otimizado. O controlo do consumo de energia revela-se também uma ferramenta essencial para assegurar uma maior racionalidade no seu uso, tendo grande impacto na estrutura de custos das empresas e, conseqüentemente, na sua competitividade [16].

A liberalização do mercado da energia elétrica traz obviamente novas oportunidades para a redução de custos. Mas para uma negociação fundamentada com os novos operadores, é indispensável saber o que se compra, simular alterações de consumos, calculando o seu impacto na fatura mensal e, desta forma, estabelecer a estratégia que permitirá uma redução contínua da fatura energética [17].

Os sistemas de gestão de energia são *software*, onde se analisa e otimiza a utilização de energia. Estes sistemas são compostos por formulação matemática que modeliza e estima os seus parâmetros. Como foi visto os sistemas de gestão são muito semelhantes nas suas potencialidades e características.



# Capítulo 3

## Metodologia

### 3.1 - Introdução

Este presente capítulo descreve o problema em questão, incluindo a metodologia utilizada para o seu tratamento, assim como a formulação matemática utilizada bem como a explicação de todos os passos realizados na construção do modelo.

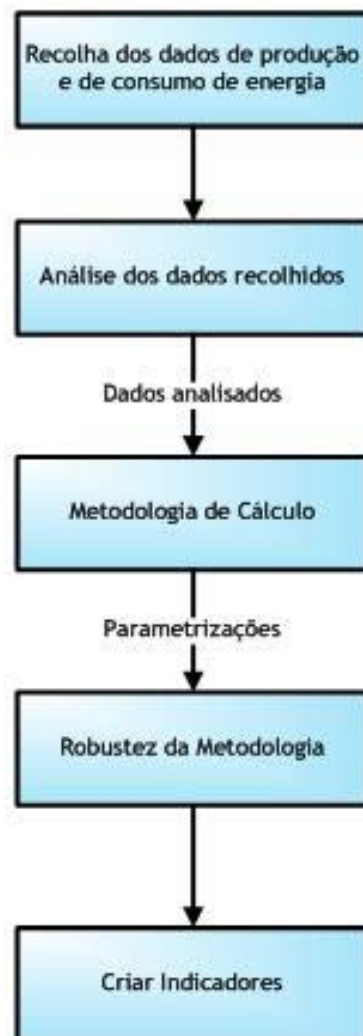
O objetivo deste estudo consiste na caracterização dos processos industriais para deste modo ser realizado um mapeamento das parametrizações do mesmo com vista à construção do modelo que caracterize uma grande parte de processos industriais reais.

Inicialmente é feito um fluxograma onde estão todas as etapas do modelo. É feita também uma explicação de todas as etapas do modelo, assim como todas as considerações do mesmo.

### 3.2 - Etapas Desenvolvidas

Tal como foi referido na introdução deste capítulo, é feito um histograma das etapas do modelo que está a ser construído, sendo explicados todas as etapas do processo.

Esse fluxograma encontra-se representado na figura seguinte:



**Figura 3.1** - Fluxograma das etapas seguidas no desenvolvimento do modelo.

Cada uma das etapas do fluxograma é analisado e explicado nas secções abaixo.

Este fluxograma mostra as diferentes etapas do modelo a utilizar no estudo dos casos reais, referidos no capítulo 4.

Esta técnica de representação gráfica permite a descrição clara e precisa do fluxo, ou sequência de um processo, bem como a sua análise [14].

### 3.3 - Objetivos do Modelo a Desenvolver

O sistema foi desenvolvido com a finalidade de criar um procedimento específico de medição e monitorização dos consumos energéticos inerentes da produção realizada.

Este sistema deve proceder ao mapeamento de soluções otimizadas função das diversas variáveis de fluxos de materiais, fluxos energéticos e variáveis de ambiente de processo.

Segundo o que foi anteriormente referido, os objetivos a alcançar são:

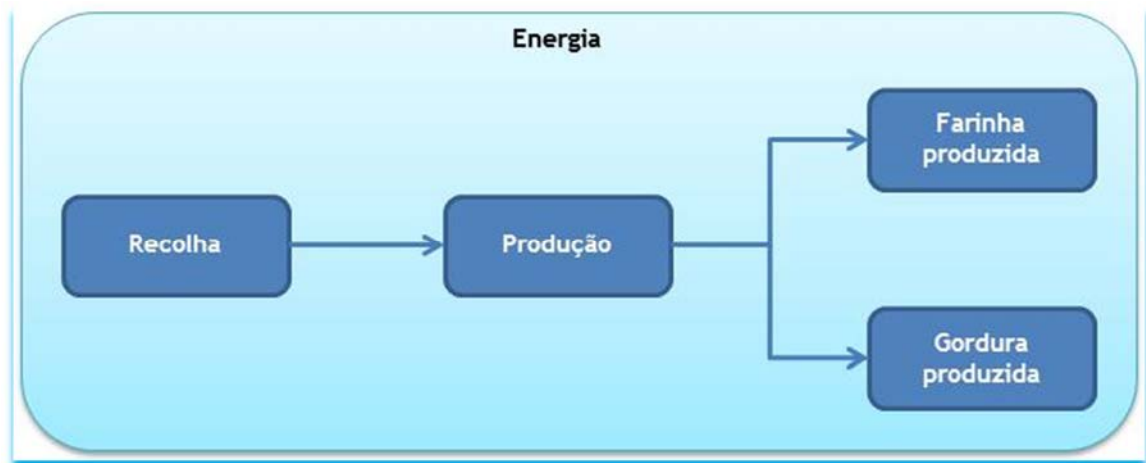
- O modelo deverá ser de fácil implementação;
- As parametrizações resultantes das relações entre as variáveis deverão ser muito fidedignas e caracterizarem com muito pormenor as variáveis envolvidas;
- O modelo deve ser robusto e adaptável a muitos processos industriais reais.

Estes objetivos levam a que se pretenda um modelo fiável, otimizado e robusto que permita caracterizar um diverso número de processos industriais reais.

### 3.4 - Recolha dos dados de Produção e Energia

Para desenvolver este modelo, foram utilizadas mapas de produção e séries de consumos da empresa Savinor, referentes ao período de tempo entre Maio de 2011 e Janeiro de 2012.

Na produção, a Savinor tem duas variáveis, a produção de farinha e a produção de gordura. Estes dados de produção são fornecidos pela empresa. Quanto aos dados de energia, estes podem ser lidos através dos aparelhos de medida instalados.



**Figura 3.2** - Caracterização das etapas desde a recolha até à produção de farinha e gordura.

De notar que a energia está a ser registada ao longo do processo. E é disponibilizada hora a hora na base de dados do sistema de registo da energia.

Estes dados podem ser fornecidos pela empresa, uma vez que entidades exteriores podem não ter acesso a esses dados, por questões de protocolos e de concorrência no mercado. Estes dados são guardados em plataformas internas e como tal tem de se pedir autorização e acesso através aos responsáveis que gerem e monitorizam este serviço nas empresas.

### 3.5 - Análise das séries de dados

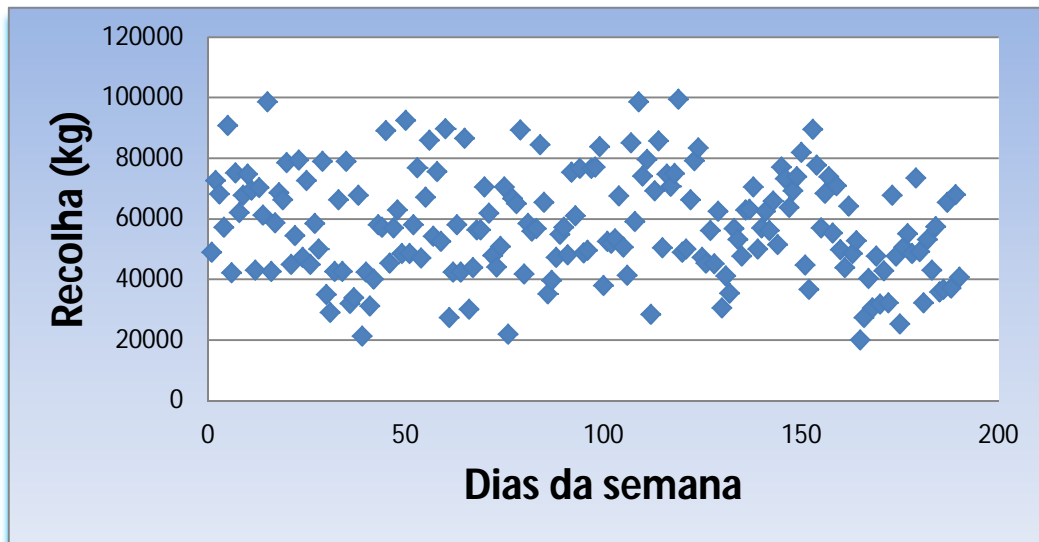
Estes dados de energia podem ser fornecidos, o que acontece usualmente, ou podem ser lidos nos aparelhos de medida que o sistema de gestão de energia possui e guardados no sistema de gestão de energia que a empresa possui. A Savinor efetua recolha de subproduto, que posteriormente é transformado em farinha e/ou gordura. Então é necessário identificar quais as variáveis que estão associadas à produção, de acordo com a figura 3.2:

- Recolha;

- Produção de farinha;
- Produção de gordura;
- Energia.

Uma variável muito importante para a produção é a recolha de subproduto, uma vez que se esta variável for zero, então não existe produção, por falta de matéria-prima.

Analisando a recolha de subproduto, nomeadamente de peixe:



**Figura 3.3** - Evolução da recolha nos dias da semana.

Analisando a evolução da recolha é possível verificar a existência de um padrão na recolha efetuada. Não existe nenhuma tendência em função do dia da semana.

Pode-se constatar a existência de um valor mínimo da recolha, próximo dos 20000 Kg e um valor máximo de recolha na ordem dos 100000 Kg.

Quanto à análise dos dados de produção, consiste numa listagem, onde conste toda a diversa produção efetuada num determinado período de tempo (quanto maior esse período de tempo, melhor será posteriormente todas as parametrizações do modelo, uma vez que o erro associado a quando do modelo de regressão estará minimizado). A listagem dos dados de produção deve conter a hora de início e de fim de fabrico desse produto, para deste modo se poder cruzar esta informação com os dados de energia nesse período e se saber qual a quantidade energia utilizada na elaboração ou fabrico desse processo industrial.

A quantidade de energia utilizada na realização desse processo industrial pode ser calculada pela seguinte fórmula:

$$\text{Energia do processo} = \sum_1^t E_i \quad , \quad (3.1)$$

Em que se efetua o somatório de toda a energia medida durante o tempo em que esse processo decorrer.

As séries do consumo de energia e de produção são analisadas e trabalhadas apenas nos dias em que existe produção de farinha ou gordura. Na Savinor a semana de trabalho é de terça-feira a sábado, uma vez que ao domingo não se trabalha e a segunda-feira +é destinada a ações de limpeza e manutenção.

### 3.6 - Metodologia de Cálculo

A análise de regressão é uma das técnicas mais utilizadas para analisar dados [15]. O objetivo, a finalidade dos modelos de regressão é caracterizar uma ou várias variáveis de interesse (objetivo) em função de outras variáveis (explicadoras).

De modo a relacionar todas as variáveis envolvidas no processo produtivo tem de se proceder à realização de parametrizações que caracterizem as variáveis envolvidas.

Para se encontrarem as parametrizações das variáveis em função de outras, pode ser utilizado o Método dos Mínimos Quadrados. Este método é uma técnica de otimização matemática que procura encontrar o melhor ajuste para um conjunto de dados, tentando minimizar a soma dos quadrados das diferenças entre o valor estimado e os dados observados (estas diferenças são chamadas de resíduos).

- **Regressão simples**

Quer-se estimar valores de determinada variável  $y$ . Para isso, considera-se os valores de outra variável  $x$  que acredita-se ter explicação sobre  $y$  e conforme a fórmula:

$$y = \alpha + \beta x + \varepsilon , \quad (3.2)$$

Onde:

- $\alpha$ : é o parâmetro do modelo, chamado de constante (porque não depende de  $x$ ).
- $\beta$ : é o parâmetro do modelo chamado de coeficiente da variável  $x$ .
- $\varepsilon$ : erro - representa a variação de  $y$  que não é explicada pelo modelo.

Efetuada uma alteração de notação de algumas variáveis e dos parâmetros, temos:

$$y = a + bx_i + e_i , \quad (3.3)$$

Onde  $i$  indica cada uma das  $n$  observações da base de dados e  $e_i$  passa a ser chamado de resíduo.

O método dos mínimos quadrados minimiza a soma dos quadrados dos resíduos, ou seja, minimiza:

$$\sum_{i=1}^n e_i^2 , \quad (3.4)$$

A ideia inerente a esta técnica é que minimizando a soma do quadrado dos resíduos, encontra-se a e b que implicarão a menor diferença entre a previsão de y, e o y realmente observado.

Substituindo  $e_i$  por  $y_i - a - bx_i$ , temos:

$$S(a,b) = \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2, \quad (3.5)$$

Ao se derivar S(a,b) em relação a a e b e igualando a zero, obtém-se:

$$\frac{dS}{da} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i) = 0, \quad (3.6)$$

$$\frac{dS}{db} = -2 \sum_{i=1}^n x_i (y_i - a - bx_i) = 0, \quad (3.7)$$

Distribuindo e dividindo a primeira expressão por 2n fica-se:

$$\frac{-2 \sum_{i=1}^n y_i}{2n} - \frac{-2 \sum_{i=1}^n a}{2n} - \frac{-2 \sum_{i=1}^n bx_i}{2n} = 0, \quad (3.8)$$

Resolvendo a equação anterior obtém-se:

$$a = \bar{y} - b\bar{x}, \quad (3.9)$$

Onde  $\bar{y}$  é a média amostral de y e  $\bar{x}$  é a média amostral de x.

Substituindo o resultado da equação (3.9) na equação (3.7) obtém-se a seguinte expressão:

$$\begin{aligned} -2 \sum_{i=1}^n x_i (y_i - \bar{y} + b\bar{x} - bx_i) &= 0 \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow \sum_{i=1}^n [x_i (y_i - \bar{y}) + bx_i (\bar{x} - x_i)] &= 0 \Leftrightarrow \end{aligned}$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i (y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})}, \quad (3.10)$$

O método dos mínimos quadrados assume algumas premissas em relação às variáveis [25]:

- O Erro é aleatório com média 0: o erro  $\epsilon$  é aleatório e a sua esperança  $E(\epsilon) = 0$ .
- Homoscedasticidade: a variância do erro é constante.
- Sem correlação: não existe correlação entre os erros das observações, ou seja,  $E(\epsilon_i \epsilon_j) = 0$  para qualquer  $i \neq j$ .
- Parâmetros não constantes:  $\alpha$  e  $\beta$  são valores fixos desconhecidos.
- Modelo é linear: os dados da variável dependente  $y$  foram gerados pelo processo linear  $y = X\beta + \epsilon$ .
- Erro tem distribuição normal: o erro é distribuído conforme a curva da distribuição normal.

Dadas as considerações e as fórmulas necessárias para as parametrizações pelo método dos mínimos quadrados há que saber a que variáveis se irá aplicar este método.

Então num processo produtivo em geral temos:

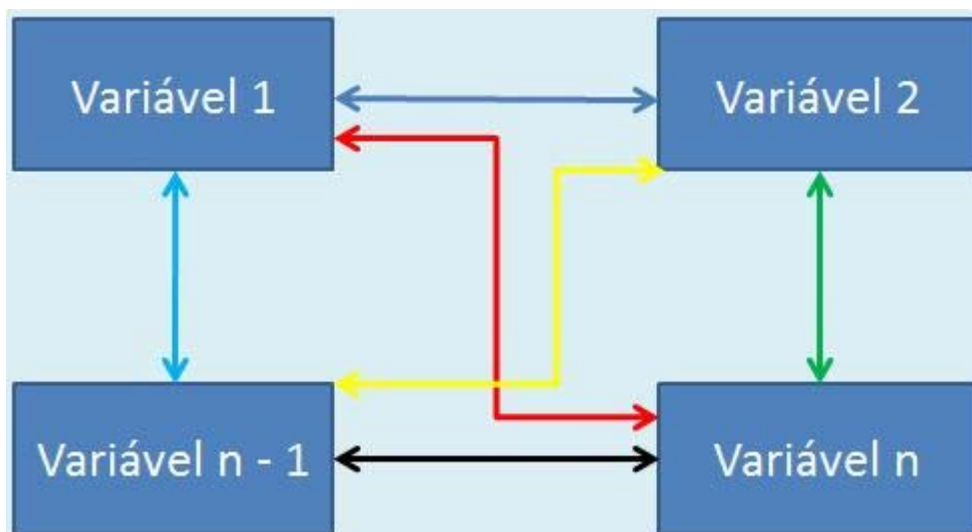


Figura 3.4 - Variáveis relacionadas de um processo industrial.

As fórmulas dessas relações são:

$$\hat{V}_2 = f(v_1), \quad (3.11)$$

$$\hat{V}_{n-1} = f(v_1), \quad (3.12)$$

$$\hat{V}_n = f(v_1), \quad (3.13)$$

$$\hat{V}_2 = f(v_{n-1}), \quad (3.14)$$

$$\hat{V}_n = f(v_{n-1}), \quad (3.15)$$

$$\hat{V}_n = f(v_2), \quad (3.16)$$

Aplicando ao caso da Savinor, temos as seguintes relações de variáveis:

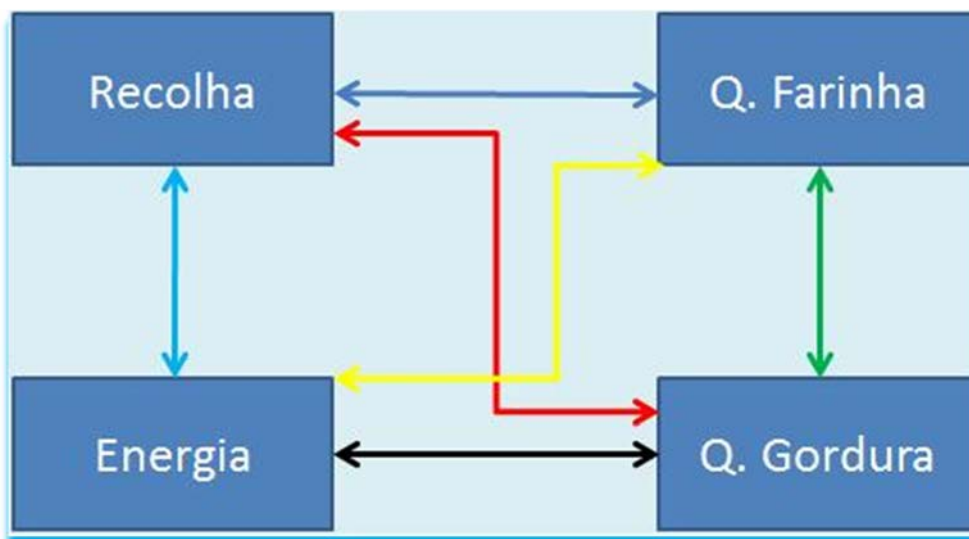


Figura 3.5 - Variáveis do processo produtivo da Savinor.

Então de acordo com as expressões (3.11 à 3.16), aplicadas ao caso da Savinor obtém-se as seguintes variáveis em função de outras:

$$\hat{V}_{Q. Farinha} = f(recolha)$$

$$\hat{V}_{energia} = f(recolha)$$

$$\hat{V}_{Q. Gordura} = f(recolha)$$

$$\hat{V}_{Q. Farinha} = f(energia)$$

$$\hat{V}_{Q.Gordura} = f(energia)$$

$$\hat{V}_{Q.Gordura} = f(q.farinha)$$

Em que,  $\hat{V}$  é o valor estimado da variável representada pelo seu índice em função outra variável.

Executando a método dos mínimos quadrados e de acordo com a fórmula (3.3) obtém-se as seguintes parametrizações:

$$\hat{V}_{Q.Farinha} = c(recolha) + d$$

$$\hat{V}_{energia} = g(recolha) + f$$

$$\hat{V}_{Q.Gordura} = h(recolha) + i$$

$$\hat{V}_{Q.Farinha} = k(energia) + j$$

$$\hat{V}_{Q.Gordura} = l(energia) + m$$

$$\hat{V}_{Q.Gordura} = n(q.farinha) + p$$

Apresentaram-se os valores dos parâmetros em forma de letras (forma geral), os valores numéricos estão mencionados no capítulo seguinte, na análise de dados da Savinor.

### 3.7 - Robustez da Metodologia

Antes de se passar propriamente para a análise da robustez, é necessário efetuar-se uma análise do resíduo das parametrizações realizadas anteriormente e analisar o seu histograma do resíduo.

A análise do resíduo é um passo muito importante no modelo. O valor do resíduo resulta da equação (3.17):

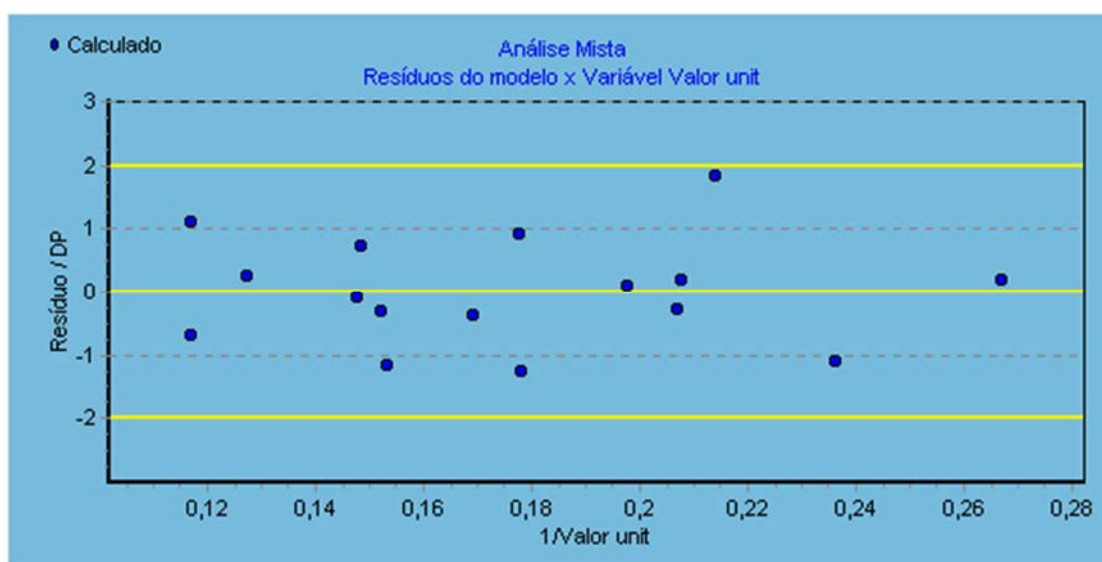
$$e_i = y_i - \hat{y}_i, \quad (3.17)$$

Como as parametrizações, ou seja as estimações dos parâmetros das fórmulas que relacionam as variáveis, já estão determinadas, é só aplica-las, subtraindo-as ao valor real da variável de resposta.

**Tabela 3.1** - Demonstração do cálculo do Resíduo

Valor Real da Variável	Valor da Variável estimada	Resíduo =
A	I	A - I
B	J	B - J
C	K	C - K
D	L	D - L
E	M	E - M
...	...	...

O resíduo, para ser considerado um “bom resíduo”, deve estar centrado em zero, e ter uma média igual a zero. O que na realidade ter média igual a zero é muito difícil de acontecer, então pode-se considerar um bom resíduo, se este estiver centrado em zero e tiver uma distribuição normal. A figura 3.6 mostra um exemplo de um “bom” resíduo.



**Figura 3.6** - Representação de um resíduo bem distribuído [17].

Seguidamente é necessário efetuar o histograma do resíduo e verificar se este possui algumas características necessárias para a validação das parametrizações efetuadas.

No histograma a analisar deve-se conseguir analisar [18]:

- A forma da distribuição;
- A existência de um ponto central bem definido;
- Quão grande é a variação;
- Se existe um ou mais picos;

- A simetria da distribuição;
- A existência de barras isoladas;
- Se o histograma é ou não conclusivo.

Caso o histograma não respeite estas considerações o modelo não é validado, havendo necessidade de se voltar para a etapa respeitante à metodologia de cálculo, havendo necessidade de ter em atenção pontos que possam estar a influenciar negativamente a utilização do método dos mínimos quadrados.

Pode-se então partir ao encontro da dita robustez, ou seja, as parametrizações anteriormente calculadas vão ser comparadas a novas parametrizações calculadas mas de acordo com uma nova função objetivo. Pretende-se a minimização da seguinte função objetivo:

$$\sum_1^n (\hat{V}_n - V_n^r)^2, \quad (3.18)$$

Em que a fórmula significa o somatório da diferença ao quadrado, entre o valor estimado da variável com o seu valor real correspondente. Esta equação está relacionada com as equações (3.11 à 3.16) uma vez que esta minimização incluirá um relacionamento entre todas as variáveis envolvidas, de modo a se obter uma minimização geral.

Caso as novas parametrizações sejam semelhantes às calculadas inicialmente na etapa da metodologia de cálculo, então a metodologia é robusta.

### 3.8 - Criar Indicadores

Os indicadores a criar serão de produção e de energia. De produção segundo o estudo na Sorgal, haverá indicadores de produção de farinha e de produção de gordura. Os indicadores são ferramentas poderosas na análise e caracterização do processo produtivo e neste caso dos processos industriais.

Com estes indicadores de produção é possível verificar como esta a evolução da produção num determinado período, saber se a produção real está acima ou abaixo de produção estimada. Os indicadores de energia, e de produção são calculados analogamente, por essa razão serão aqui descritos todos os passos para a obtenção de um indicador.

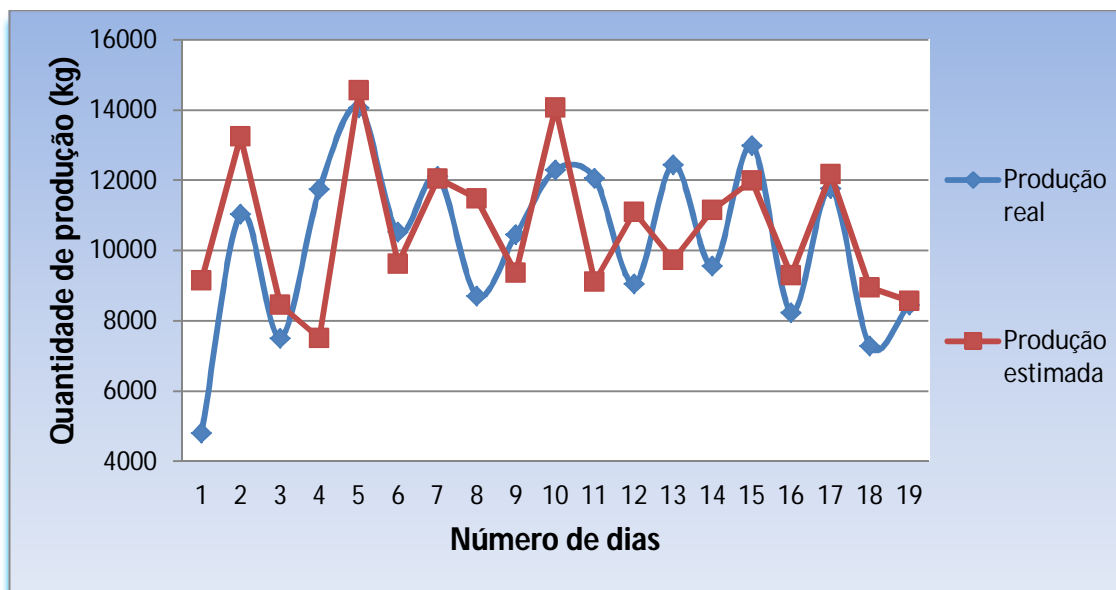


Figura 3.7 - Evolução da produção real e da produção estimada.

Através da visualização da figura 3.7 repara-se que existem desvios entre a produção estimada e a produção real, razão pela qual é oportuno e importante ter indicadores que nos pontos assinalados no gráfico da figura 3.7, nos informe se a produção estimada está acima ou abaixo da real e quantifique esse desvio em percentagem.

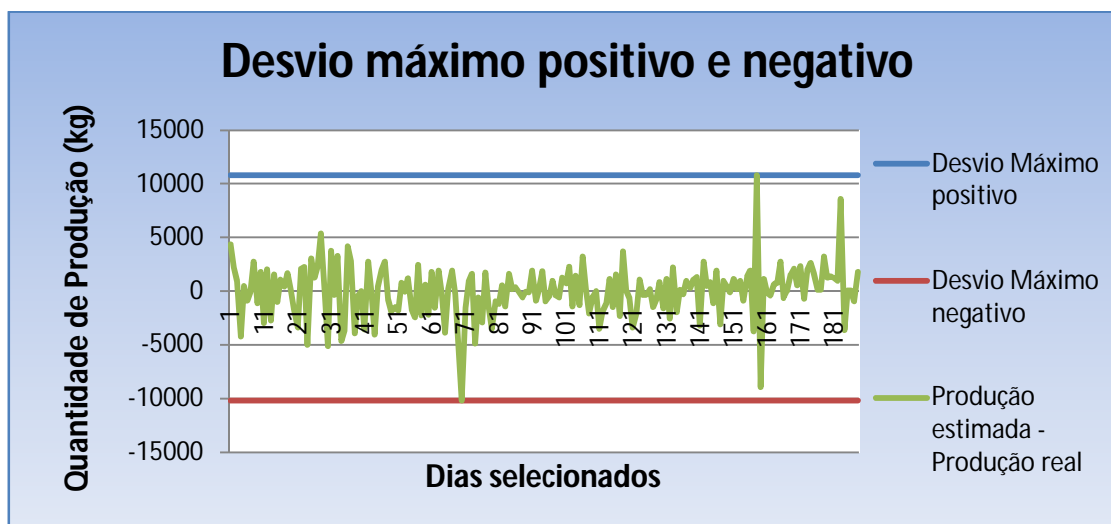


Figura 3.8 - Caracterização dos desvios máximos e mínimos dos indicadores.

Na figura 3.8 está caracterizado um indicador, de forma a se entender o que significa um indicador fornecer informação sobre a produção real, comparativamente à produção estimada.

Na figura 3.8 o desvio máximo positivo corresponde a 100% no indicador e o desvio máximo negativo corresponde a -100% no indicador, ou seja, caso o indicador tenha um valor de 0%, significa que não existe desvio entre a produção estimada e a produção real, o que equivale a dizer que têm o mesmo valor.

Por sua vez se o indicador tem uma informação em termos de percentagem que está próxima dos 100%, isto equivale a dizer que a produção real está abaixo do seu valor

estimado perto do desvio máximo ocorrido. No caso de o indicador estar perto dos -100%, indica que a produção real está acima do valor estimado, perto do valor mínimo ocorrido na série de dados.

Dadas as considerações anteriores pode-se partir para o cálculo do indicador, para isso é necessário calcular o valor da média e do desvio padrão da subtração entre o valor estimado e o valor real da variável em consideração, e consequente distribuição normal. Se houver uma série de  $n$  valores de uma variável  $x$ , a média aritmética simples pode ser obtido pela fórmula seguinte (3.19):

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (3.19)$$

Em que  $x_i$ , é uma série de dados resultantes da diferença entre o valor estimado pela fórmula e o valor real da variável em consideração.

O cálculo do desvio-padrão pode ser obtido pela expressão (3.20) [26]:

$$\sigma = \sqrt{\left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right)}, \quad (3.20)$$

Uma vez calculada a média e o desvio-padrão, procede-se ao cálculo da função de densidade da probabilidade de acordo com a seguinte fórmula:

$$f(x) = \frac{1}{2\pi\sigma} e^{-0.5[(X-\mu)/\sigma]^2}, \quad (3.21)$$

Em que:

$X$ , é o valor da variável;

$\mu$ , é a média;

$\sigma$ , é o desvio-padrão.

O indicador pretendido (produção ou de energia) pode ser apresentado em %, e/ou de informação.

Usando a fórmula seguinte pode-se obter o indicador:

$$indicador(\%) = \left[ \left( \frac{1}{2\pi\sigma} e^{-0.5[(X-\mu)/\sigma]^2} \right) \times 2 - 1 \right] \times 100, \quad (3.22)$$

É obtido o indicador em percentagem (%). Esta percentagem pode ser expressa num indicador de informação. Este indicador sofreu uma mudança de escala, para assim estar definido entre [-1,1].

**Tabela 3.2** - Exemplo de informação dos indicadores de produção e suas etapas de construção

<b>Produção real</b>	<b>Produção estimada</b>	<b>Produção estimada - Produção real</b>	<b>Distribuição normal</b>	<b>Indicador em %</b>	<b>Indicador informação</b>
1876.988	2322.9825	445.994201	0.761338592	52%	Abaixo do estimado
14446.77	1903.5825	456.812885	0.766285095	53%	Abaixo do estimado
2043.73	2024.4675	-19.262976	0.508093905	-2%	Acima do estimado
2107.469	2098.3425	-9.126332	0.514091718	-3%	Acima do estimado
1682.668	1920.6	237.931889	0.656122158	31%	Abaixo do estimado

A tabela 3.2 mostra o valor real da produção, o seu valor estimado, a subtração da produção estimada com a produção real, o valor da distribuição normal correspondente a cada caso e o valor dos indicadores conforme foi explicado anteriormente.

No caso de termos um indicador de energia, o processo é semelhante, esses dados estão expressos na tabela seguinte.

**Tabela 3.3** - Exemplo de informação dos indicadores de energia e suas etapas de construção

<b>Energia real</b>	<b>Energia estimada</b>	<b>Energia estimada - Energia real</b>	<b>Distribuição normal</b>	<b>Indicador em %</b>	<b>Indicador informação</b>
1880.437606	2006.1525	125.714894	0.593051125	19%	Abaixo do estimado
2742.402543	2006.2725	-736.130043	0.148390434	-70%	Acima do estimado
1495.730462	2112.675	616.944538	0.832542851	67%	Abaixo do estimado
1206.617251	2047.155	840.537749	0.902515523	81%	Abaixo do estimado
2005.824306	1943.115	-62.709306	0.482382981	-4%	Acima do estimado

# Capítulo 4

## Apresentação de Resultados

### 4.1 - Introdução

Neste capítulo são apresentados os resultados e os procedimentos realizados tendo por base a metodologia criada no capítulo 3. Estes resultados serão casos reais de processos industriais das fábricas da Savinor e da Sorgal.

É feito também uma apresentação das duas empresas envolvidas na caracterização dos processos industriais reais realizados nesta dissertação bem como das unidades de medida instalados e a sua localização e características.

### 4.2 - Apresentação das Empresas e Unidades de Medida

As empresas Savinor e Sorgal são duas empresas inseridas no grupo Soja de Portugal, S.A. seguidamente é apresentado a estrutura do grupo Soja de Portugal, S.A.



Figura 4.1 - Estrutura do grupo Soja de Portugal, S.A [8].

A Sorgal é uma das maiores empresas portuguesas produtoras de alimentos compostos para animais. Tem mais de 60 anos de história e tem vindo a desenvolver as suas atividades numa ótica de defesa do bem-estar animal e de segurança alimentar. Esta empresa tem cerca de duzentos colaboradores e possui a seguinte estrutura:

- Três unidades de produção de alimentos compostos para animais: Ovar, Torres Novas e Pinheiro de Lafões;
- Uma unidade de produção de alimentos compostos para peixes (aquacultura);
- Uma unidade de produção de alimento seco, para cães e gatos.

A unidade fabril de *pet-food* tem cerca de três anos e está equipada com equipamentos ultramodernos, possuindo uma capacidade de produção de dez toneladas por hora.



Figura 4.2 - Maquinaria usada na unidade fabril de *pet-food* na Sorgal [8].



Figura 4.3 - Tecnologia usada na unidade fabril de *pet-food* na Sorgal [8].

A Sorgal tem como missão, ser líder nacional na produção e comercialização de alimentos compostos para animais, procurando segmentos geradores de sinergias na verticalidade que o setor permite, estabelecendo uma plataforma produtiva, técnica e comercial que contribua para a construção e consolidação de marcas fortes, reconhecidas pelo mercado.

A Savinor pertence igualmente ao grupo Soja de Portugal, S.A, a sua atividade baseia-se na criação, abate e preparação de carcaças de aves. Tem como objetivo a obtenção de carne de aves e mamíferos, em peças ou pedaços e de miudezas comestíveis, refrigerados ou congelados e respetiva comercialização. Nesta empresa está também incluída a transformação de subprodutos de peixe e de subprodutos resultantes do abate e desmancha de aves e de mamíferos, visando a produção de farinhas e a fusão de gorduras animais para fins industriais e respetiva comercialização.

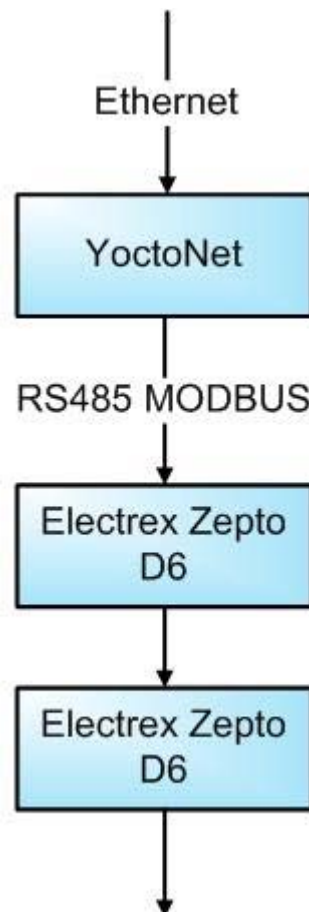
A informação sobre estas duas empresas foi retirada da *internet*, estando disponível nas referências [8 a 12].

Quanto às unidades de medida, a Savinor possui dezanove contadores de energia *Electrex Zepto D6*.



**Figura 4.4** - Contador de energia da Savinor [30].

Estes dezanove equipamentos de medida estão ligados em série a um sistema de comunicação entre os equipamentos (*YoctoNet*). A figura seguinte mostra algumas ferramentas do sistema implementado na Savinor.



**Figura 4.5** - Sistema das unidades de medida implementadas na Savinor.

Na figura 4.5, apenas estão representados dois *Electrex Zepto D6*, mas de frisar que são dezanove contadores desse tipo.

### 4.3 - Recolha dos dados de produção e energia (Savinor)

Inicialmente foram fornecidos dados de produção da Savinor (situada na Trofa), nomeadamente da fábrica do Peixe e da fábrica de mamíferos. Estes dados são referentes aos meses de Maio, Junho, Julho, Agosto, Setembro, Outubro, Novembro e Dezembro de 2011 e do mês de Janeiro de 2012. Posteriormente, foram fornecidos os dados de energia da mesma empresa para posterior relacionamento com os dados de produção.

Quanto aos dados de produção o tratamento dos mesmos consiste numa listagem de toda a diversa produção efetuada nesses meses, bem como do valor da recolha que será uma das variáveis mais importantes.

No que diz respeito aos dados de energia, houve a necessidade de tratamento segundo a fórmula (3.1), uma vez que foram recolhidos de hora a hora, tendo-se vinte e três medidas por cada dia do mês.

### 4.4 - Análise dos dados recolhidos (Savinor)

Na análise dos dados recolhidos podemos analisar a evolução da produção de farinha nos dias da semana bem a evolução do consumo de energia pelos diversos dias em que existe produção, tanto para a fábrica do peixe como para a dos mamíferos.

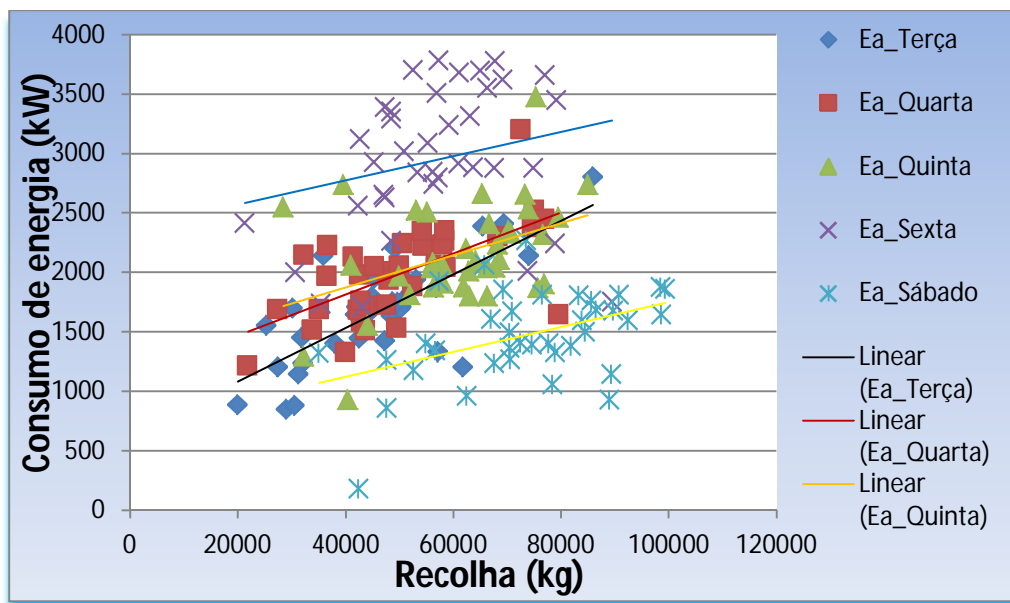


Figura 4.6 - Relação entre o consumo de energia com a quantidade de recolha efetuada (fábrica do peixe).

Como se pode verificar na figura 4.6, existe um aumento do consumo de energia à medida que a semana avança. Esta situação denota que alguns equipamentos vão ficando ligados ao longo da semana, uma vez que para valores de recolha semelhantes, os consumos energéticos aumentam. Na figura anterior sexta-feira destaca-se como sendo o dia em que se consome mais energia, pelo facto explicado anteriormente. Sábado por sua vez é o dia que tem menos consumos de energia, uma vez que como é o ultimo dia de trabalho, os equipamentos vão sendo desligados uma vez que a semana de trabalho está a terminar.

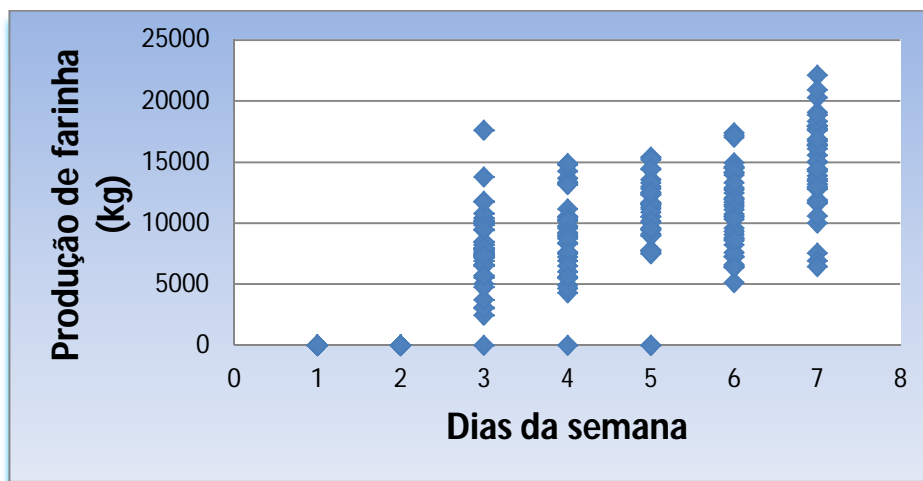
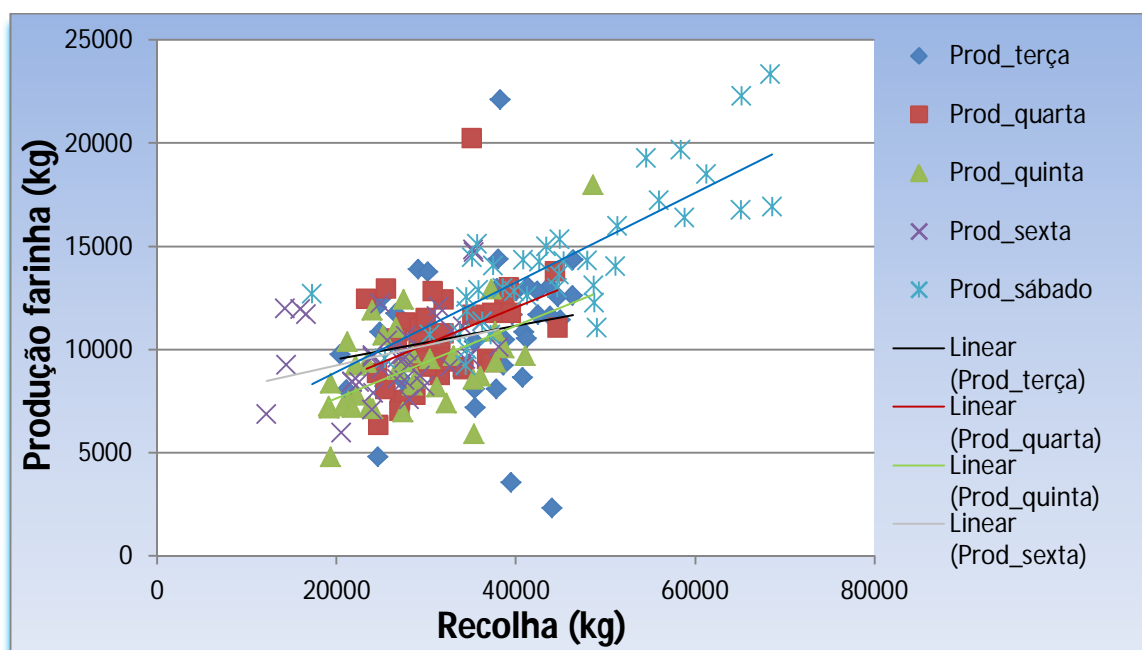


Figura 4.7 - Evolução da produção de farinha nos dias da semana (fábrica do peixe).

Na figura 4.7 pode-se observar a evolução da produção de farinha pelos diferentes dias da semana. Tal como já foi mencionado, nos dias 1 e 2 da semana, ou seja domingo e segunda, não existe produção, uma vez que ao Domingo não se trabalha na Savinor e a segunda-feira é um dia destinado a ações de limpeza e de manutenção, motivos pelos quais também não existe produção nesse dia. As mesmas considerações se podem aplicar à fábrica de mamíferos. De notar também que a produção vai crescendo à medida que se aproxima o final da semana, sendo a produção ao sábado mais elevada do que nos restantes dias. Isto acontece uma vez que sábado é o último dia de trabalho da semana, como consequência disso, nesse dia tem de ser transformado todo o subproduto recolhido, de maneira a que este não se estrague.



**Figura 4.8** - Evolução da produção de farinha com a quantidade de recolha, nos diferentes dias da semana (fábrica de mamíferos).

Na figura 4.8 pode-se observar a evolução da produção de farinha na fábrica de mamíferos, pelos diferentes dias da semana, em função da recolha realizada.

De notar que a produção ao sábado é mais elevada comparativamente aos restantes dias, tal como acontece na fábrica do peixe. No sábado tem de se escoar todo o subproduto existente, caso contrário corre-se o risco de o subproduto azedar e ficar estragado, originando menos quantidade de produção levando a perdas financeiras.

## 4.5 - Metodologia de Cálculo (Savinor)

Como já foi referido no capítulo anterior é necessário obter-se parametrizações resultantes, de variáveis que tenham uma relação entre si. Para estabelecer as relações entre

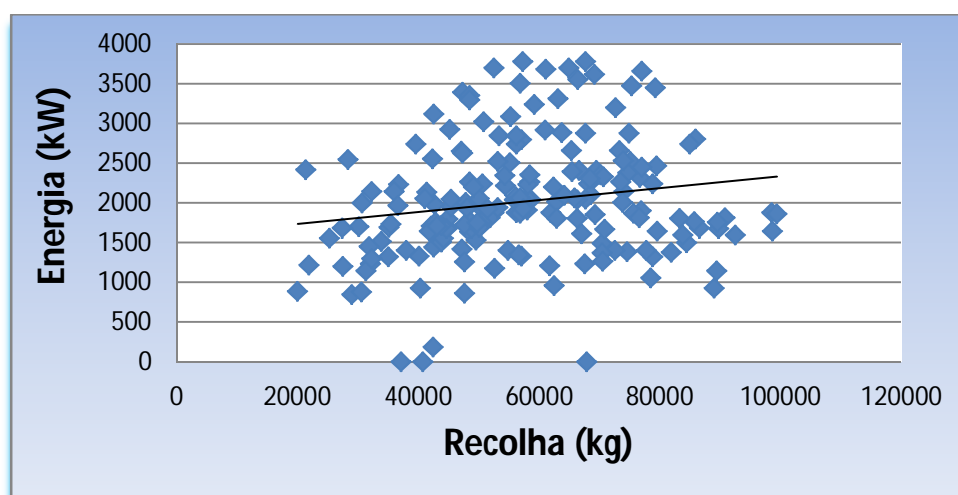
diferentes variáveis, traça-se um gráfico de dispersão. Para cada par de variáveis que estejam relacionadas.

Para a fábrica do peixe e para a fábrica de mamíferos, serão parametrizadas e analisadas as seguintes relações de variáveis:

- A energia em função da quantidade de recolha efetuada;
- A quantidade de farinha em função da quantidade de recolha efetuada;
- A quantidade de gordura em função da quantidade de recolha efetuada;
- A quantidade de farinha em função da energia;
- A quantidade de gordura em função da energia;
- A quantidade de gordura em função da quantidade de farinha.

Assim obtiveram-se os seguintes gráficos:

- **Parametrizações para a fábrica do peixe:**



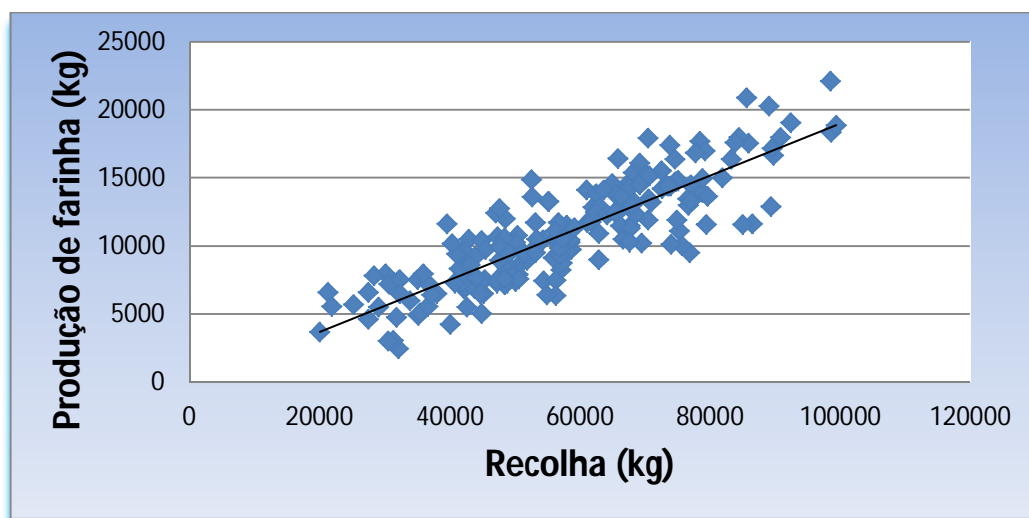
**Figura 4.9** - Relação da energia em função da recolha (fábrica do peixe).

Na figura 4.9 é visível o gráfico da energia em função do valor de recolha. É visível uma ligeira tendência de relação, uma vez que à medida que o valor da recolha aumenta a energia também evolui dessa forma. A expressão matemática que caracteriza esta relação é a seguinte:

$$Energia = 0.0075 \times recolha + 1584$$

É de notar também que esta dependência não é assim tão estreita, uma vez como os dados de energia são relativos à fábrica do peixe na sua totalidade pode e há, equipamentos ligados e que vão ficando ligados durante os dias da semana que não interferem diretamente com o processo industrial em causa, muito menos com o valor da recolha. Esta dependência

está associada à dependência entre a produção de farinha ou gordura em função da energia, uma vez que estes dois processos produtivos exigem energia durante a sua realização.



**Figura 4.10** - Relação da produção de farinha em função da recolha (fábrica do peixe).

Na figura 4.10 é visível o gráfico da produção de farinha em função do valor de recolha. É visível uma tendência de relação muito forte, estas duas variáveis estão altamente relacionadas e como é visível a produção de farinha está fortemente relacionada com o valor da recolha, uma vez que à medida que o valor da recolha aumenta a produção de farinha também evolui dessa mesma forma.

De referir que para iguais valores da recolha a produção de farinha toma valores diferentes, uma vez que alguma parte da recolha pode estar deteriorada, sendo então rejeitada essa produção.

A expressão matemática que caracteriza esta relação é a seguinte:

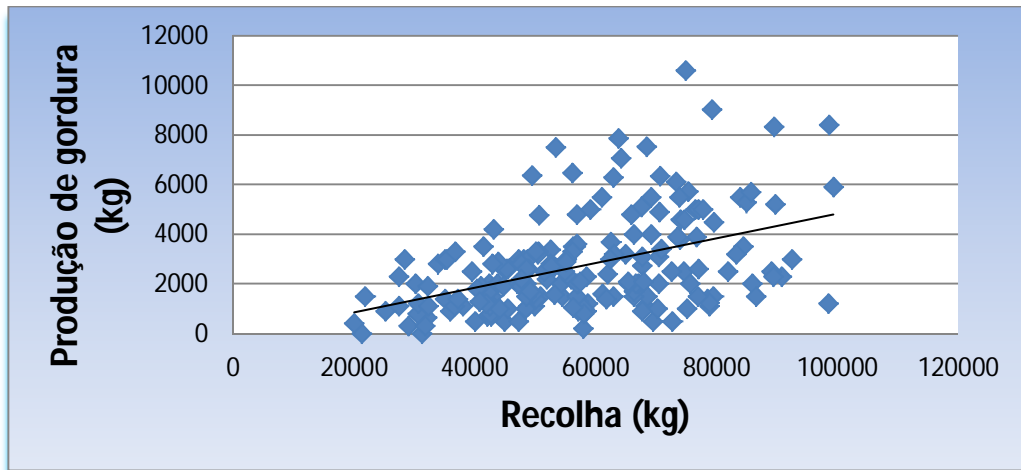
$$Q.\text{farinha} = 0.1912 \times \text{recolha} - 141.06$$

**Tabela 4.1** - Valores máximos e mínimos da produção de farinha e da quantidade de recolha (fábrica do peixe)

	Produção de farinha (kg)	Recolha (kg)
Máximo	22103	98648
Mínimo	2444	20003

Na tabela 4.1 podem ser visualizados os valores máximos e mínimos da quantidade de produção de farinha assim como os da quantidade de recolha efetuada.

A fórmula da parametrização é válida para valores de recolha compreendidos entre 20003 e 98648 kg.

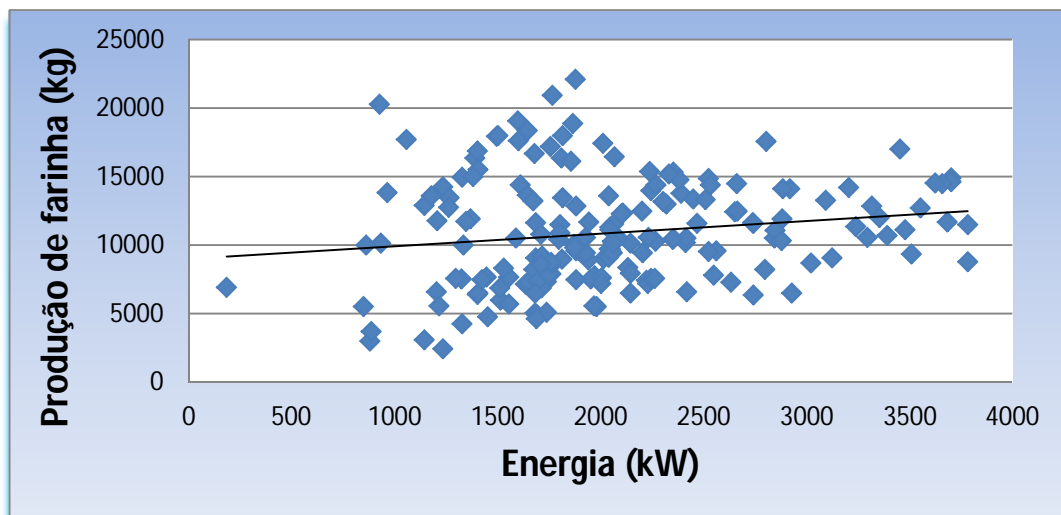


**Figura 4.11** - Relação da produção de gordura em função da recolha (fábrica do peixe).

Na figura 4.11 é visível o gráfico da produção de gordura em função do valor de recolha. É visível uma tendência de relação, como é visível, a produção de gordura está relacionada com o valor da recolha, uma vez que à medida que o valor da recolha aumenta a produção de gordura também evolui dessa mesma forma.

De notar que esta dependência não é tão pronunciada como a relação entre a quantidade de farinha em função da recolha. A expressão matemática que caracteriza esta relação é a seguinte:

$$Q.gordura = 0.0495 \times recolha - 136.41$$



**Figura 4.12** - Relação da produção de farinha em função da energia (fábrica do peixe).

Na figura 4.12 é visível o gráfico da produção de farinha em função do valor da energia. É notória uma ligeira relação entre as duas variáveis. Essa relação não é muito acentuada, uma vez como os dados de energia são relativos à fábrica do peixe na sua totalidade pode e há, equipamentos ligados e que vão ficando ligados durante os dias da semana que não

interferem diretamente com o processo industrial em causa. A expressão matemática que caracteriza esta relação é a seguinte:

$$Q.farinha = 0.9296 \times energia + 8982.6$$

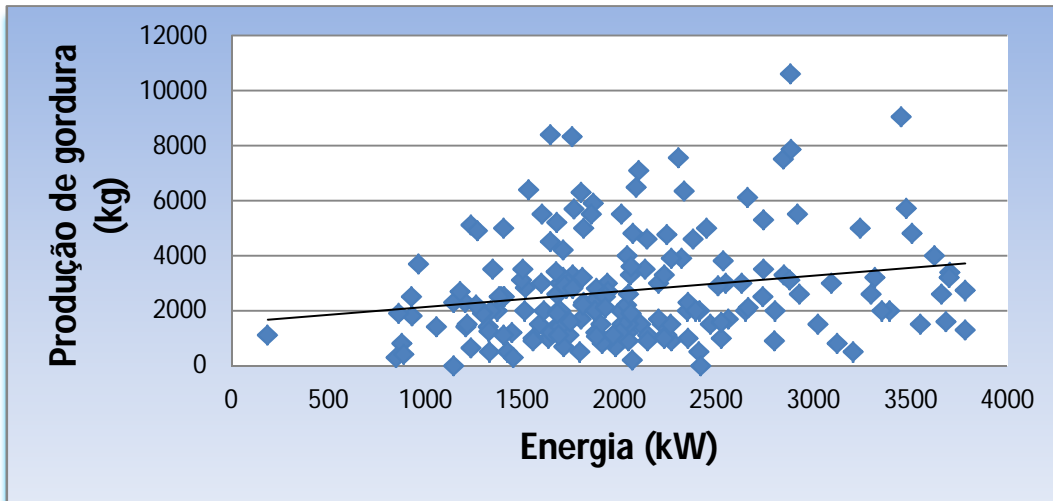


Figura 4.13 - Relação da produção de gordura em função da energia (fábrica do peixe).

Na figura 4.13 é visível o gráfico da produção de gordura em função do valor da energia.

É notória uma ligeira relação entre as duas variáveis. Essa relação não é muito acentuada, uma vez como os dados de energia são relativos à fábrica do peixe na sua totalidade pode e há, equipamentos ligados e que vão ficando ligados durante os dias da semana que não interferem diretamente com o processo industrial em causa. A expressão matemática que caracteriza esta relação é a seguinte:

$$Q.gordura = 0.57 \times energia + 1562.3$$

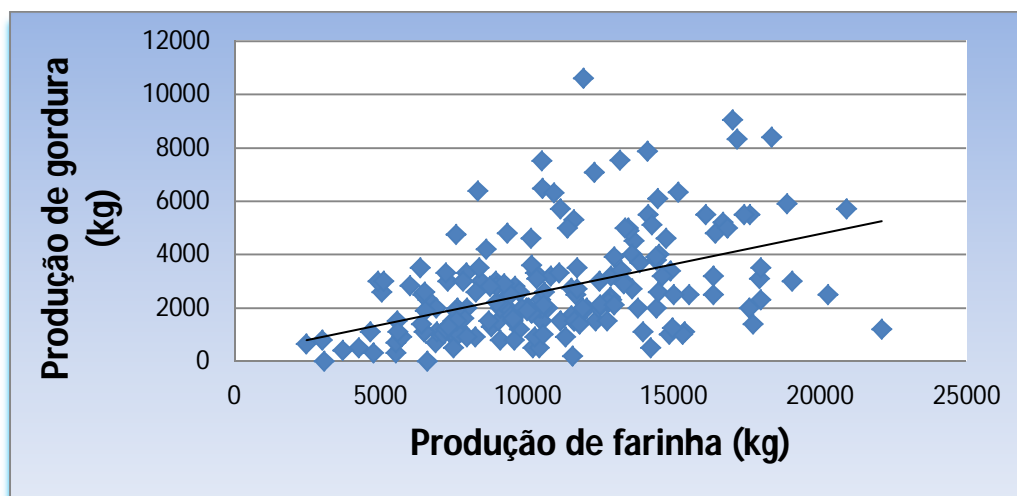
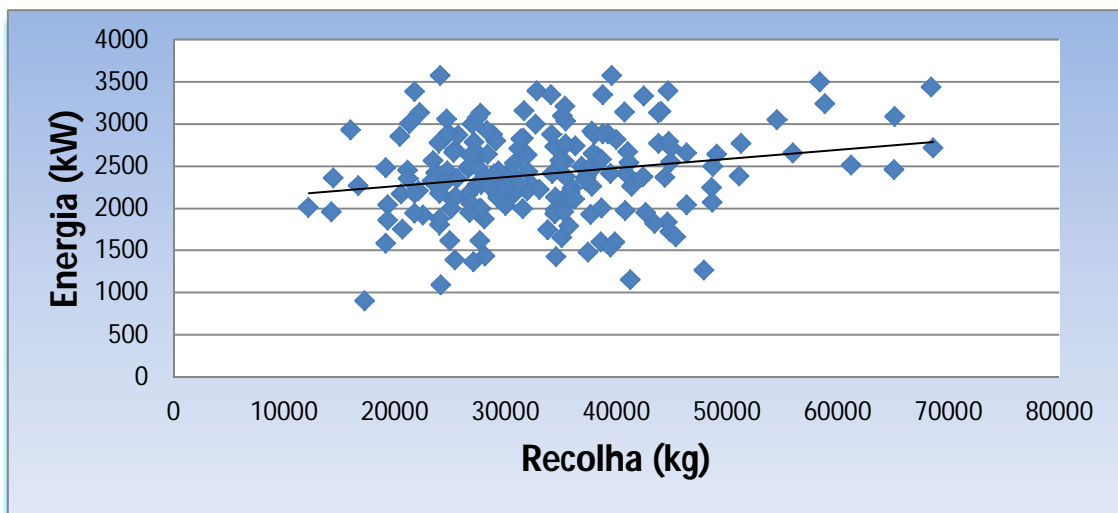


Figura 4.14 - Relação da produção de gordura em função da produção de farinha (fábrica do peixe).

Na figura 4.14 é visível o gráfico da produção de gordura em função do valor da produção de farinha. É visível uma tendência de relação muito forte, estas duas variáveis estão altamente relacionadas e como é visível a produção de gordura está fortemente relacionada com a produção de farinha, uma vez que à medida que o valor da produção de farinha aumenta a produção de gordura também aumenta. A expressão matemática que caracteriza esta relação é a seguinte:

$$Q.gordura = 0.227 \times Q.farinha + 248.67$$

- **Parametrizações para a fábrica de mamíferos:**



**Figura 4.15** - Relação da energia em função da recolha (fábrica de mamíferos).

Na figura 4.15 é visível o gráfico da energia em função do valor de recolha. É visível uma ligeira tendência de relação, uma vez que à medida que o valor da recolha aumenta a energia também evolui dessa forma. A expressão matemática que caracteriza esta relação é a seguinte:

$$Energia = 0.0107 \times recolha + 2048.1$$

É de notar também que esta dependência não é assim tão estreita, uma vez como os dados de energia são relativos à fábrica de mamíferos na sua totalidade, pode e há, equipamentos ligados e que vão ficando ligados durante os dias da semana que não interferem diretamente com o processo industrial em causa, muito menos com o valor da recolha.

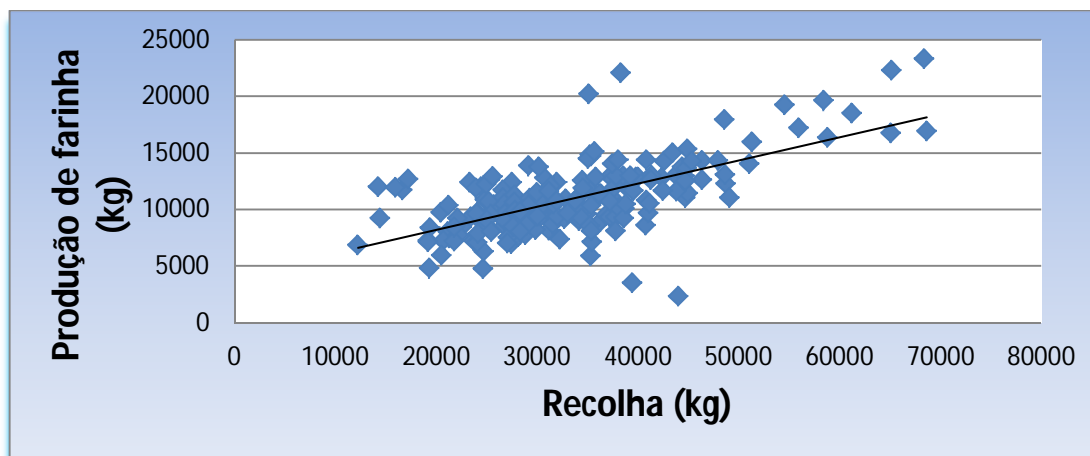


Figura 4.16 - Relação da produção de farinha em função da recolha (fábrica de mamíferos).

Na figura 4.16 é visível o gráfico da produção de farinha em função do valor de recolha. É visível uma tendência de relação muito forte, estas duas variáveis estão altamente relacionadas, uma vez que à medida que o valor da recolha aumenta a produção de farinha também evolui dessa mesma forma. A expressão matemática que caracteriza esta relação é a seguinte:

$$Q.farinha = 0.2047 \times recolha + 4097.6$$

Tabela 4.2 - Valores máximos e mínimos para a quantidade de produção de farinha e para a quantidade de recolha (fábrica de mamíferos)

	Produção de farinha (kg)	Recolha (kg)
Máximo	23353.5	68607
Mínimo	2331	12191

Na tabela 4.2 podem ser visualizados os valores máximos e mínimos da quantidade de produção de farinha assim como os da quantidade de recolha efetuada.

A fórmula da parametrização é válida para valores de recolha compreendidos entre 12191 e 68607 kg.

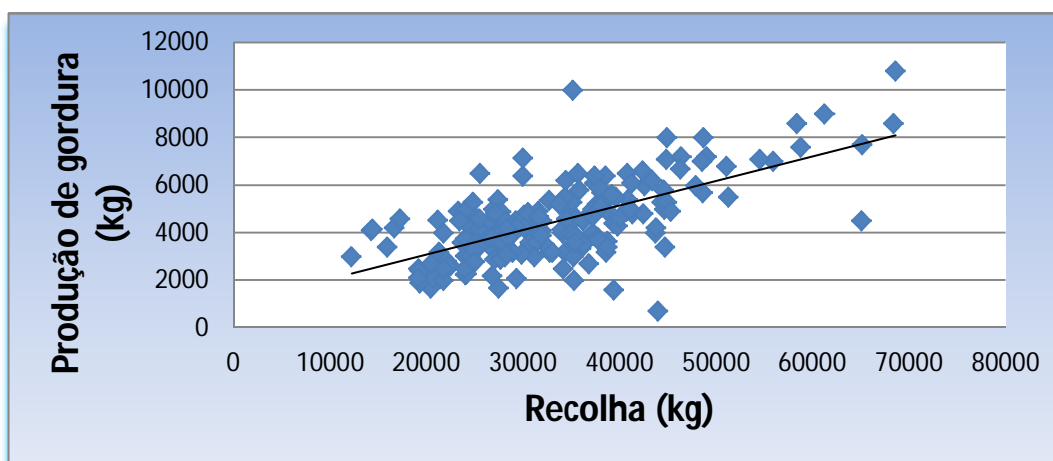
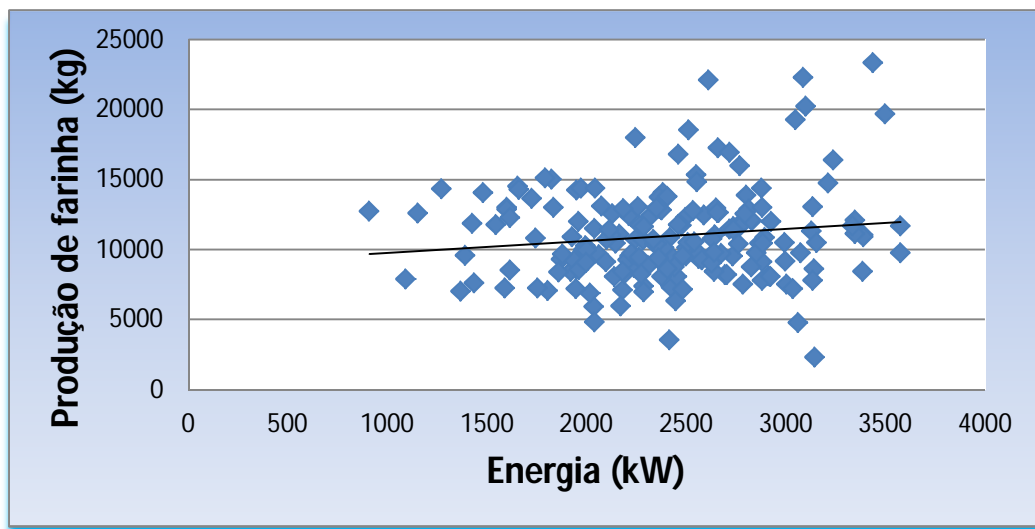


Figura 4.17 - Relação da produção de gordura em função da recolha (fábrica de mamíferos).

Na figura 4.17 é visível o gráfico da produção de gordura em função do valor de recolha. É visível uma tendência de relação, como é visível, a produção de gordura está relacionada com o valor da recolha, uma vez que à medida que o valor da recolha aumenta a produção de gordura também evolui dessa mesma forma. A expressão matemática que caracteriza esta relação é a seguinte:

$$Q.gordura = 0.1032 \times recolha + 1012.5$$

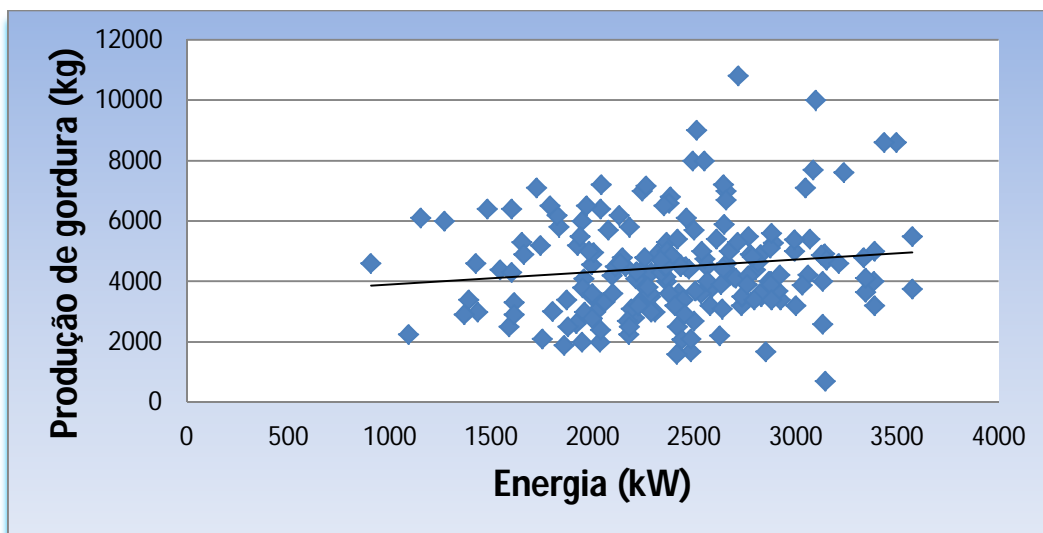


**Figura 4.18** - Relação da produção de farinha em função da energia (fábrica de mamíferos).

Na figura 4.18 é visível o gráfico da produção de farinha em função do valor da energia. A expressão matemática que caracteriza esta relação é a seguinte:

$$Q.farinha = 0.863 \times energia + 8889.8$$

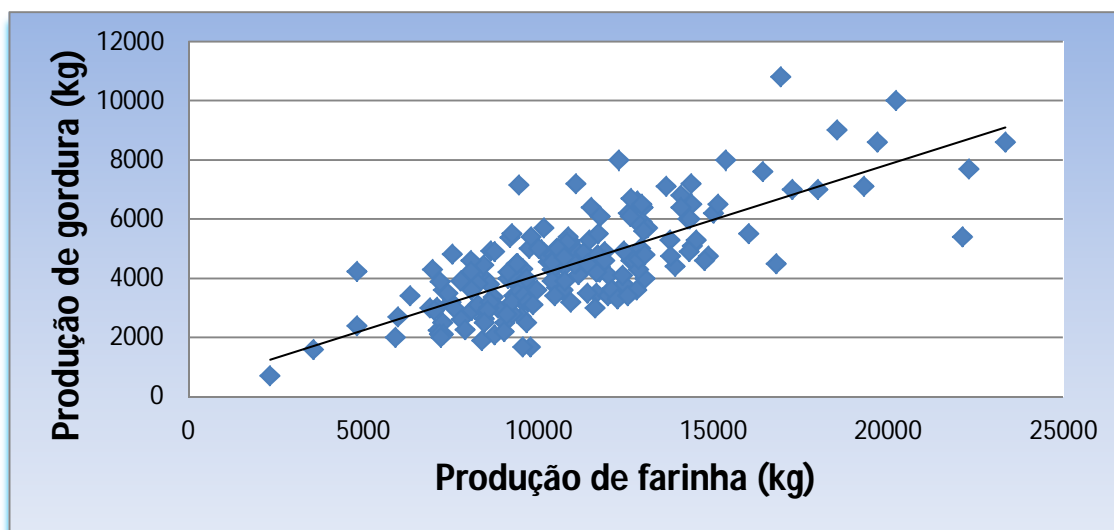
É notória uma ligeira relação entre as duas variáveis. Essa relação não é muito acentuada, uma vez como os dados de energia são relativos à fábrica de mamíferos na sua totalidade, pode e há, equipamentos ligados e que vão ficando ligados durante os dias da semana que não interferem diretamente com o processo industrial em causa.



**Figura 4.19** - Relação da produção de gordura em função da energia (fábrica de mamíferos).

Na figura 4.19 é visível o gráfico da produção de gordura em função do valor da energia. É notória uma ligeira relação entre as duas variáveis. Essa relação não é muito acentuada, uma vez como os dados de energia são relativos à fábrica de mamíferos na sua totalidade pode e há, equipamentos ligados e que vão ficando ligados durante os dias da semana que não interferem diretamente com o processo industrial em causa. A expressão matemática que caracteriza esta relação é a seguinte:

$$Q.gordura = 0.4103 \times energia + 3487.3$$



**Figura 4.20** - Relação da produção de gordura em função da produção de farinha (fábrica de mamíferos).

Na figura 4.20 é visível o gráfico da produção de gordura em função do valor da produção de farinha. É visível uma tendência de relação muito forte, estas duas variáveis estão altamente relacionadas e como é visível a produção de gordura está fortemente relacionada com a produção de farinha, uma vez que à medida que o valor da produção de farinha aumenta a produção de gordura também aumenta. A expressão matemática que caracteriza esta relação é a seguinte:

$$Q.gordura = 0.3731 \times Q.farinha + 383.54$$

Após a realização das parametrizações das relações entre todas as variáveis envolvidas no processo industrial e que tenham relação entre si, é feita uma análise da robustez da metodologia. Esta análise é fundamental para se verificar se os parâmetros das regressões feitas foram bem estimados ou então se foi efetuada uma má estimativa dos parâmetros.

#### 4.6 - Robustez da Metodologia (Savinor)

Para a análise da robustez é necessário efetuar-se também um estudo sobre o resíduo. Para essa análise são consideradas as variáveis produção de farinha e de gordura, ambas em função da recolha, variável esta como sendo uma variável de entrada do processo industrial, sendo neste caso é a variável que influencia a produção, tanto de farinha como de gordura.

Dadas estas considerações é seguidamente feito uma tabela com o valor da recolha, com os valores reais de produção e os seus correspondentes valores estimados, de acordo com a sua fórmula de relação entre a produção de farinha e a produção de gordura em função da recolha.

De acordo com as parametrizações realizadas, os valores dos parâmetros das correspondentes funções matemáticas são:

**Tabela 4.3** - Valores dos parâmetros das funções consideradas

	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$
m	0.1912	0.0495	0.2047	0.1032
b	-141.06	-136.41	4097.6	1012.5

Em que:

$f_1$  é produção de farinha em função da quantidade de recolha (fábrica do peixe);

$f_2$  é a produção de gordura em função da quantidade de recolha(fábrica do peixe);

$f_3$  é produção de farinha em função da quantidade de recolha (fábrica de mamíferos);

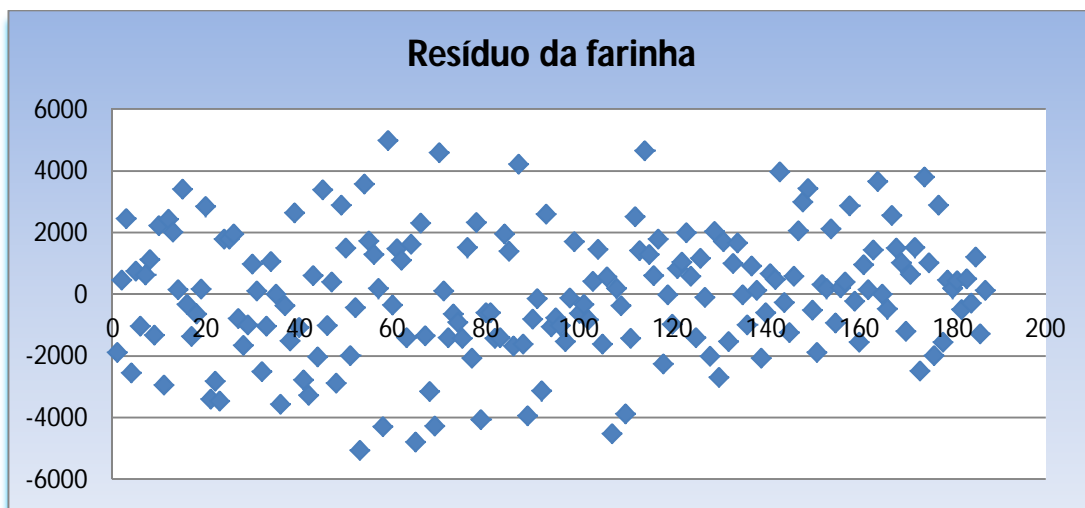
$f_4$  é a produção de gordura em função da quantidade de recolha (fábrica de mamíferos);

Estas funções são estimações em função da recolha.

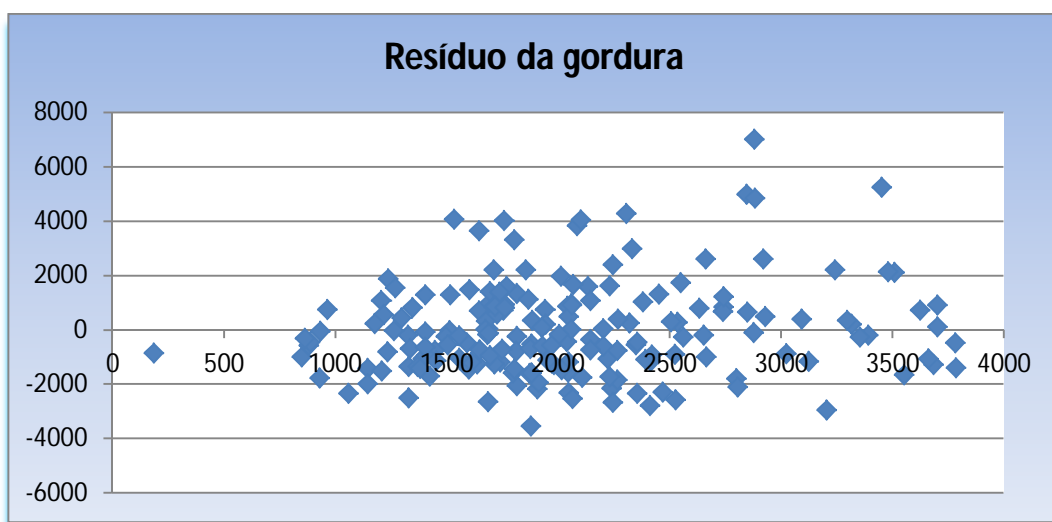
**Tabela 4.4** - Variáveis em consideração na análise do resíduo (exemplo para a fábrica de mamíferos)

Data	Recolha	Produção real de farinha	Estimativa da produção de farinha	Produção de gordura	Estimativa da produção de gordura
03-05-2011	24655	4813	9144.4785	4220	3556.896
06-05-2011	16653	11745	7506.4691	4200	2731.0896
07-05-2011	51065	14071	14550.6055	6800	6282.408
10-05-2011	26971	10523	9618.5637	5000	3795.9072
11-05-2011	38763	12107	12032.3861	3640	5012.8416
12-05-2011	36008	8713	11468.4376	3360	4728.5256
17-05-2011	24453	12057	9103.1291	3500	3536.0496
18-05-2011	34193	9048.5	11096.9071	2500	4541.2176
19-05-2011	27495	12447	9725.8265	3800	3849.984
20-05-2011	34411	9566.5	11141.5317	3200	4563.7152
21-05-2011	38573	12994.5	11993.4931	6400	4993.2336
26-05-2011	23686	7282.5	8946.1242	3600	3456.8952
27-05-2011	21796	8455	8559.2412	4000	3261.8472
28-05-2011	55959	17260	15552.4073	7000	6787.4688
31-05-2011	25313	12642	9279.1711	4600	3624.8016
01-06-2011	36845	9525.5	11639.7715	2700	4814.904
04-06-2011	49055	11068	14139.1585	7200	6074.976
07-06-2011	27527	8447	9732.3769	4440	3853.2864
08-06-2011	37224	9370.5	11717.3528	4000	4854.0168
09-06-2011	35296	5924	11322.6912	2000	4655.0472
10-06-2011	32812	10937.5	10814.2164	3200	4398.6984
15-06-2011	35218	11665.5	11306.7246	3500	4646.9976
16-06-2011	32269	7410.5	10703.0643	3500	4342.6608

Na tabela 4.4 é visível para a fábrica de mamíferos o valor da recolha, o valor da produção real de farinha e de gordura e o valor das estimativas da farinha e da gordura segundo os parâmetros da tabela 4.3 sendo estas estimativas em função da recolha. De notar que na tabela estão apenas alguns valores. É seguidamente calculado valor do resíduo segundo a fórmula (3.17) e pode ser visto e analisado graficamente nas figuras seguintes.



**Figura 4.21** - Resíduo da farinha (fábrica do peixe).



**Figura 4.22** - Resíduo da gordura (fábrica do peixe).

Como se pode ver pelas figuras anteriores, o resíduo pode ser considerado como bom, uma vez que esta praticamente centrado em zero. Pode-se dizer também que o resíduo da figura 4.21, respeitante ao resíduo da farinha é relativamente melhor que o resíduo da figura 4.22, respeitante ao resíduo da gordura. Ambas as figuras dizem respeito à fábrica do peixe.

Segue-se a mesma análise para a fábrica de mamíferos:

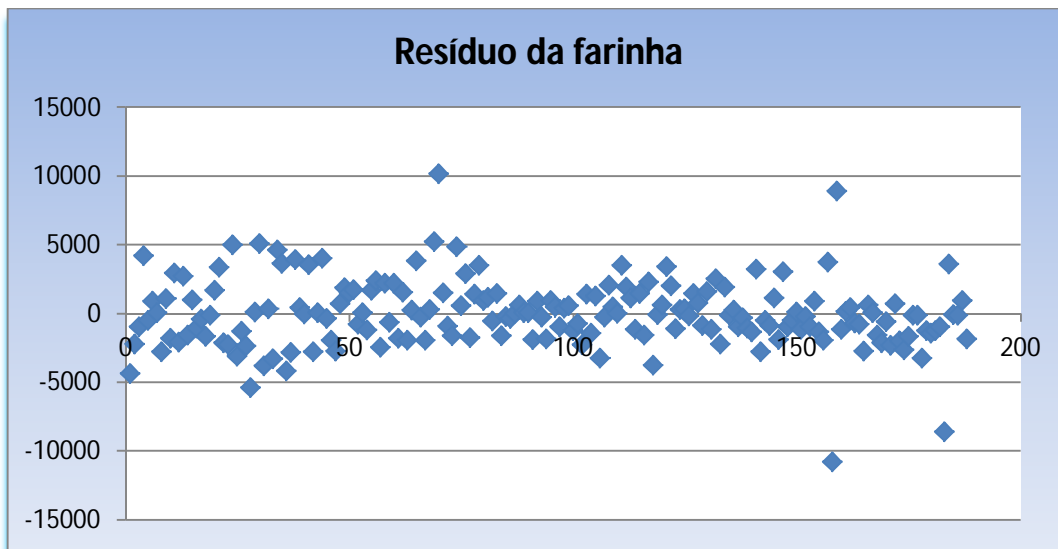


Figura 4.23 - Resíduo de farinha (fábrica de mamíferos).

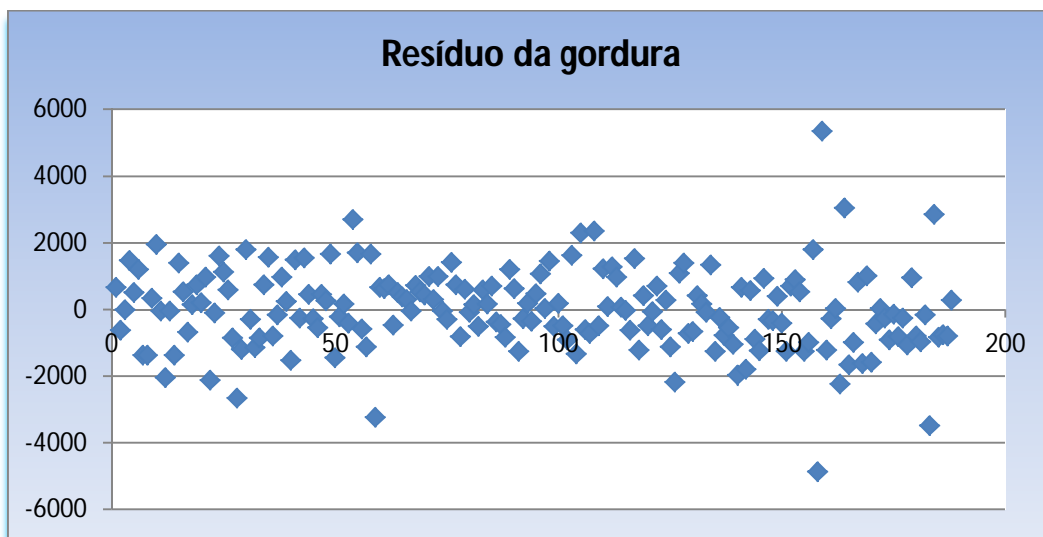


Figura 4.24 - Resíduo de gordura (fábrica de mamíferos).

Como se pode ver pelas figuras 4.23 e 4.24, o resíduo pode ser considerado como bom, uma vez que está praticamente centrado em zero.

Dada esta análise procede-se à apresentação e análise do histograma desses resíduos, quer para a fábrica do peixe, quer para a fábrica de mamíferos.

- Para a fábrica do peixe:

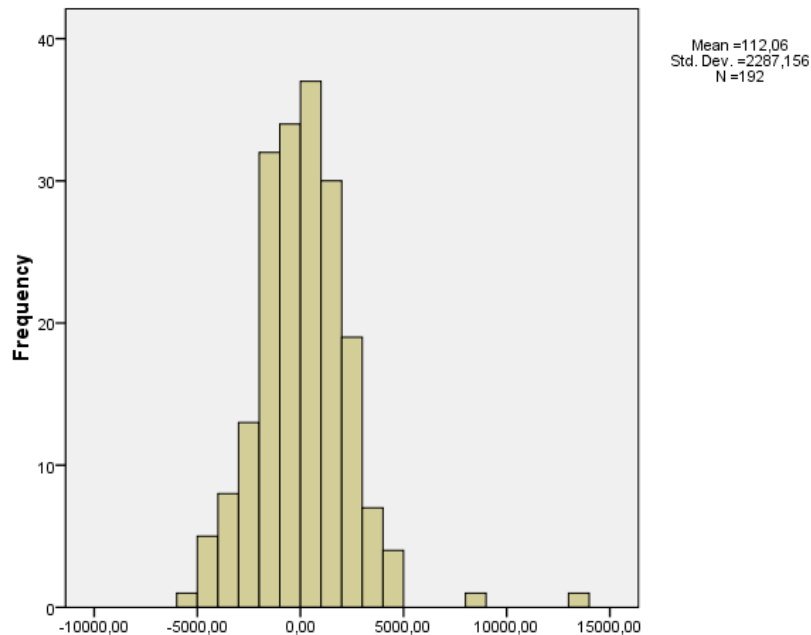


Figura 4.25 - Histograma do Resíduo da farinha (fábrica do peixe).

Como o histograma tem um ponto central bem definido, apresenta uma simetria simétrica na sua distribuição, então estamos na presença de um histograma conclusivo e válido. Dado isto, podemos considerar válida a parametrização feita da produção de farinha em função da recolha.

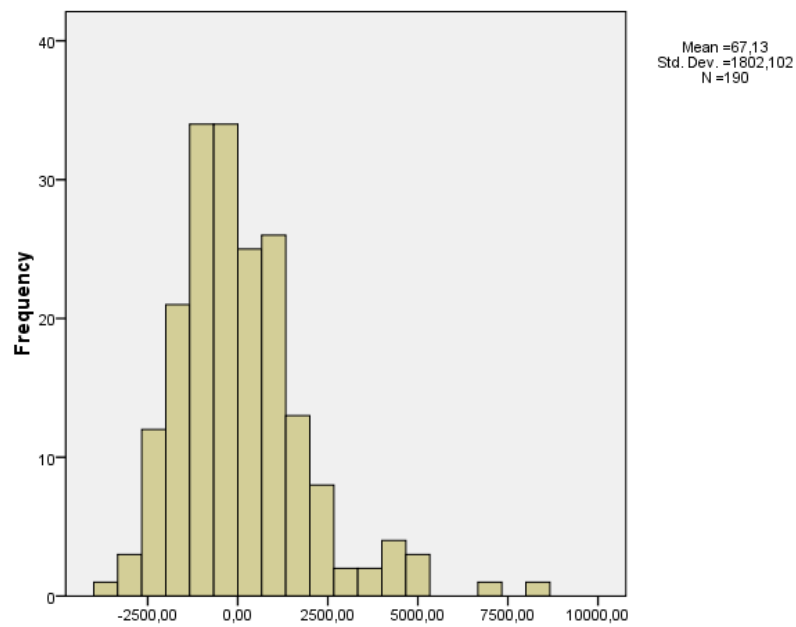


Figura 4.26 - Histograma do resíduo da gordura (fábrica do peixe).

Como o histograma, apresenta uma simetria simétrica na sua distribuição, então estamos na presença de um histograma conclusivo e válido. Dado isto, podemos considerar válido a parametrização feita da produção de gordura em função da recolha.

- Para a fábrica de mamíferos:

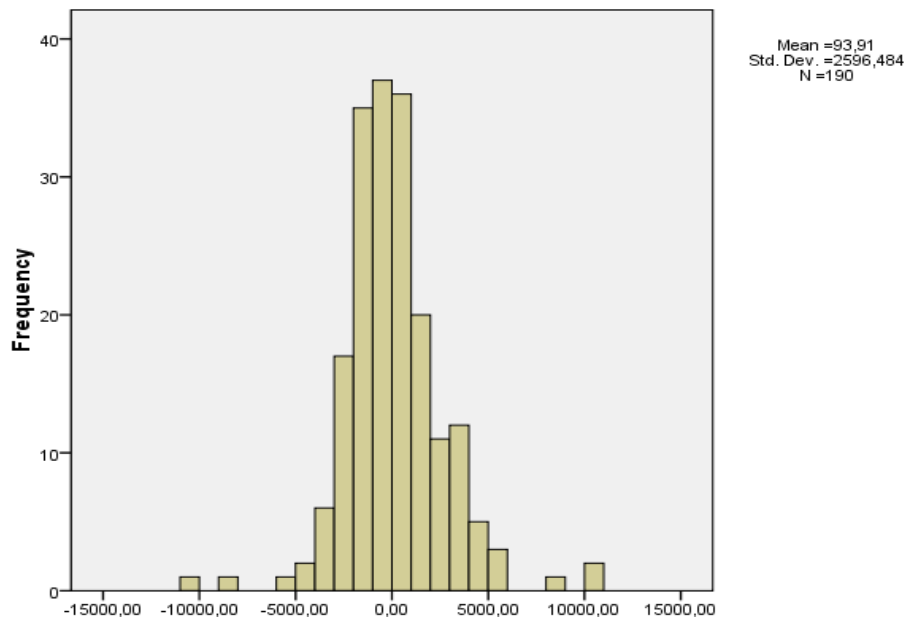


Figura 4.27 - Histograma do resíduo da farinha (fábrica de mamíferos).

Como o histograma tem um ponto central bem definido, apresenta uma simetria simétrica na sua distribuição, então estamos na presença de um histograma conclusivo e válido.

Dado isto, podemos considerar válido a parametrização feita da produção de farinha em função da recolha, como tal o Modelo de Regressão é válido. O mesmo foi verificado para a gordura.

Na análise da robustez propriamente dita, é feito um cruzamento, uma relação entre todas as variáveis envolvidas no processo e é estabelecido uma função objetivo segundo a fórmula (3.18). É pretendido minimizar o valor final da função objetivo.

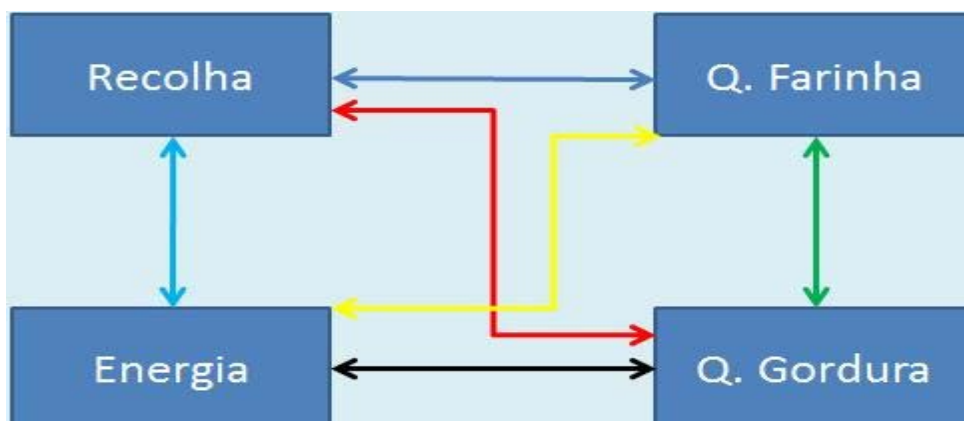


Figura 4.28 - Variáveis do processo industrial em questão relacionadas entre si.

As variáveis são todas relacionadas e cruzadas entre si.

- **Para a fábrica do peixe:**

**Tabela 4.5** - Valores dos parâmetros estimados (para a fábrica do peixe)

	$\hat{V}_2$	$\hat{V}_3$	$\hat{V}_4$	$\hat{V}_{31}$	$\hat{V}_{41}$	$\hat{V}_{42}$
m	0.0075	0.1912	0.0495	0.9296	0.57	0.227
b	1584	-141.06	-136.41	8982.6	1562.3	248.67

Sendo:

$\hat{V}_2$ , o valor estimado da energia em função da recolha;

$\hat{V}_3$ , o valor estimado da produção de farinha em função da recolha;

$\hat{V}_4$ , o valor estimado da produção de gordura em função da recolha;

$\hat{V}_{31}$ , o valor estimado da produção de farinha em função da energia;

$\hat{V}_{41}$ , o valor estimado da produção de gordura em função da energia;

$\hat{V}_{42}$ , o valor estimado da produção de gordura em função da produção de farinha.

Resolvendo a metodologia de cálculo com as novas considerações para a função objetivo, os novos parâmetros são:

**Tabela 4.6** - Valores dos parâmetros obtidos (para a fábrica do peixe)

	$\hat{V}_2$	$\hat{V}_3$	$\hat{V}_4$	$\hat{V}_{31}$	$\hat{V}_{41}$	$\hat{V}_{42}$
m	0.0078	0.192	0.0416	0.852	0.5147	0.1861
b	1606.9	-286	320.32	9154.8	1683.1	713.73

Da comparação entres os valores dos parâmetros da tabela 4.5 com os valores dos parâmetros da tabela 4.6, pode-se afirmar que os valores obtidos, são idênticos aos valores estimados na metodologia de cálculo, podendo-se assim afirmar então que os valores dos parâmetros das estimações iniciais são bons e bastante eficientes.

- **Para a fábrica de mamíferos:**

**Tabela 4.7** - Valores dos parâmetros estimados (para a fábrica de mamíferos)

	$\hat{V}_2$	$\hat{V}_3$	$\hat{V}_4$	$\hat{V}_{31}$	$\hat{V}_{41}$	$\hat{V}_{42}$
m	0.0107	0.2047	0.1032	0.863	0.4103	0.3731
b	2048.1	4097.6	1012.5	8889.8	3487.3	383.54

Sendo:

$\hat{V}_2$ , o valor estimado da energia em função da recolha;

$\hat{V}_3$ , o valor estimado da produção de farinha em função da recolha;

$\hat{V}_4$ , o valor estimado da produção de gordura em função da recolha;

$\hat{V}_{31}$ , o valor estimado da produção de farinha em função de energia;

$\hat{V}_{41}$ , o valor estimado da produção de gordura em função de energia;

$\hat{V}_{42}$ , o valor estimado da produção de gordura em função da produção de farinha.

Resolvendo a metodologia de cálculo com as novas considerações para a função objetivo, os novos parâmetros são:

**Tabela 4.8** - Valores dos parâmetros obtidos (para a fábrica de mamíferos)

	$\hat{V}_2$	$\hat{V}_3$	$\hat{V}_4$	$\hat{V}_{31}$	$\hat{V}_{41}$	$\hat{V}_{42}$
m	0.0119	0.1988	0.0967	0.5149	0.2379	0.351
b	2017.9	4220.2	1134.9	9659.4	3809.8	557.25

Da comparação entres os valores dos parâmetros da tabela 4.7 com os valores dos parâmetros da tabela 4.8, pode-se afirmar que os valores obtidos, são idênticos aos valores estimados pela metodologia de cálculo, apenas a estimação de  $\hat{V}_{31}$  é um pouco diferente. No entanto, pode-se afirmar que os valores dos parâmetros das estimações iniciais são bons e bastante eficientes.

## 4.7 - Indicadores (Savinor)

Neste ponto serão identificados os indicadores de produção e de energia para a fábrica do peixe e para a fábrica de mamíferos.

Estes indicadores serão calculados segundo a metodologia implementada no capítulo 3.

- **Para a fábrica do peixe:**

**Tabela 4.9** - Valores da média e do desvio padrão para a subtração da produção estimada pela produção real de farinha (fábrica do peixe)

Média	2.438846316
Desvio padrão	1984.84659

**Tabela 4.10** - Alguns valores do indicador da produção de farinha e as variáveis consideradas (fábrica do peixe)

Produção real	Produção estimada	Produção estimada - Produção real	Distribuição normal	Indicador em %	Indicador informação
7321	9202.884	1881.884	0.82815435	<b>66%</b>	<b>Abaixo do estimado</b>
14224	13752.6792	-471.3208	0.4056673647	<b>-19%</b>	<b>Acima do estimado</b>
15377	12912.3552	-2464.6448	0.106941405	<b>-79%</b>	<b>Acima do estimado</b>
8230	10781.24	2551.24	0.900451773	<b>80%</b>	<b>Abaixo do estimado</b>
17981	17224.1064	-756.8936	0.351021235	<b>-30%</b>	<b>Acima do estimado</b>

**Tabela 4.11** - Valores da média e do desvio padrão para a subtração da produção estimada com a produção real de gordura (fábrica do peixe)

Média	-1.310747368
Desvio padrão	1690.998756

**Tabela 4.12** - Alguns valores do indicador da produção de gordura e as variáveis consideradas (fábrica do peixe)

Produção real	Produção estimada	Produção estimada - Produção real	Distribuição normal	Indicador em %	Indicador informação
1500	4148.31	2648.31	0.941430607	<b>88%</b>	<b>Abaixo do estimado</b>
2000	1357.797	-642.203	0.352343114	<b>-30%</b>	<b>Acima do estimado</b>
2000	2031.69	31.69	0.057785078	<b>2%</b>	<b>Abaixo do estimado</b>
1060	2649.7965	1589.7965	0.826628995	<b>65%</b>	<b>Abaixo do estimado</b>

Quando se cruza a informação do indicador em %, com o indicador de informação, pode-se concluir se a produção está acima ou abaixo de seu valor real e quantificar esse desvio com a observação da percentagem presente no seu indicador respetivo.

Mostra-se a variação do indicador em percentagem para um conjunto de dias selecionados, para a farinha e para a gordura:

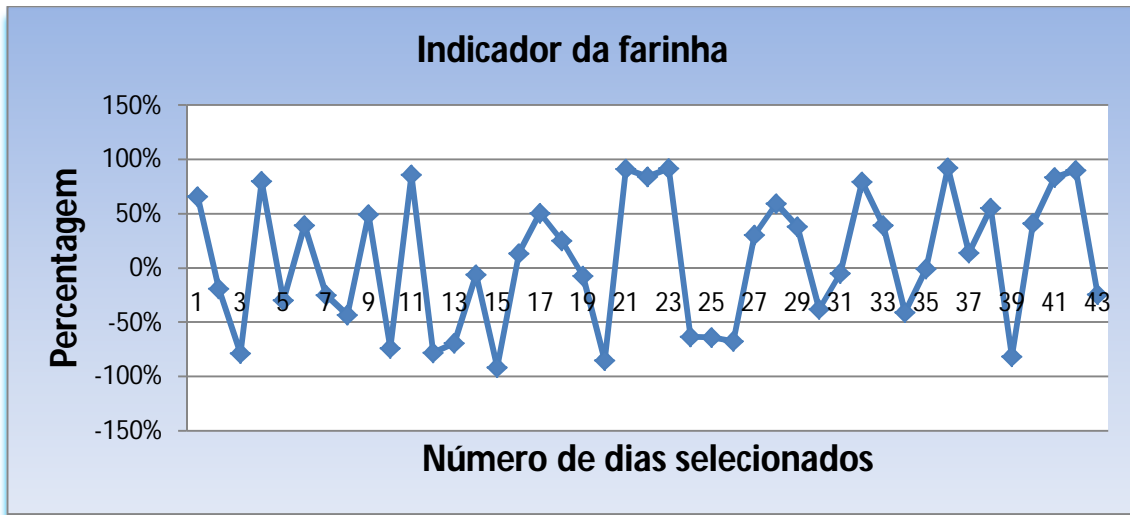


Figura 4.29 - Gráfico do indicador da farinha em % (fábrica do peixe).

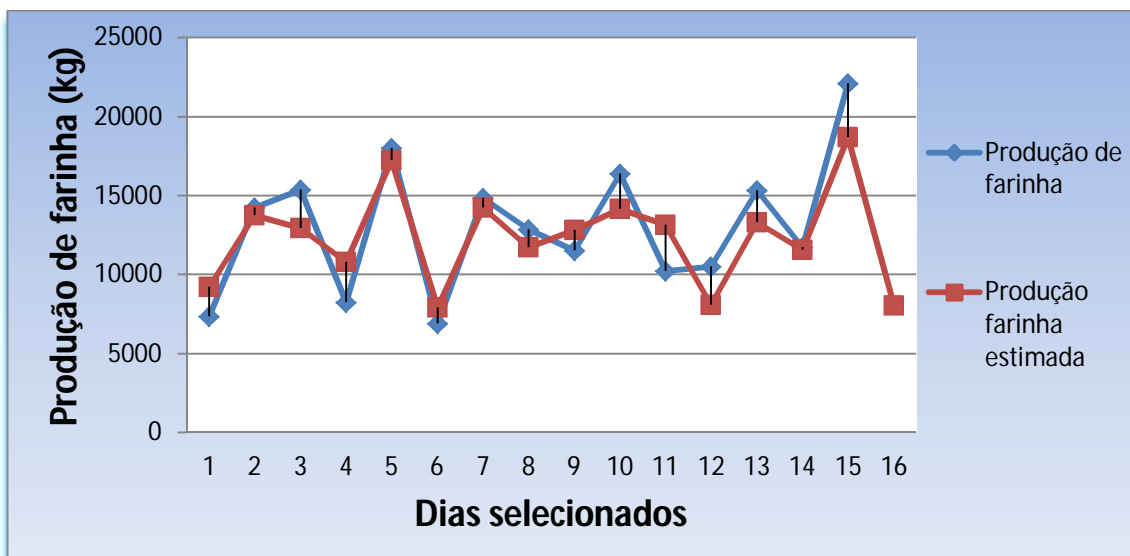


Figura 4.30 - Desvio da produção de farinha em relação ao seu valor estimado.

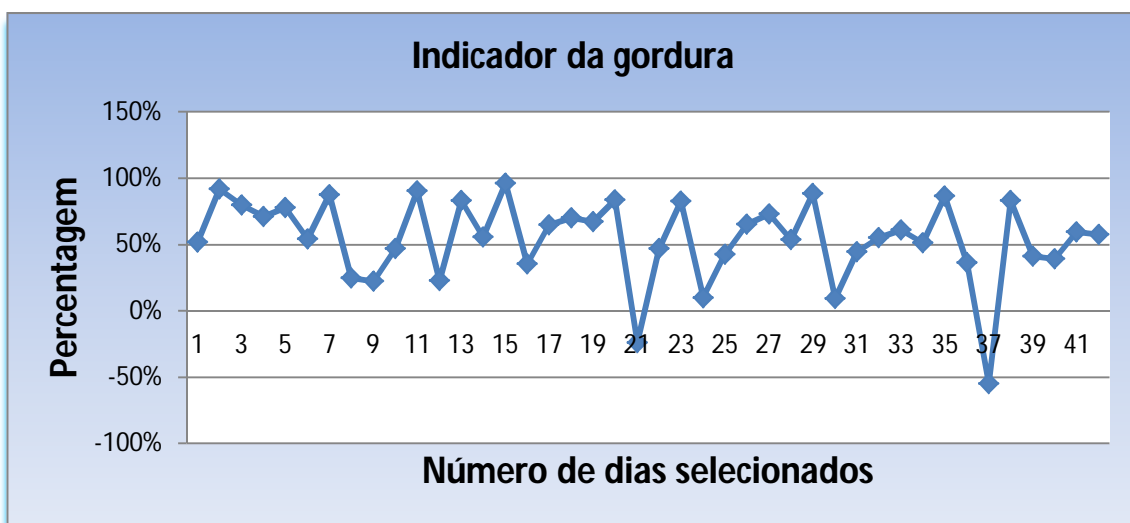


Figura 4.31 - Gráfico do indicador da gordura em % (fábrica do peixe).

Na figura 4.31 mostra a variação do indicador de produção referente à gordura da fábrica do peixe.

- **Para a fábrica de mamíferos:**

**Tabela 4.13** - Valores da média e do desvio padrão para a subtração da produção estimada com a produção real de farinha (fábrica de mamíferos)

Média	-1.128119149
Desvio padrão	2456.783436

**Tabela 4.14** - Alguns valores do indicador da produção de farinha e as variáveis consideradas (fábrica de mamíferos)

Produção real	Produção estimada	Produção estimada - Produção real	Distribuição normal	Indicador em %	Indicador informação
4813	9144.4785	4331.4785	0.961094269	<b>92%</b>	<b>Abaixo do estimado</b>
11044	13241.9584	2197.9584	0.814635322	<b>63%</b>	<b>Abaixo do estimado</b>
7512	8458.3241	946.3241	0.6501211	<b>30%</b>	<b>Abaixo do estimado</b>
11745	7506.4691	-4238.5309	0.042283863	<b>-92%</b>	<b>Acima do estimado</b>
14071	14550.6055	479.6055	0.577568125	<b>16%</b>	<b>Abaixo do estimado</b>

**Tabela 4.15** - Valores da média e do desvio padrão para a subtração da produção estimada com a produção real de gordura (fábrica de mamíferos)

Média	0.412561702
Desvio padrão	1213.506761

**Tabela 4.16** - Alguns valores do indicador da produção de gordura e as variáveis consideradas (fábrica de mamíferos)

Produção real	Produção estimada	Produção estimada - Produção real	Distribuição normal	Indicador em %	Indicador informação
4220	3556.896	-663.104	0.292266263	<b>-42%</b>	<b>Acima do estimado</b>
5000	5622.6504	622.6504	0.695940425	<b>39%</b>	<b>Abaixo do estimado</b>
3200	3210.9696	10.9696	0.503470599	<b>1%</b>	<b>Abaixo do estimado</b>
4200	2731.0896	-1468.9104	0.112984615	<b>-77%</b>	<b>Acima do estimado</b>

Nas tabelas 4.14 e 4.16, estão alguns valores e a informação dos indicadores de produção, quer de farinha quer de gordura.

Mostra-se a variação do indicador em percentagem para um conjunto de dias seleccionados, para a farinha e para a gordura:

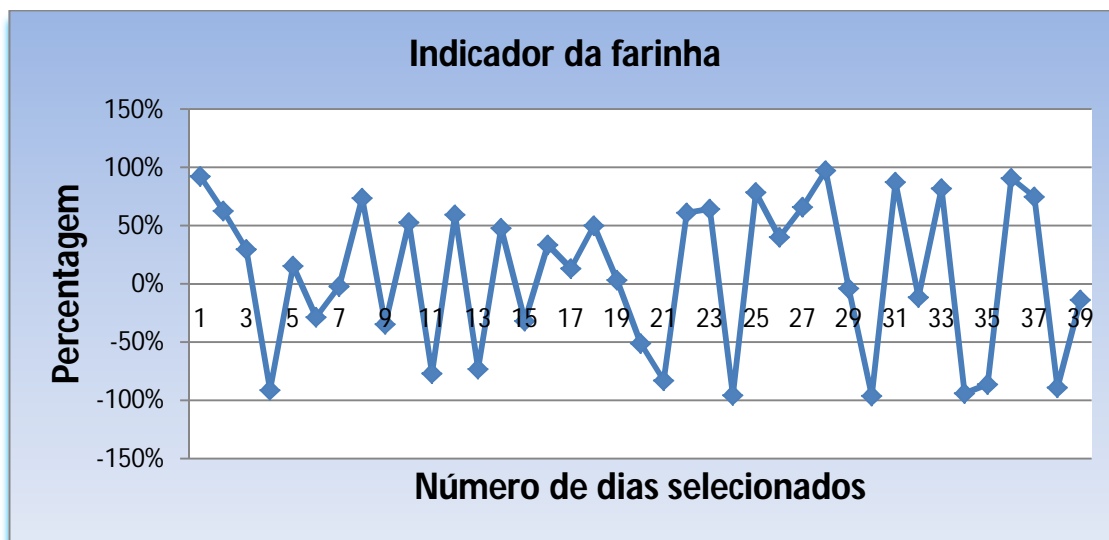


Figura 4.32 - Gráfico do indicador da farinha em % (fábrica de mamíferos).

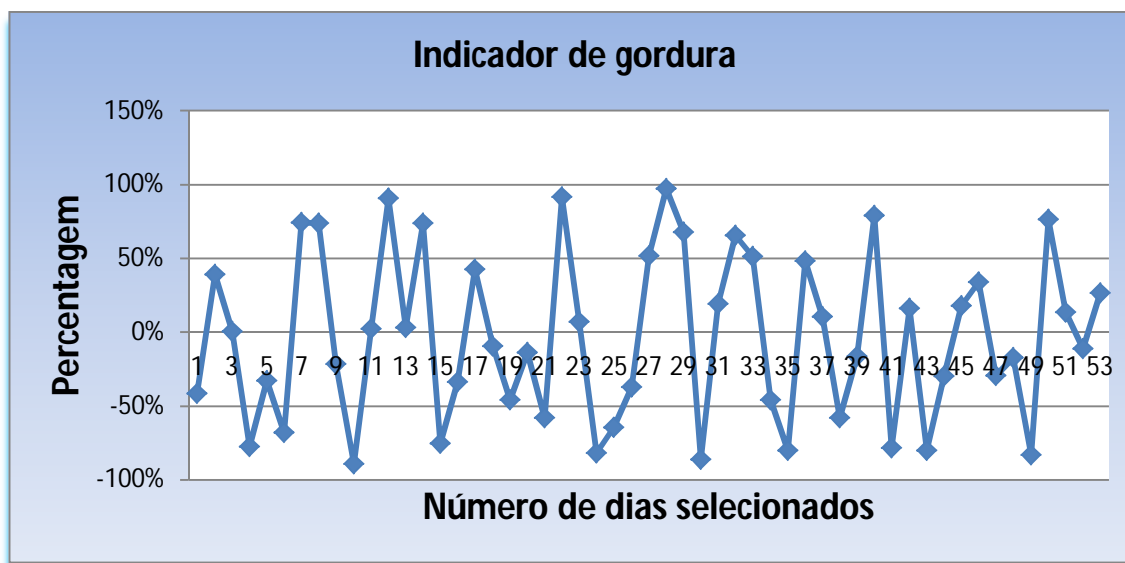


Figura 4.33 - Gráfico do indicador da gordura em % (fábrica de mamíferos).

Nas figuras 4.32 e 4.33, pode-se ver a evolução para alguns dias dos indicadores respetivos.

Os indicadores de energia podem-se obter efetuando uma análise semelhante à realizada para os indicadores de produção. Como tal só se representará o da fábrica do peixe uma vez que para a fábrica de mamíferos o processo é idêntico.

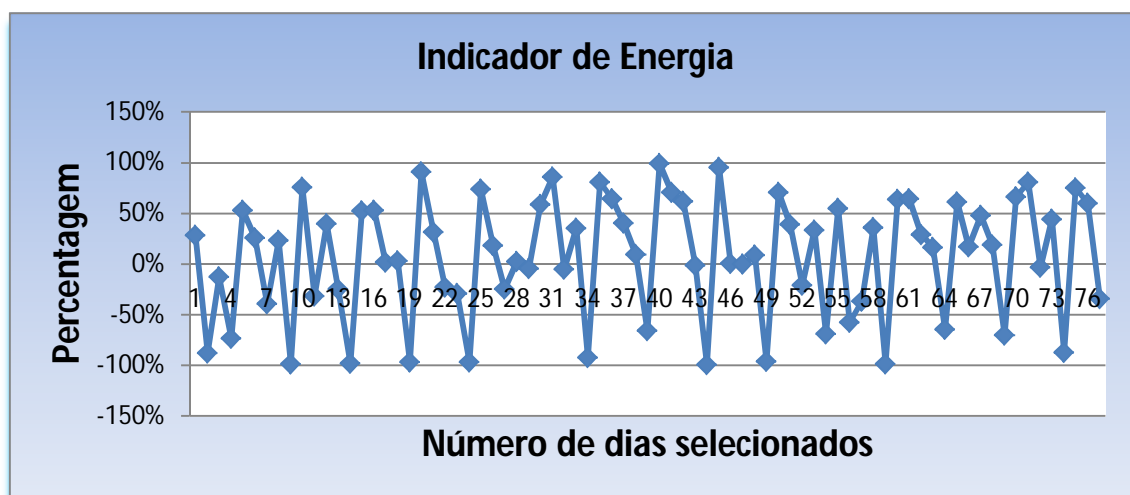
**Tabela 4.17** - Valores da média e do desvio padrão para a subtração da energia estimada com a energia real (fábrica do peixe)

Média	-32.93765629
Desvio padrão	673.9680766

**Tabela 4.18** - Alguns valores do indicador de energia e as variáveis consideradas (fábrica do peixe)

Energia real	Energia estimada	Energia estimada - Energia real	Distribuição normal	Indicador em %	Indicador informação
1738.238	1950.525	212.286841	0.64201566	28%	Abaixo do estimado
3203.269	2128.995	-1074.27443	0.061163066	-88%	Acima do estimado
2238.793	2096.0325	-142.760453	0.435279077	-13%	Acima do estimado
2797.91	2012.4375	-785.472553	0.132088363	-74%	Acima do estimado
1814.106	2265.165	451.059462	0.763661627	53%	Abaixo do estimado

Na tabela 4.12 está presente informação sobre os indicadores de energia para a fábrica do peixe para alguns dias considerados.



**Figura 4.34** - Gráfico do indicador de Energia em % (fábrica do peixe).

Na figura 4.34, pode-se ver a evolução para alguns dias do indicador de Energia da fábrica do peixe.

## 4.8 - Recolha e Tratamento de Dados (Sorgal)

Inicialmente foram fornecidos dados de produção da Sorgal (situada em Ovar), nomeadamente de Peixe e de *Pet-food*, referentes a dois meses (Janeiro e Fevereiro de 2012). Posteriormente foram fornecidos os dados de energia da mesma empresa para posterior relacionamento com os dados de produção.

Quanto aos dados de produção o tratamento dos mesmos consiste numa listagem de toda a diversa produção efetuada nesses dois meses, bem como da hora de início e hora de fim de fabrico e a quantidade de lotes produzidos durante a hora de início até à hora de fim de fabrico. De realçar que a produção da Sorgal é feita por referências, então de determinada hora de início até ao fim de determinado tempo, esteve-se a produzir "x<sub>s</sub>" lotes de uma certa referência.

**Tabela 4.19** - Mapa de produção da Sorgal

Peixes		Mapa de fabrico		
Lote	Referência	Início de fabrico	Fim de fabrico	Total lotes
0000000013	18p5w	08:00	10:00	10100
0000000004	sup6	11:00	15:00	9567
0000000021	tp5	15:45	18:00	10907
0000000010	tp5pc	18:30	20:30	7362

A tabela anterior mostra em exemplo de um mapa de produção da Sorgal.

No que diz respeito aos dados de energia, houve a necessidade de tratamento uma vez que foram recolhidos de hora a hora, tendo-se vinte e três medidas por cada dia do mês.

Estes dados de energia encontram-se compreendidos entre o dia 28 de Julho de 2011 a 9 de Março de 2012.

Uma vez que há apenas dois meses de dados de produção (Janeiro e Fevereiro de 2012) então se irá considerar esses mesmos dois meses respeitantes aos dados de energia.

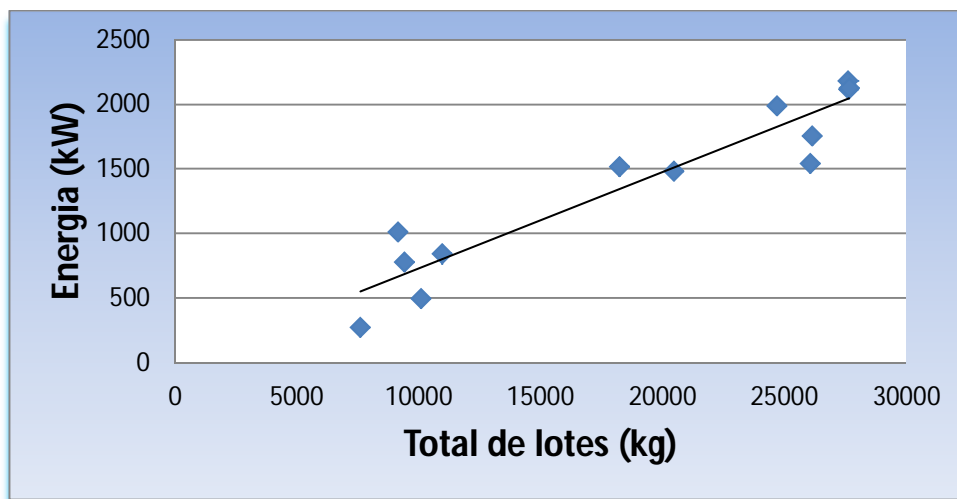
Como existem várias referências distintas e durante um dia de trabalho são feitas varias delas, então como existe horas de início e de fim de fabrico é necessário somar a energia correspondente a esse determinado espaço de tempo, de modo a obter a energia que uma certa referência gastou a ser produzida naquele período de tempo considerado.

## 4.9 - Metodologia de Cálculo (Sorgal)

São criadas parametrizações em igual número dos diferentes tipos de referências distintas que existem, tanto para o peixe como para o *pet-food*. De referir que nem todas as referências foram parametrizadas, uma vez que algumas só tinham um ou dois pontos de produção, o que é inviável para a sua estimação. Sendo assim não se efetua a parametrização dessas referências.

Nos dados da Sorgal temos o volume da produção e o valor da energia gasta durante esse processo, então será feita uma parametrização da energia em função do número de total de lotes produzidos. Como existem várias referências distintas de produção serão caracterizadas apenas duas delas, tanto para o peixe como para o *pet-food*.

- **Para o peixe:**
  - **Referência 18p5w:**



**Figura 4.35** - Relação da Energia em função do número total de lotes (referência 18p5w).

Na figura 4.35 é visível o gráfico da energia em função do número total de lotes. A expressão matemática que caracteriza esta relação é a seguinte:

$$Energia = 0.0745 \times Total\_lotes - 15.559$$

- Referência cmxdor4:

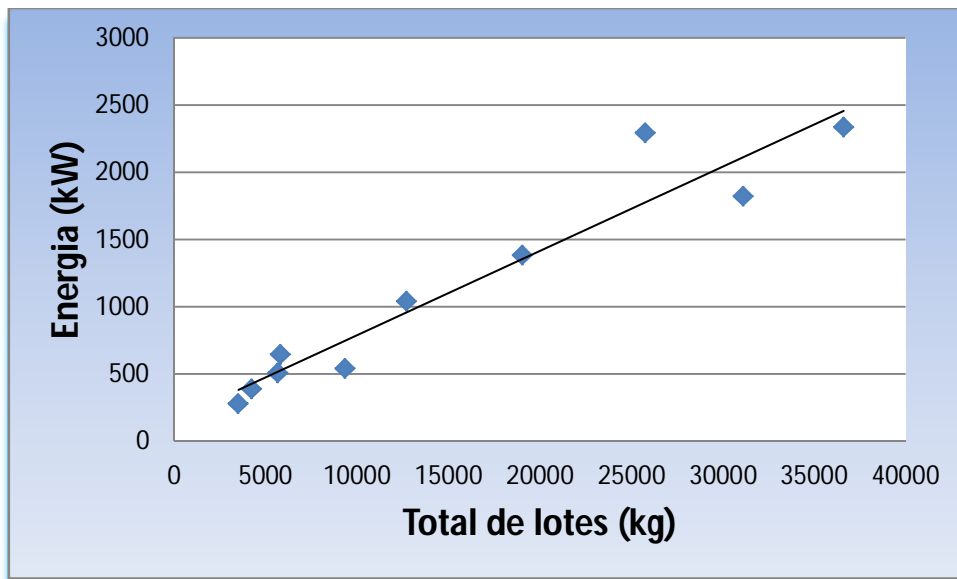


Figura 4.36 - Relação de Energia em função do número total de lotes (referência cmxdor4).

Na figura 4.36 é visível o gráfico da energia em função do número total de lotes. A expressão matemática que caracteriza esta relação é a seguinte:

$$Energia = 0.0626 \times Total\_lotes + 163.15$$

- Para o *pet-food*:

- Referência M27655:

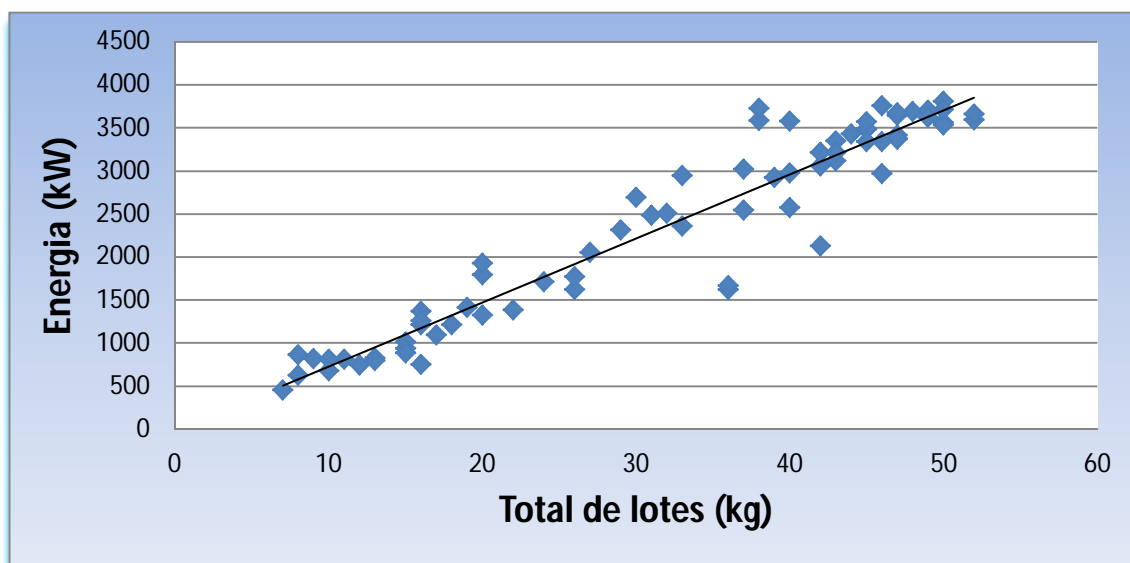
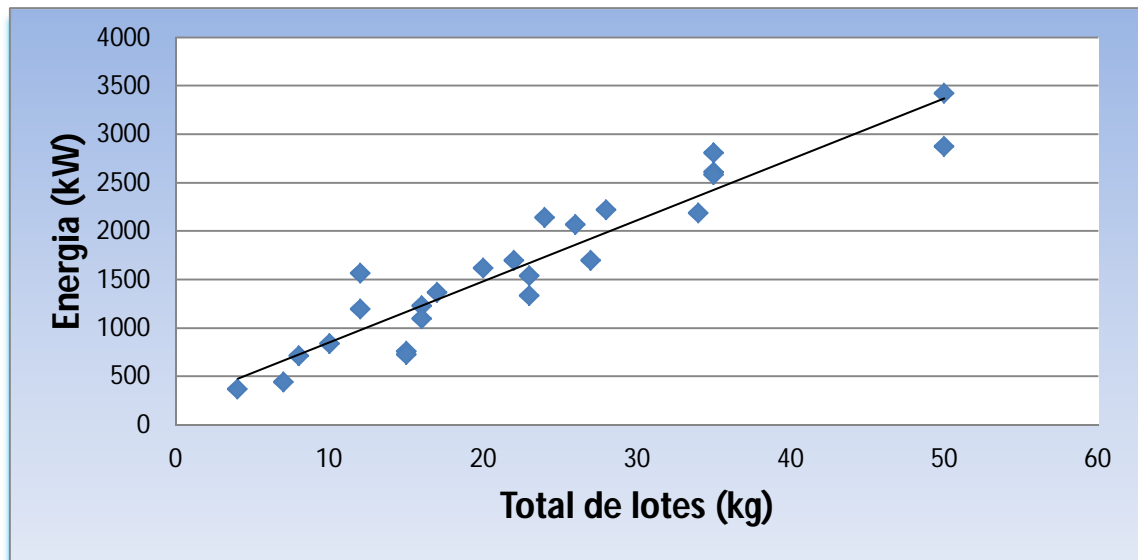


Figura 4.37 - Relação de Energia em função do número total de lotes (referência M27655).

Na figura 4.37 é visível o gráfico da energia em função do número total de lotes. A expressão matemática que caracteriza esta relação é a seguinte:

$$Energia = 74.451 \times Total\_lotes - 18.521$$

- Referência M28250:



**Figura 4.38** - Relação de Energia em função do número total de lotes (referência M28250).

Na figura 4.38 é visível o gráfico da energia em função do número total de lotes. A expressão matemática que caracteriza esta relação é a seguinte:

$$Energia = 62.854 \times Total\_lotes + 226.99$$

Nesta análise não será analisado o resíduo nem a robustez, uma vez que existem poucos valores de produção de cada referência, portanto é assumido que as parametrizações são válidas e conseqüentemente a metodologia de cálculo é válida.

## 4.10 - Indicadores de Energia (Sorgal)

- Para o peixe:

- Referência 18p5w:

**Tabela 4.20** - Valores da média e do desvio padrão para a subtração da energia estimada pela energia real (referência 18p5w)

Média	-0.275469231
Desvio padrão	201.7613498

**Tabela 4.21** - Alguns valores do indicador de energia (referência 18p5w)

Energia real	Energia estimada	Energia estimada - Energia real	Distribuição normal	Indicador em %	Indicador informação
1753.1119	1932.5415	179.4296	0.813449926	<b>63%</b>	<b>Abaixo do estimado</b>
1389.6548	1824.8145	-164.8403	0.207352744	<b>-59%</b>	<b>Acima do estimado</b>
273.9068	550.939	277.0322	0.915346514	<b>83%</b>	<b>Abaixo do estimado</b>

Na tabela 4.21 está presente informação sobre os indicadores de energia para a referência considerada.

- **Referência cmxdor4:**

**Tabela 4.22** - Valores da média e do desvio padrão para a subtração da energia estimada pela energia real (referência cmxdor4)

Média	0.175051
Desvio padrão	210.046172

**Tabela 4.23** - Alguns valores do indicador de energia (referência cmxdor4)

Energia real	Energia estimada	Energia estimada - Energia real	Distribuição normal	Indicador em %	Indicador informação
1043.9617	958.796	-85.1657	0.342262857	<b>-32%</b>	<b>Acima do estimado</b>
1382.7528	1353.6768	-29.076	0.444622309	<b>-11%</b>	<b>Acima do estimado</b>
542.1277	747.208	205.0803	0.835349996	<b>67%</b>	<b>Abaixo do estimado</b>
281.0544	381.624	100.5696	0.683662154	<b>37%</b>	<b>Abaixo do estimado</b>

Na tabela 4.23 está presente informação sobre os indicadores de energia para a referência considerada. Em que é possível verificar se a energia real está acima ou abaixo da estimada e a sua percentagem.

- **Para o pet-food:**

- **Referência M27655:**

**Tabela 4.24** - Valores da média e do desvio padrão para a subtração da produção estimada pela produção real (referência M27655)

Média	0.009068919
Desvio padrão	318.8799637

**Tabela 4.25** - Alguns valores do indicador de energia (referência M27655)

Energia real	Energia estimada	Energia estimada - Energia real	Distribuição normal	Indicador em %	Indicador informação
3478.0595	3331.774	-146.2855	0.323197409	-35%	Acima do estimado
819.3044	651.538	-167.7664	0.299395507	-40%	Acima do estimado
3115.8753	3182.872	66.9967	0.583194113	17%	Abaixo do estimado
3559.4877	3704.029	144.5413	0.674815507	35%	Abaixo do estimado

Na tabela 4.25 está presente informação sobre os indicadores de energia para a referência considerada.

o **Referência M28250:**

**Tabela 4.26** - Valores da média e do desvio padrão para a subtração da produção estimada pela produção real (referência M28250)

Média	-0.008188
Desvio padrão	267.1222229

**Tabela 4.27** - Alguns valores do indicador de energia (referência M28250)

Energia real	Energia estimada	Energia estimada - Energia real	Distribuição normal	Indicador em %	Indicador informação
763.0993	1169.8	406.7007	0.936065249	87%	Abaixo do estimado
2613.4701	2426.88	-186.5901	0.242435744	-52%	Acima do estimado
1332.5197	1672.632	340.1123	0.898540055	80%	Abaixo do estimado
1619.6025	1484.07	-135.5325	0.305954825	-39%	Acima do estimado

Na tabela 4.27 está presente informação sobre os indicadores de energia para a referência considerada.

As tabelas anteriores permitem saber o valor do indicador respectivo e a sua informação, permitem saber se o valor real da energia está acima ou abaixo do valor estimado para a energia.



# Capítulo 5

## Conclusões

### 5.1 - Introdução

Neste capítulo são apresentadas as principais conclusões que se podem retirar do trabalho realizado, tendo em consideração os objetivos que foram traçados inicialmente e o contributo que o trabalho poderá dar para o estudo do tema em questão. São expostas ainda questões para um possível desenvolvimento futuro do estudo realizado.

### 5.2 - Objetivos Alcançados

Para a realização deste trabalho foi efetuada uma pesquisa tendo em vista um estudo sobre sistemas de gestão de energia. Foram analisadas as suas características e os seus aspetos fundamentais. Foi também realizada uma pesquisa sobre *softwares* de gestão de energia, indicando as suas características e funcionalidades bem como os seus campos de aplicação.

Foi elaborada uma metodologia para caracterizar processos industriais reais enquadrando a componente de consumo energético.

Os resultados alcançados pela metodologia elaborada são totalmente aceitáveis, contudo poderiam ser ainda melhores caso existissem mais dados de entrada, ou seja, uma série de dados de produção e energia maiores.

As parametrizações realizadas são muito boas, como se comprovou com os diversos passos da confirmação da robustez da metodologia elaborada.

Os indicadores caracterizam perfeitamente a produção e a energia fornecendo indicações sobre os desvios da produção/energia real em relação à produção/energia estimados.

Um sistema de gestão de energia é uma ferramenta muito importante para a eficiência energética e para a redução dos consumos nas unidades de produção.

### 5.3 - Desenvolvimentos Futuros

Tendo em vista uma perspectiva de desenvolvimento futuro ao estudo desenvolvido, pode-se deixar alguns pontos a explorar:

- Analisar as parametrizações das variáveis com mais dados de produção de modo a que a sua estimação seja mais eficiente.
- Avaliar a possibilidade de poderem ser implementados contadores de energia individualmente em cada máquina do processo industrial de modo a poder saber-se a energia real gasta em cada etapa do processo produtivo.
- Ainda relacionado com o ponto anterior é necessário efetuar-se um estudo dos custos que essa medida pode trazer e relaciona-los com os benefícios que possam surgir.
- Criação de um *software* que englobe o trabalho realizado.

## Referências

- [1] Sebrae, Gestão do Processo Produtivo, 1ª edição, 2007.
- [2] OCDE, Conceito de indicador, 2002, p. 204.
- [3] International Energy Agency, Policy Pathways: Energy Management Programmes for Industry - Gaining through saving, 2012]; Available from: [http://www.iea.org/publications/free\\_new\\_Desc.asp?PUBS\\_ID=2509](http://www.iea.org/publications/free_new_Desc.asp?PUBS_ID=2509).
- [4] João de Jesus Ferreira, Economia e Gestão da Energia.
- [5] João de Jesus Ferreira, A Gestão de Energia: Monitoring & Targeting, Maio de 2005.
- [6] Ferreira, J. J., Indicadores de Eficiência Energética (Portugal): Projeto SAVE/ENR "Cross Country Comparison on Energy Efficiency Indicators", Junho 1995.
- [7] EDP. "Guia da Eficiência Energética". 2008 [cited 2011 29-05-2011]; Available from: [http://www.eco.edp.pt/images/stories/Guia\\_da\\_Eficiencia\\_energetica.pdf](http://www.eco.edp.pt/images/stories/Guia_da_Eficiencia_energetica.pdf).
- [8] Maio de 2012]; Available from: <http://www.petsbest.pt/pt/estrategia.html>.
- [9] Maio de 2012]; Available from: <http://www.petsbest.pt/pt/grupo.html>.
- [10] Maio de 2012]; Available from: <http://www.petsbest.pt/pt/sorgal.html>.
- [11] Maio de 2012]; Available from: <http://www.petsbest.pt/pt/historia.html>.
- [12] Maio de 2012]; Available from: <http://www.portugalio.com/savinor-soc-avicola-do-norte/>.
- [13] International Atomic Energy Agency, Energy Indicators for Sustainable Development: Guidelines and Methodologies, Abril 2005.
- [14] Fluxogramas, Junho de 2012, p.5; Available from: <http://www.ivnet.com.br/educacional/osm/fluxogramas.pdf>.
- [15] International Energy Agency, Energy Efficiency, Junho 2012]; Available from: [http://www.iea.org/subjectqueries/keyresult.asp?keyword\\_id=4122](http://www.iea.org/subjectqueries/keyresult.asp?keyword_id=4122).
- [16] QEnergia, Energy Brain - software de contagem de energia, Junho de 2012]; Available from: <http://www.qenergia.pt/298/energy-brain---software-de-contagem-de-energia.htm>
- [17] QEnergia, Especificações, Junho de 2012]; Available from: <http://www.qenergia.pt/uploader/index.php?action=download&field=http://www.qenergia.pt/files/7f400e9115ebf464208c82979facee8c7f959082.doc&fileDesc=Especificacoes-Gestao-de-Consumos>.
- [18] QEnergia, Softwares de gestão de energia, Junho de 2012]; Available from: <http://www.qenergia.pt/129/software-de-gestao-de-energia-energy-brain.htm>.
- [19] QEnergia, Energy Brain, Junho de 2012]; Available from: <http://www.qenergia.pt/uploader/index.php?action=download&field=http://www.qenergia>

- [rgia.pt/files/1d112793e259ae3a070f0e30144782b66d6254d4.pdf&fileDesc=Apresentacao-Energy-Brain](http://rgia.pt/files/1d112793e259ae3a070f0e30144782b66d6254d4.pdf&fileDesc=Apresentacao-Energy-Brain).
- [20] Elipse software, Gerenciamento de Sistemas de Energia]; Available from: [http://www.elipse.com.br/get/E3%5Cv3.5%5CBuid328%5Celipse\\_POWER\\_folder\\_BR\\_pages.pdf](http://www.elipse.com.br/get/E3%5Cv3.5%5CBuid328%5Celipse_POWER_folder_BR_pages.pdf).
- [21] Scheneider Electric, PowerLogic Software, Junho 2012]; Available from: [http://www.powerlogic.com/product.cfm/c\\_id/2/sc\\_id/16/p\\_id/31#](http://www.powerlogic.com/product.cfm/c_id/2/sc_id/16/p_id/31#).
- [22] Bunse, K., et al., Integrating energy efficiency performance in production management - gap analysis between industrial needs and scientific literature. Journal of Cleaner Production, 2011.19(6-7): p. 667-679.
- [23] Programming Solutions Ltd, Circutor Energy Monitoring, Junho 2012]; Available from: <http://www.psl.eu.com/Circutor%20Energy%20Monitoring.html>.
- [24] Rossana Fraga Benites, Distribuições Contínuas de Probabilidade; Available from: [http://www.pucrs.br/famat/rossana/educacao2/Dist\\_Normal.pdf](http://www.pucrs.br/famat/rossana/educacao2/Dist_Normal.pdf).
- [25] Wikipédia, Método dos mínimos quadrados, Junho 2012] Available from: [http://pt.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9todo\\_dos\\_m%C3%ADnimos\\_quadrados](http://pt.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9todo_dos_m%C3%ADnimos_quadrados).
- [26] Miranda, V., Redes Neurais - Treino por Retropropagação, in Documentos de apoio - Decisão, Otimização e Inteligência Computacional. 2007: FEUP.
- [27] Chatterjee, S., Bertram, P. Regression analysis by example. New York: John Wiley & Sons, Inc. 1991.