



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Departamento de Engenharia Mecânica

ISEL



Avaliação da Auto-Suficiência Energética na Indústria Nacional Arrozeira

DIOGO VICENTE FERNANDES DOS SANTOS
(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Mecânica

Orientadores:

Prof. Eng.º Eduardo Manuel Dias Lopes
Prof.ª Doutora Isabel Simões de Carvalho

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Jorge Mendonça e Costa

Vogais:

Prof. Especialista Francisco Manuel Fernandes Severo
Prof. Doutor Paulo Miguel Marques Fontes

Janeiro 2014

Capítulo 1

Introdução

A elaboração do presente documento encontra-se destinada a todo o público em geral que tenha interesse na área de energia. Como tal, houve uma tentativa de expor os conteúdos de forma clara e sucinta, a partir de um vocabulário simples e uma numerosa apresentação de figuras e tabelas de forma a permitir uma melhor compreensão dos assuntos expostos.

1.1. Enquadramento

O consumo energético em Portugal pode dividir-se em diversos sectores, sendo a indústria e os transportes aqueles que apresentam maior preponderância, representando nos últimos 20 anos 30,7% e 34,8% do consumo energético nacional, respectivamente, tal como apresentado na Figura 1.1.

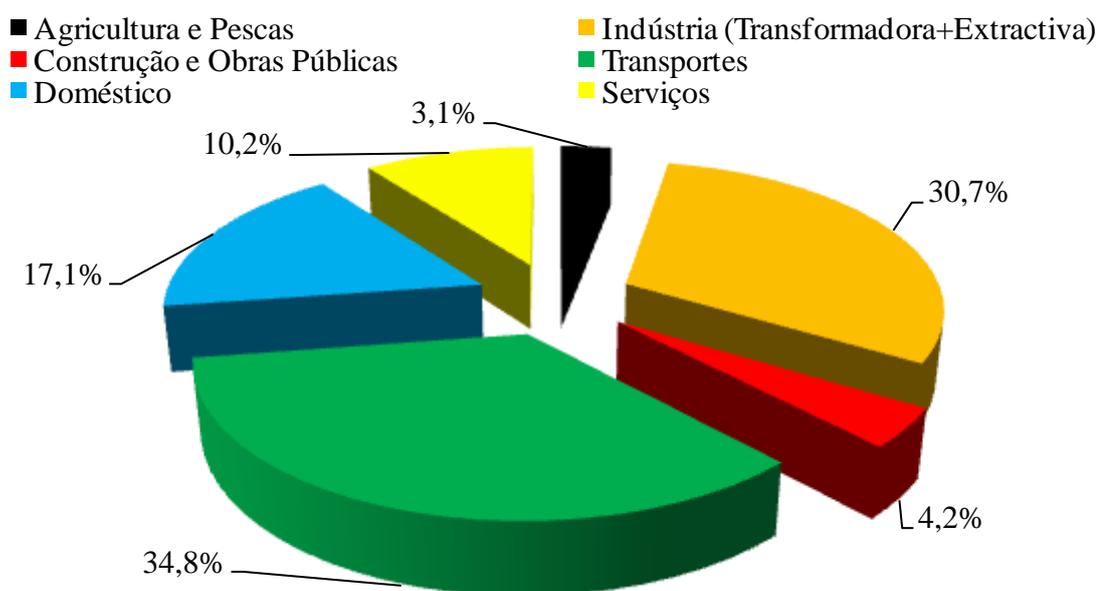


Figura 1.1 - Desagregação do consumo energético nacional por sectores nos últimos 20 anos [1]

A indústria alimentar representou nos últimos 20 anos cerca de 10% do consumo energético total no sector industrial, nomeadamente 5,1 milhões de tep, apresentando-se como a quinta indústria mais consumidora em Portugal (Figura 1.2).

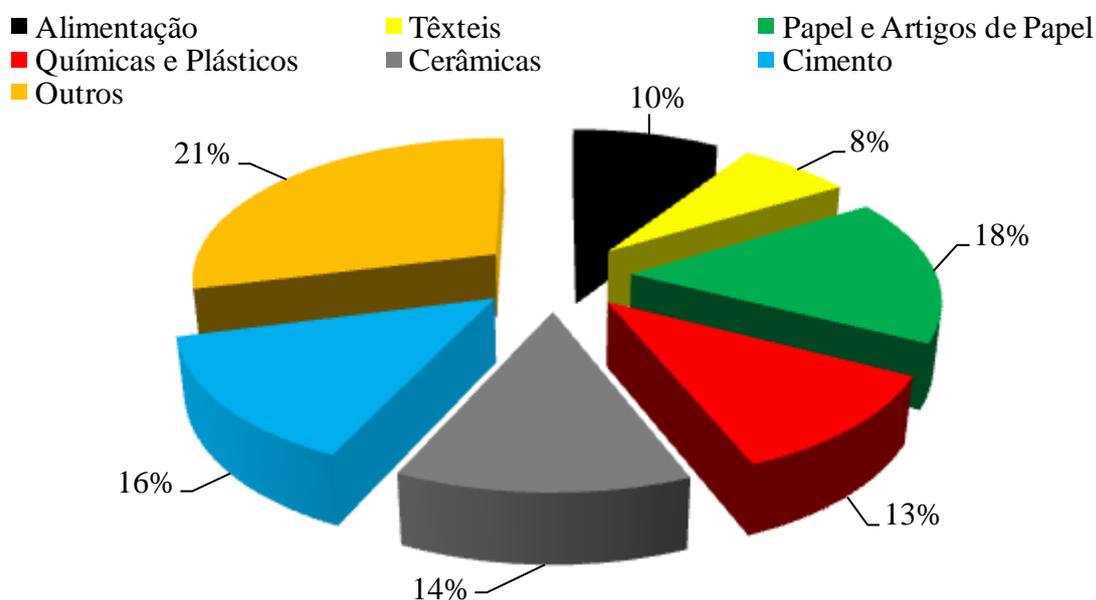


Figura 1.2 - Desagregação do consumo energético nacional no sector industrial nos últimos 20 anos [1]

A indústria arroseira, pertencendo ao sector alimentar, representou nos últimos 20 anos cerca de 1% do consumo energético total nesse sector, nomeadamente 4843 tep, sendo essencialmente dependente de três formas de energia, nomeadamente a energia eléctrica, o gás natural e o gasóleo.

Na figura 1.3 pode verificar-se que no período compreendido entre 2009 a 2011 a energia eléctrica foi a forma de energia mais consumida no sector arroseiro, representando cerca de 64% do consumo energético total, nomeadamente 3522 tep. O gás natural e o gasóleo não apresentaram tanta relevância em termos de consumo, representando 25% e 11% do consumo energético total, respectivamente, o que equivale a 1390 tep e 624 tep.

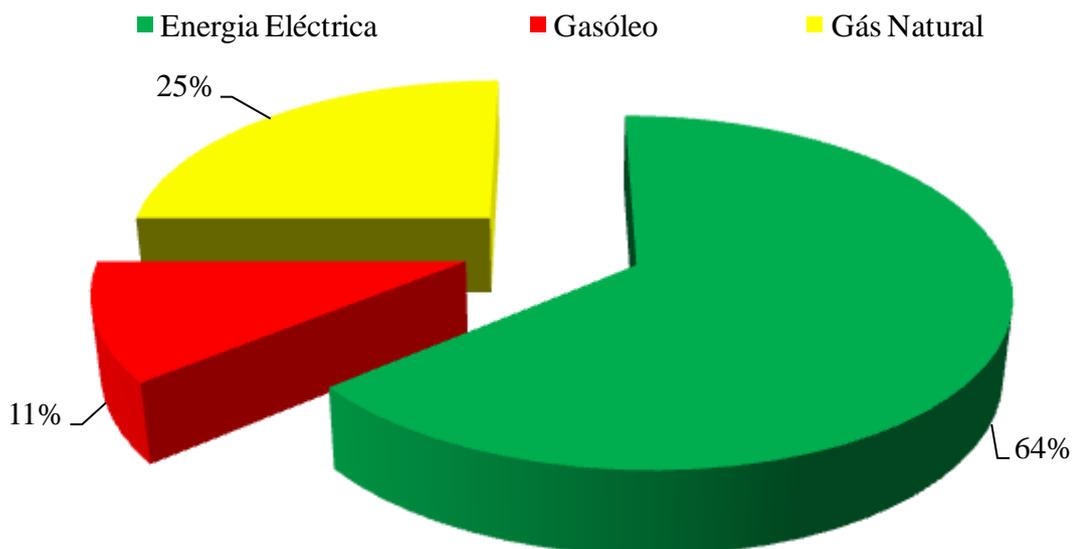


Figura 1.3 - Desagregação do consumo energético na indústria arroseira no período de 2009 a 2011 [2]

Devido a diversos factores prevê-se que o custo associado a estas formas de energia continuará a aumentar nos próximos vinte anos (Figura 1.4), constituindo um problema actual nos diversos sectores consumidores intensivos de energia. Estima-se que para o período mencionado os custos com energia eléctrica, gás natural e gás natural aumentem cerca de 25% e 15%, respectivamente.

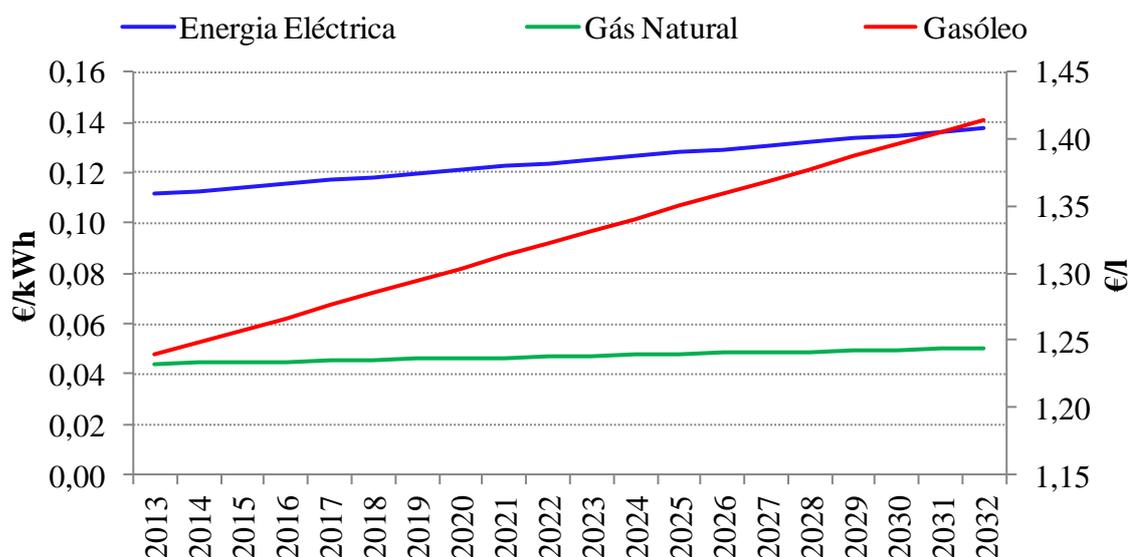


Figura 1.4 - Previsão do preço dos combustíveis no período compreendido entre 2013 a 2032 [3, 4]

Actualmente os industriais de arroz vêm os custos de produção cada vez mais elevados resultando numa tendência crescente na importação de produto acabado, contribuindo assim para o défice económico nacional. Com base na Figura 1.4 torna-se perceptível que esta situação irá agravar-se podendo apresentar repercussões muito negativas, tal como o encerramento das unidades fabris com menor dimensão, queda acentuada no cultivo de arroz em território nacional, aumento acentuado nas taxas de importação, etc.

1.2. Objectivos

O principal objectivo da presente dissertação consiste em encontrar soluções para reduzir a dependência das formas de energia consumidas no sector nacional arroseiro a partir da exploração dos subprodutos gerados no processo de transformação do arroz como biomassa*.

Desta forma, é apresentado nesta dissertação um trabalho actual, havendo sempre consciência da sua exequibilidade, podendo servir de exemplo às demais indústrias que se encontrem numa situação idêntica.

1.3. Estrutura da Dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em seis capítulos, tendo este ponto o objectivo de introduzir o âmbito de cada um deles.

Capítulo 2 - Retrato da Produção, Comercialização e Consumo de Arroz, analisa-se a produção de arroz *paddy** nos diversos continentes e países de forma a conhecer-se a representatividade que Portugal apresenta no contexto Mundial e Europeu.

Neste capítulo são também analisadas algumas das causas que provocam o aumento da taxa de importação de arroz e, conseqüentemente, uma diminuição crescente da quantidade de cascas geradas na indústria nacional arroseira.

* A definição desta palavra encontra-se apresentada no Glossário (página 131).

Capítulo 3 - Caracterização do Processo de Transformação do Arroz, compreende o desenvolvimento e o estudo detalhado dos processos de transformação de arroz em Portugal.

Neste capítulo também se efectua um balanço mássico e energético no sector arrozeiro nacional de forma a evidenciarem-se as principais formas de energia consumidas e os subprodutos gerados.

Capítulo 4 - Aproveitamento Energético dos Subprodutos Gerados no Processamento do Arroz, apresenta as principais tecnologias que poderão ser aplicadas na conversão de cascas de arroz em energia eléctrica e/ou calor.

Além disso, são apresentados os principais problemas técnicos que poderão ocorrer na prática aquando da implementação de cada uma das tecnologias analisadas.

Capítulo 5 - Caso de Estudo, efectua-se uma análise técnico-económica da exploração de cascas de arroz para produção de energia eléctrica e/ou calor na indústria nacional arroseira a partir de diversas tecnologias actualmente aceites para essa finalidade.

Consequentemente, todos os resultados alcançados serão aqui discutidos.

Capítulo 6 – Conclusões e Trabalhos Futuros, sintetiza as conclusões e as conquistas desta dissertação, para além de fornecer uma lista de sugestões e recomendações de perspectivas de trabalho futuro.

Capítulo 2

Retrato da Produção, Comercialização e Consumo de arroz

Neste capítulo analisa-se a produção de arroz *paddy* nos diversos continentes e países de forma a conhecer-se a representatividade que Portugal apresenta no contexto Mundial e Europeu. A quantidade de arroz produzida num determinado país regra geral não acompanha o seu consumo humano devido a diversos factores que serão mencionados neste capítulo. Esses factores provocam o comércio deste cereal entre os diversos países, levando-os a importar ou exportar este cereal conforme a sua produção seja inferior ou superior face ao seu consumo anual.

O Anexo I apresenta a função de interiorizar o leitor na temática da tese em epígrafe de forma a adquirir alguns conhecimentos que poderão ser úteis para a compreensão do que será abordado posteriormente, portanto sugere-se a leitura desse Anexo previamente aos restantes capítulos que se seguem.

2.1. O arroz no Mundo

Nos últimos cinquenta anos a produção de arroz *paddy* nos continentes Asiático, Africano e Americano tem aumentado significativamente. Por conseguinte, o continente Europeu e a Oceânia não apresentaram a mesma tendência. Durante o período referido, a produção no continente europeu tem apresentando uma tendência crescente, no entanto devido ao desmembramento da União Soviética houve uma queda produtiva no período de 1990 a 1995. Na Oceânia a produção de arroz *paddy* apresentou um comportamento crescente até ao ano 2000 decrescendo a partir daí (Figura 2.1).

A partir da Figura 2.1 pode também constatar-se que o continente Asiático é claramente aquele que mais produziu arroz *paddy* em todo o mundo para o período

referido, apresentando uma produção média de aproximadamente 415,6 milhões de toneladas/ano, que corresponde a 91,2% da produção mundial.

Os continentes Americano e Africano produziram uma média de respectivamente 23,8 milhões de toneladas/ano e 12 milhões de toneladas/ano, que correspondem a 5,2% e 2,6% da produção mundial (Figura 2.2).

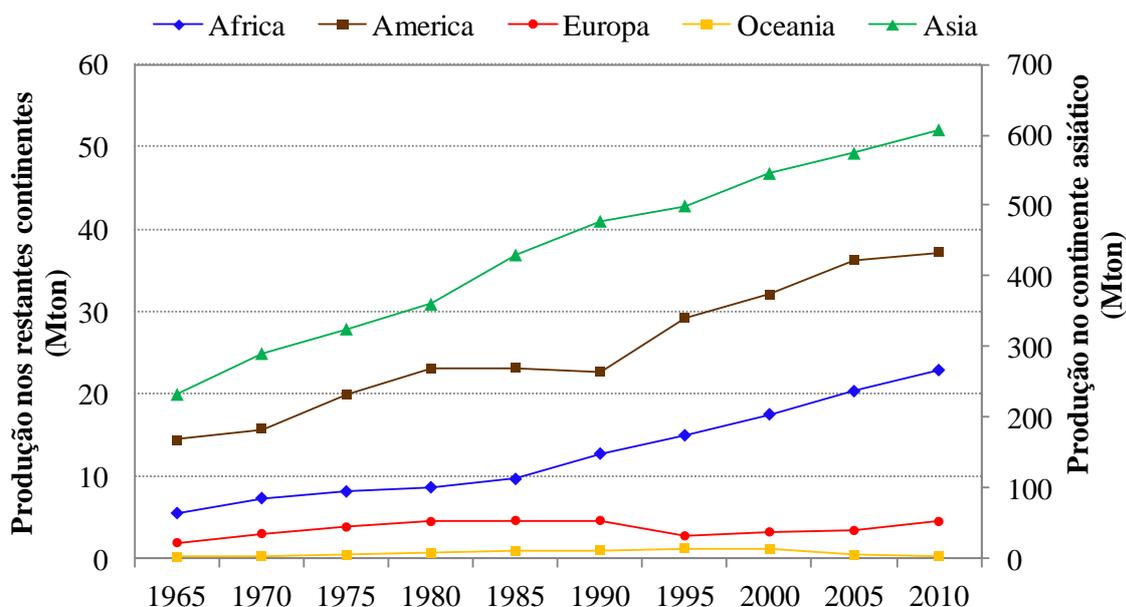


Figura 2.1 - Produção de arroz paddy ao nível mundial [5]

Por fim, os continentes Europeu e a Oceânia produziram uma média de 3,4 milhões de toneladas/ano e 632 mil toneladas/ano, correspondendo a 0,8% e 0,1% da produção mundial, respectivamente [Anexo II].

Apesar de se verificar uma produção de arroz *paddy* na Europa e Oceânia praticamente insignificante face aos outros continentes, as produtividades médias no cultivo deste cereal nestes dois continentes foram as mais elevadas, sendo de 4597 kg/ha e 6530 kg/ha, respectivamente.

Por conseguinte, o continente Africano apresentou uma produtividade média extremamente baixa comparativamente com os restantes continentes, sendo de 2033 kg/ha e o continente Americano e Asiático apresentaram produtividades médias semelhantes, sendo de 3122 kg/ha e 3191 kg/ha, respectivamente [Anexo III e IV].

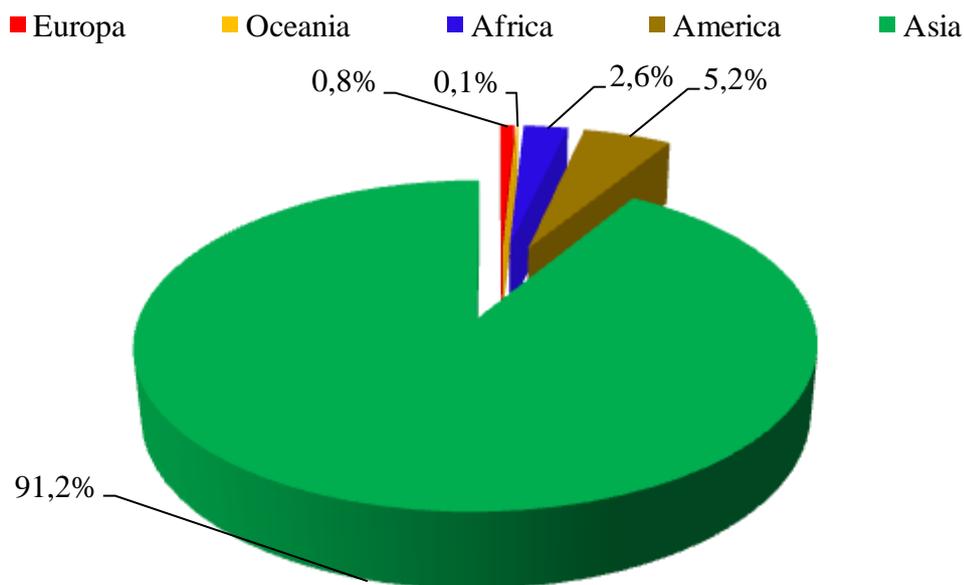


Figura 2.2 - Desagregação percentual da produção de arroz *paddy* nos diferentes continentes [5]

2.2. O arroz na Europa

No continente europeu existem diversos países onde se cultiva o cereal de arroz e para efeitos de análise serão apenas abordados os países mais representativos em termos de produção.

Devido ao facto de se ter optado por respeitar o mesmo período de análise (1961-2010), considera-se pertinente dividir esta análise em dois períodos distintos, nomeadamente antes e após o desmembramento da União Soviética visto que ocorreram alterações significativas inerentes a este acontecimento.

Entre 1965 e 1991 a produção de arroz *paddy* nos principais países produtores apresentou um comportamento crescente, exceptuando Portugal que não apresentou a mesma tendência, verificando-se um decréscimo na produção.

Após o desmembramento da União Soviética até à actualidade, a Rússia continua a ser um dos principais países europeus produtores de arroz, contudo a Itália representa o país que mais produz na Europa. Em termos gerais verifica-se que todos os países têm apresentado uma produção crescente e Portugal representa actualmente a quinta maior potência Europeia em termos de produção de arroz *paddy* (Figura 2.3).

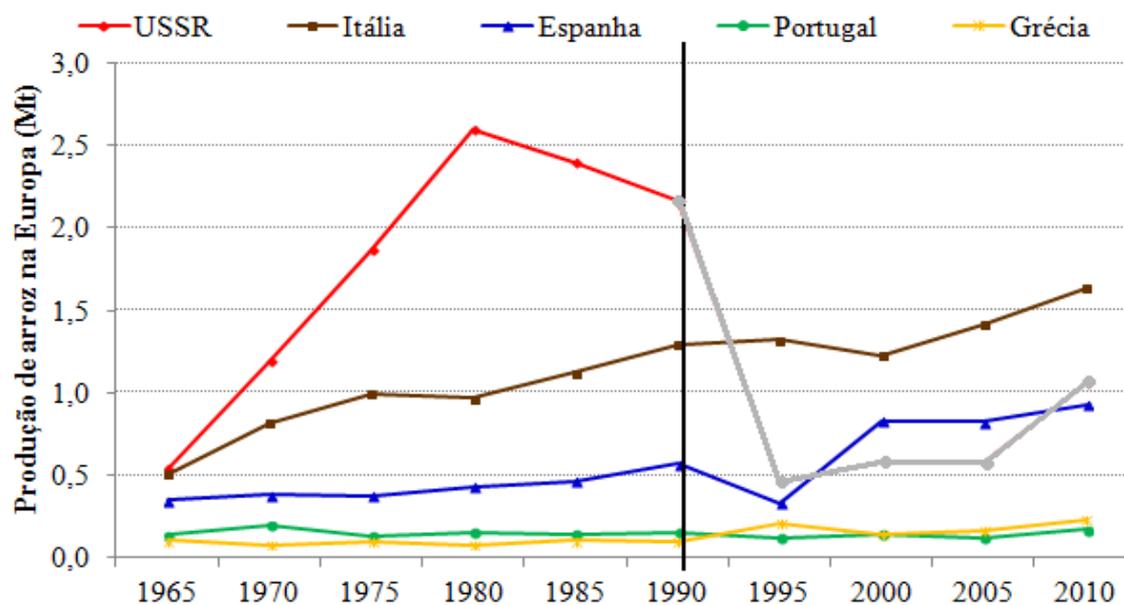


Figura 2.3 - Produção de arroz *paddy* nos principais países Europeus [5, 6]

Entre 1961 e 1991, a União Soviética apresentou o valor mais elevado na produção média de arroz, correspondendo a aproximadamente 1,6 milhões de toneladas/ano e 47,4% da produção europeia de arroz (Figura 2.4). A Itália e a Espanha apresentaram uma produção média de aproximadamente 908 mil toneladas/ano e 408 mil toneladas/ano, correspondendo a 26,1% e 11,7% da produção europeia de arroz, respectivamente. Portugal apresentava-se como o quarto maior produtor de arroz na Europa seguido da Grécia com produções médias de aproximadamente 147 mil toneladas/ano [6] e 93 mil toneladas/ano, correspondendo a 4,2% e 2,7% da produção europeia de arroz, respectivamente [Anexo V].

Após ocorrer o desmembramento da União Soviética [Anexo VI], a Itália e Espanha passaram a ser os maiores produtores de arroz em casca europeus, apresentando uma produção média de aproximadamente 1,4 milhões de toneladas/ano e 725 mil toneladas/ano, correspondendo a 42,4% e 21,9% da produção europeia, respectivamente (Figura 2.5).

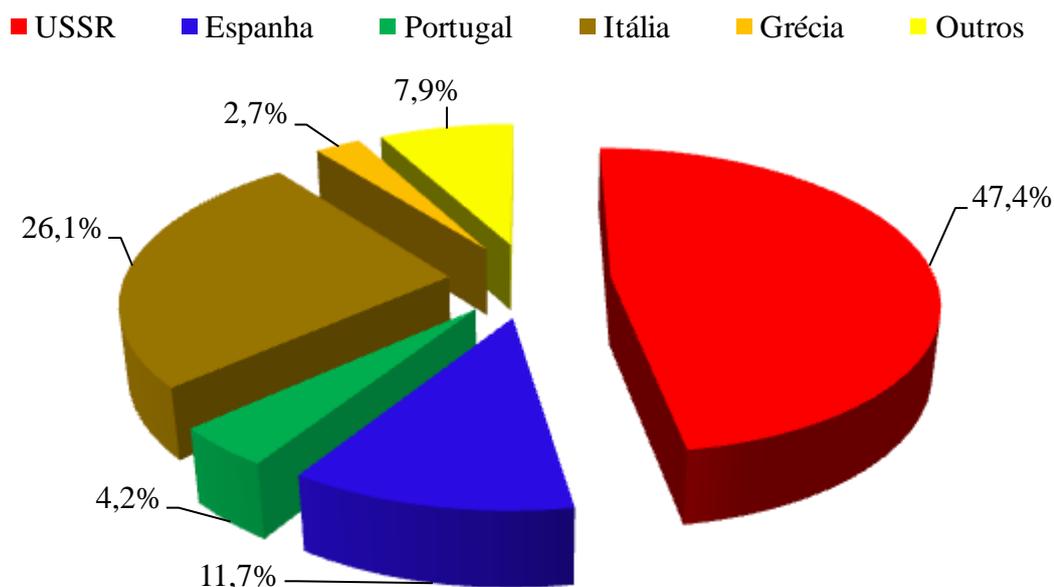


Figura 2.4 - Produção de arroz *paddy* na Europa (1961-1991) [5]

A Rússia e a Grécia apresentam uma produção média de aproximadamente 587 mil toneladas/ano e 178 mil toneladas/ano, correspondendo a 17,8% e 5,4% da produção europeia de arroz, respectivamente. Portugal apresenta uma produção média de aproximadamente 143 mil toneladas/ano, correspondendo a 4,3% da produção europeia de arroz *paddy* [5, 6].

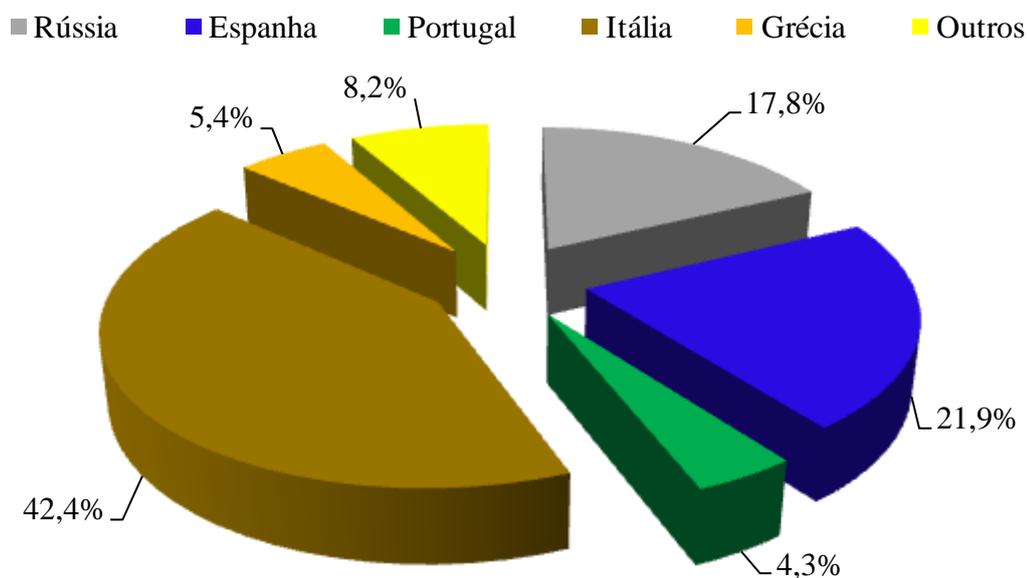


Figura 2.5 - Produção de arroz *paddy* na Europa (1991-2010) [5]

2.3. O arroz em Portugal

Até ao século XVIII a produção nacional de arroz não apresentava grande relevância, sendo essencialmente consumida por parte das classes sociais mais favorecidas, mas a partir desse período começaram a surgir alguns incentivos de forma a aumentar a produção de arroz nacional. No entanto devido às técnicas de cultivo serem extremamente rudimentares, originavam-se zonas de águas paradas propícias ao desenvolvimento de insectos, motivando a população a atribuir à cultura do arroz a responsabilidade de diversas doenças (exemplo: paludismo*), causando a proibição do cultivo de arroz. Somente em meados do século XIX começaram a estabelecer-se as bases para a produção de arroz em Portugal [7-10].

2.3.1. Produção, Produtividade e Área cultivada de arroz

Actualmente cultiva-se maioritariamente arroz carolino e agulha na bacia do Mondego (Figueira da Foz, Coimbra), nas bacias da Beira Baixa, na bacia do Sado (Alcácer do Sal), na bacia dos afluentes do Tejo e nas represas a Sul devido essencialmente às condições climáticas e geográficas desses locais [7, 8].

Na Figura 2.6 apresenta-se a produção de arroz nacional e a respectiva área de cultivo nas últimas 5 décadas.

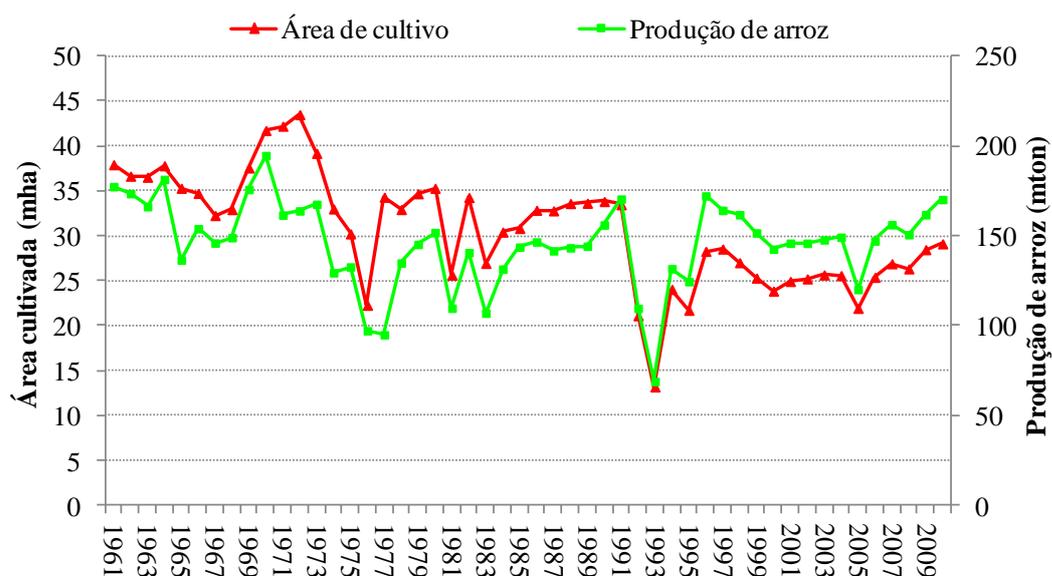


Figura 2.6 - Produção e área de cultivo de arroz em Portugal (1961-2010) [5, 6]

* A definição desta palavra encontra-se apresentada no Glossário (página 131).

Em termos gerais, verifica-se que a área de cultivo média em Portugal nas últimas cinco décadas foi de aproximadamente 31 mil hectares, representando 4% de toda a área de cultivo de arroz europeia [5, 6]. No período de 1967-2002 houve um decréscimo na área cultivada de aproximadamente 34% e nos períodos de 1961-1966 e 2003-2010 houve um crescimento de aproximadamente 2,3% e 15%, respectivamente [Anexo VII].

O decréscimo acentuado na área de cultivo de arroz pode ser explicado a partir de ajudas directas que foram fornecidas por parte da PAC* aos orizicultores que viam o preço do arroz e a produtividade por hectare bastante baixos, motivando-os a reduzir a área de cultivo [6].

No que diz respeito à produção de arroz nacional nas últimas cinco décadas, o seu valor médio foi de aproximadamente 146 milhares de toneladas, representando 4,3% de toda a produção de arroz europeia [5, 6]. Nos períodos de 1961-1986 e 2000-2006 deu-se um decréscimo na produção de aproximadamente 26% e 1%, respectivamente, e nos períodos de 1987-1999 e 2007-2010 verificou-se um aumento da produção de aproximadamente 12% e 10%, respectivamente [Anexo VIII].

A produção de arroz e a respectiva área de cultivo não são totalmente dependentes uma da outra visto que se obteve a partir do método dos mínimos quadrados um factor de correlação de 0,63 [Anexo X]. A partir deste valor pode concluir-se que a produção de arroz depende de facto da respectiva área de cultivo, no entanto existem outros factores que também influenciam a produção, tais como as condições climáticas (radiação solar, a temperatura ambiente, a taxa de precipitação, etc), a qualidade dos solos, as técnicas de cultivo praticadas e a ocorrência de fenómenos inesperados (pragas de insectos) [5].

Devido ao facto de existir mais do que um factor que influencia a produção de arroz, cada espaço físico possui uma determinada produtividade.

Na figura 2.7 apresenta-se a produtividade de cultivo obtida em Portugal nos últimos 50 anos e, para o período referido, a orizicultura* Portuguesa caracterizou-se por um bom nível de produtividade, apresentando um valor médio de aproximadamente 4862 kg/ha, sendo superior em 6% relativamente à média europeia. Desta forma, Portugal apresenta-se como o quarto país europeu com a maior produtividade média no cultivo de arroz.

No período de 1980-2004 houve um aumento da produtividade de aproximadamente 49% e nos períodos de 1961-1979 e 2005-2010 houve um decréscimo de aproximadamente 26% e 4%, respectivamente [Anexo IX].

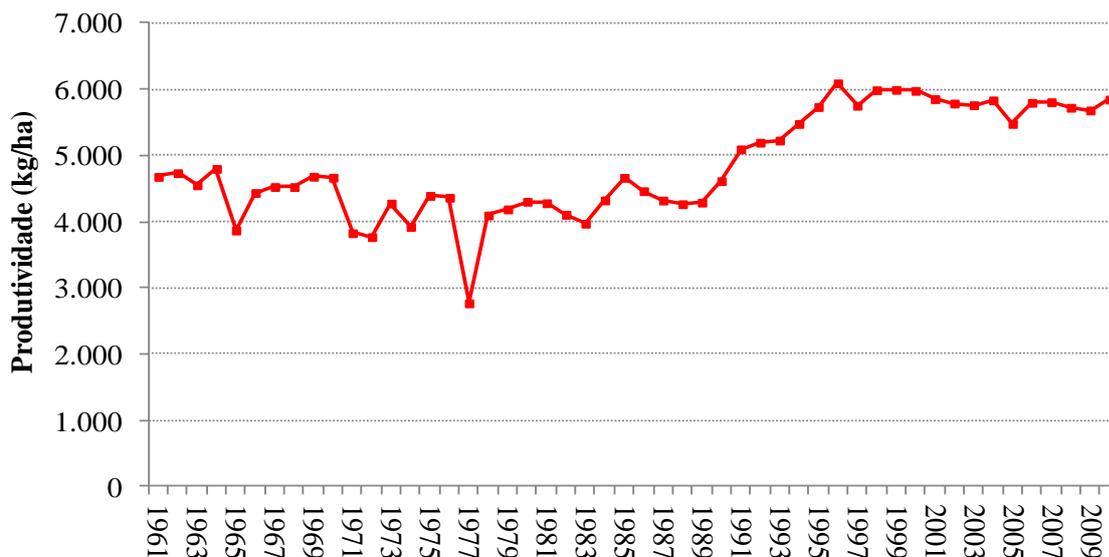


Figura 2.7 - Produtividade no cultivo de arroz em Portugal (1961-2010) [5, 6]

2.3.2. Funcionamento do mercado arrozeiro nacional

A gastronomia portuguesa propicia o consumo elevado do cereal do arroz, gerando-se necessidades básicas de consumo. Assim, terá de existir uma relação mutuamente benéfica de compra e venda entre quem produz o arroz *paddy*, quem o transforma e quem o consome, constituindo o que se designa por mercado.

Assim, os sujeitos activos que constituem o mercado arrozeiro são os orizicultores, as empresas transformadoras de arroz e os consumidores. Os orizicultores são os responsáveis por produzir os diferentes tipos de arroz *paddy*, que posteriormente serão transformados por parte das empresas transformadoras de arroz em dois estados de processamento básicos: arroz em película e branqueado. Posteriormente, as empresas comercializarão os diferentes tipos de arroz processados de forma a satisfazer as necessidades dos consumidores [11-14].

O que irá regular todo o mercado nacional será a necessidade de consumo de arroz branqueado* ou em película por parte da sociedade portuguesa, levando as empresas transformadoras de arroz a disponibilizar as quantidades necessárias que satisfaçam os consumidores.

Em Portugal o consumo de arroz tem vindo a aumentar, verificando-se no período compreendido entre 1983 e 2009 um consumo médio de 155 milhares de toneladas de arroz branqueado e em película [6], representando um consumo per capita de 14,5 kg/ano, o valor mais alto da Europa [7].

2.3.3. Factores que afectam a taxa de importação e exportação de arroz

Após uma abordagem simplificada sobre o funcionamento base do mercado arrozeiro nacional torna-se necessário efectuar uma explicação sobre o que é uma economia de mercado, para que posteriormente se entendam os factores que levam a atribuir-se preços diferentes a tipos de arroz iguais e, por conseguinte, levando as entidades comercializadoras de arroz a importar e/ou exportar.

As taxas de importação e exportação de arroz em Portugal dependem da sua economia de mercado e da economia de cada país em que haja produção deste cereal, existindo dois factores que regulam o preço de cada tipo de arroz: a oferta/procura e a concorrência entre as entidades comercializadoras de arroz em cada país [11-14].

A produção dos diferentes tipos de arroz nacional é um factor relativamente imprevisível e, como tal, poderá originar períodos onde as necessidades de consumo (procura) sejam superiores ou inferiores à produção dos diferentes tipos de arroz (oferta), resultando num aumento ou diminuição do preço do arroz, respectivamente.

Outro factor responsável pela da variação do preço de um determinado tipo de arroz deve-se à concorrência no mercado nacional poder ser menos ou mais acentuada face à concorrência que se faz sentir em outros mercados internacionais, provocando um aumento ou diminuição do preço desse tipo de arroz, respectivamente [11-14].

Existindo discrepância entre os preços de tipos de arroz iguais, caso os seus custos de importação sejam inferiores face ao preço que se pratica em Portugal, é perceptível que as empresas nacionais transformadoras de arroz tendam a importar de forma mais acentuada. Naturalmente que esta situação também se verifica num patamar inverso, isto é, tendo Portugal um preço de um determinado tipo de arroz inferior ao que se pratica em outros países, provoca um aumento da sua taxa de exportação.

É importante salientar que as empresas portuguesas transformadoras de arroz podem também importar um determinado tipo de arroz por mera necessidade, isto é, devido ao facto de não haver condições climáticas propícias ao seu cultivo em território nacional ou por não existir área de cultivo suficiente para suprir o consumo [11-14].

Devido aos aspectos mencionados, mas fundamentalmente pela produção nacional ser insuficiente para satisfazer as necessidades de mercado, tem-se recorrido bastante à importação de arroz, especialmente arroz em película (Figura 2.8), verificando-se entre 1983 e 2009 um valor médio na ordem dos 109 milhares de toneladas [6].

Por conseguinte, tem-se exportado cerca de 5 vezes menos arroz face ao que se importa, verificando-se que entre 1983 e 2009 se exportou 22 milhares de toneladas de arroz [6].

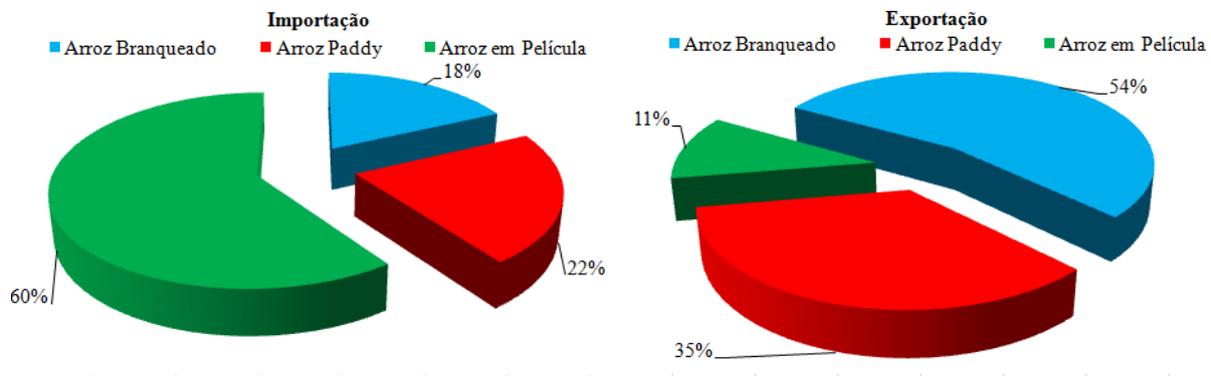


Figura 2.8 - Importação e Exportação de arroz em Portugal no período de 1983-2009 [6]

Capítulo 3

Caracterização do Processo de Transformação do Arroz

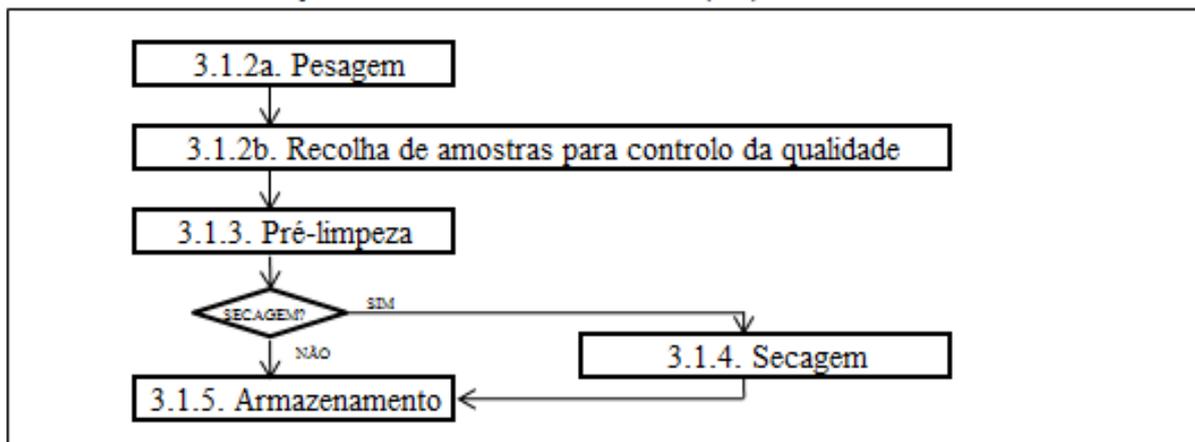
O arroz após ser cultivado não se encontra apto para consumo humano, sendo necessária a remoção da sua casca e preferencialmente do farelo. Inicialmente este processo era realizado a partir do pilão* [15-18], no entanto como em Portugal o consumo de arroz foi aumentando ao longo dos anos houve necessidade de se automatizar o processo de transformação deste cereal de forma a ser possível responder às solicitações do consumo nacional. Como consequência começou a recorrer-se ao consumo de diversas formas de energia, sendo a energia eléctrica a que apresenta maior relevância na indústria portuguesa do arroz [2].

O processo de fabrico que serve de base a todas as empresas nacionais transformadoras de arroz segue os mesmos procedimentos, iniciando-se no sector de preparação da matéria-prima. Posteriormente a esta fase, a matéria-prima dá entrada no sector de processamento onde se dá o descasque, branqueamento e polimento do arroz. A última fase consiste no embalamento e expedição do produto final para posterior comercialização [2, 16-23].

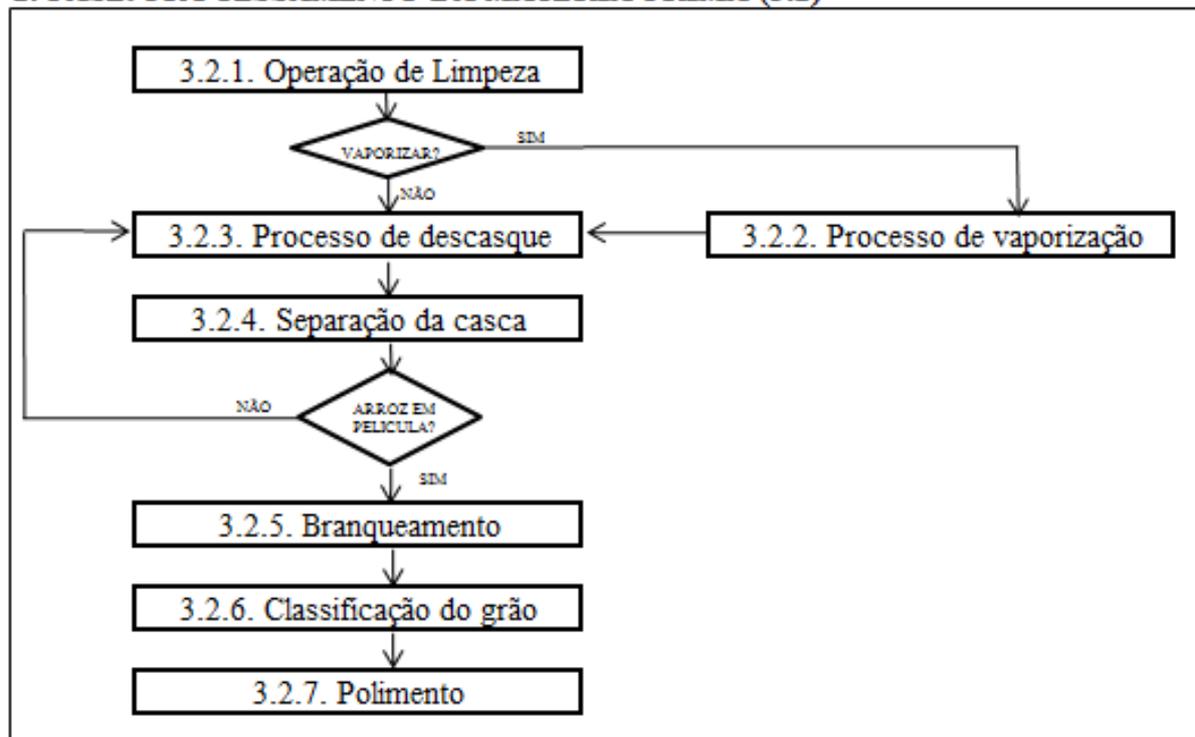
Além dos processos mencionados anteriormente existem empresas que possuem um sector de vaporização do arroz que consiste num tratamento prévio que se efectua no arroz em casca, incluindo as seguintes fases: demolha em água quente, vaporização sob pressão em autoclaves* e secagem. Após o processo de vaporização, o arroz em casca é transportado para o(s) descascador(es) e é submetido ao processo normal de branqueamento do arroz [17-21, 23, 24].

Na Figura 3.1 apresenta-se um fluxograma simplificado do processo produtivo que serve de base a todas as empresas nacionais transformadoras de arroz.

1. FASE: PREPARAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA (3.1)



2. FASE: PROCESSAMENTO DA MATÉRIA-PRIMA (3.2)



3. FASE: ARMAZENAGEM (3.3)

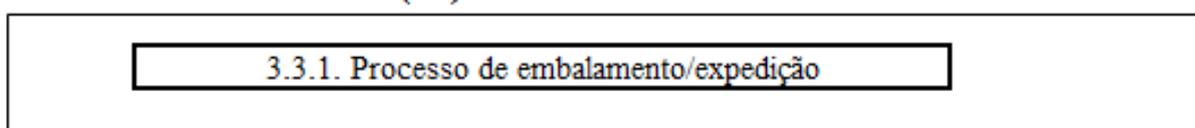


Figura 3.1 - Fluxograma do processo produtivo nacional de arroz [2]

3.1. Fase de preparação da matéria-prima

O processo de transformação de arroz inicia-se através da preparação da matéria-prima adquirida por parte das empresas transformadoras de arroz visto que nem sempre se encontra nas condições óptimas para o seu processamento. Desta forma, efectua-se um conjunto de procedimentos para permitir que a matéria-prima dê entrada na zona de processamento limpa, seca e mantendo as suas propriedades nutritivas [2, 16-23].

3.1.1. Processo de transporte do arroz

Antes de se iniciar a caracterização desta fase inicial do processo de fabrico torna-se importante referir que o transporte dos diferentes tipos de arroz que se efectua em todo o processo de transformação poderá ser realizado de forma diferente. Em Portugal o transporte na vertical é efectuado por gravidade e elevadores de alcatruzes (Figura 3.2). No entanto, também poderá ser efectuado de forma pneumática, não sendo uma prática comum devido ao facto de ser um procedimento pouco eficiente.



Figura 3.2 - Elevador de alcatruzes [2]

O transporte horizontal na maior parte das instalações é efectuado por intermédio de fitas transportadoras (Figura 3.3), sem-fins, transportadores oscilantes ou empilhadores [2, 19, 24].



Figura 3.3 - Fitas transportadoras [2]

3.1.2. Pesagem e controlo da qualidade do produto adquirido

A fase inicial do processo de preparação de matéria-prima consiste na recepção dos diferentes tipos de arroz que poderão ser adquiridos em casca, em película ou mesmo branqueados, provenientes de produtores nacionais e internacionais. Após a sua recepção, efectua-se a respectiva pesagem (Figura 3.4) e o departamento de qualidade encarrega-se de recolher algumas amostras para efectuar a classificação do grão, de forma a determinar a percentagem de impurezas, humidade e defeitos no arroz [2]. Caso a matéria-prima esteja conforme é atribuída uma ordem para se efectuar a sua descarga e numa situação contrária é reenviada para o fornecedor.



Figura 3.4 – Zona de pesagem [2]

3.1.3. Pré-limpeza do produto adquirido

O estado que habitualmente é submetido a esta fase do processo de preparação da matéria-prima é o arroz *paddy* visto que o arroz em película e o branqueado são adquiridos limpos e secos [2].

Como tal, após verificar-se a conformidade da matéria-prima, caso se trate de arroz *paddy* efectua-se a sua descarga para um tegão de entrada, sendo posteriormente transportado para os equipamentos responsáveis por parte da sua pré-limpeza [2, 24]. Se a matéria-prima adquirida for arroz em película ou branqueado, são directamente armazenados.

A pré-limpeza do arroz *paddy* é um procedimento comum em todas as empresas transformadoras de arroz nacionais visto que o cereal do arroz após a sua debulha* possui uma percentagem considerável de matérias estranhas tais como, palhas, areias, ervas, pedras, grãos de arroz precoces e partículas metálicas [16, 17, 19, 21, 24, 25]. Existe, portanto, necessidade de remove-las de forma a reduzir custos no processo de secagem (se aplicável), impedir o entupimento dos equipamentos e a degradação do arroz no processo de armazenamento, e proporcionar um aumento da capacidade de armazenamento [2, 16, 17, 19, 23].

Os equipamentos de pré-limpeza mais utilizados nas empresas nacionais transformadoras de arroz são as tararas (Figura 3.5) que possuem uma configuração adequada para a realização de uma limpeza grosseira do arroz *paddy* após a debulha [17, 19, 24, 26].



Figura 3.5 - Tarara de pré-limpeza [2]

Grande parte das tararas que são concebidas para efectuar a pré-limpeza do arroz *paddy* são constituídas por crivos cilíndricos e planos, ventiladores de extracção e separadores magnéticos [17, 19, 24], de forma a remover todo o tipo de partículas com dimensões muito diferentes do grão (Figura 3.6).

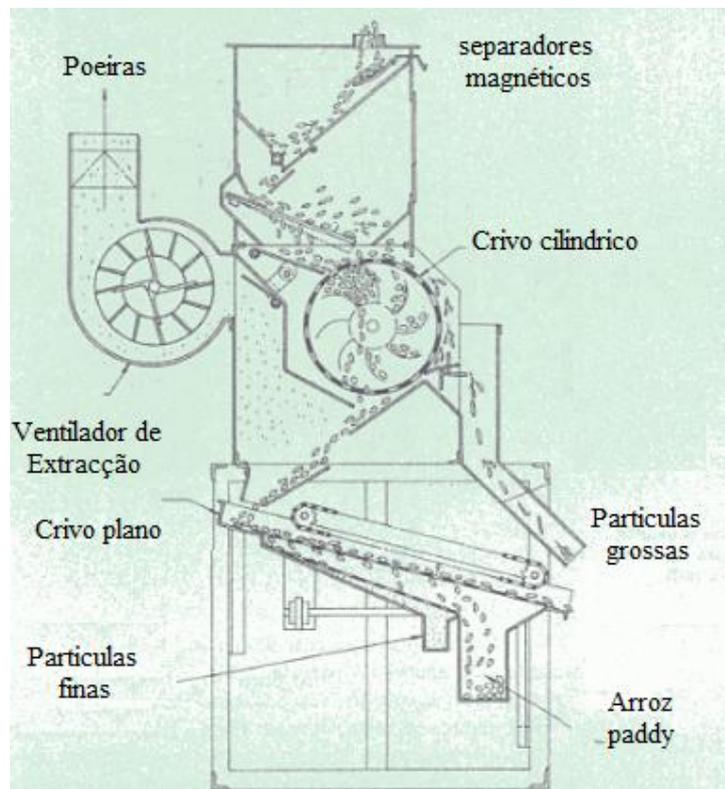


Figura 3.6 - Representação esquemática de uma tarara de pré-limpeza utilizada em Portugal [19]

Inicialmente o arroz *paddy* é descarregado na tarara, ocorrendo a separação das suas partículas metálicas a partir dos separadores magnéticos [17, 19], sendo posteriormente transportado por gravidade para um crivo cilíndrico semelhante ao que se encontra apresentado na Figura 3.7.

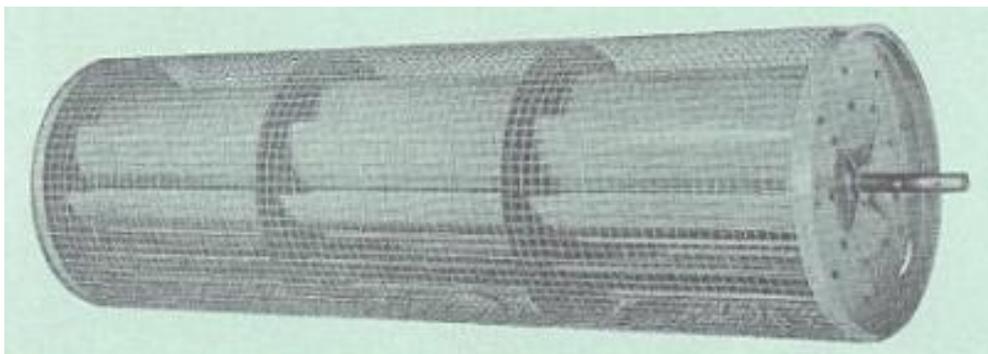


Figura 3.7 - Crivo cilíndrico [19]

Esse crivo, provido de movimento circular, é constituído por um invólucro de malha metálica e o seu interior possui pás rígidas. Como os orifícios da malha metálica são superiores ao do grão de arroz, dá-se uma separação inicial das partículas de maiores dimensões tais como palhas, ervas e pedregulhos [17, 19]. A função das pás rígidas é a de conduzir o arroz para uma superfície inclinada de forma a ser transportado por gravidade para os crivos planos (Figura 3.8). Este troço encontra-se ligado a uma conduta de extracção de ar, no qual se dá a separação das partículas menos densas tais como algumas ervas e palhas que tenham passado no crivo cilíndrico, grãos imaturos e poeiras [17, 19, 24, 25].

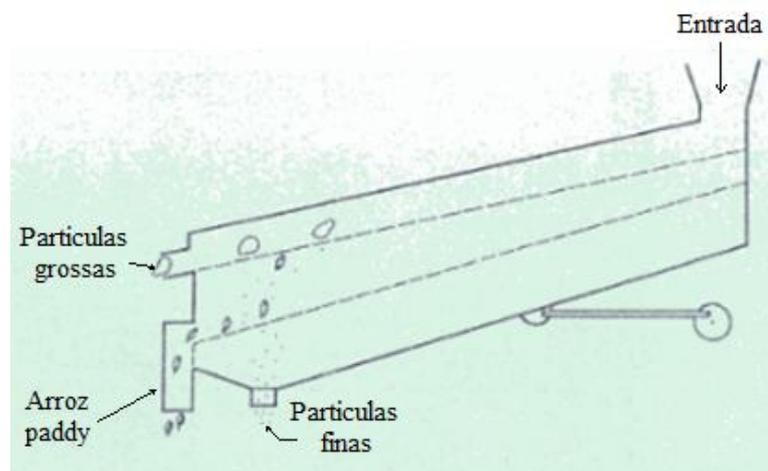


Figura 3.8 - Dois andares de crivagem [19]

O arroz *paddy* dá entrada no primeiro crivo plano que devido a possuir orifícios com dimensões ligeiramente superiores ao grão retém as partículas de maiores dimensões (pedras), havendo a passagem dos grãos de arroz e das partículas com menores dimensões. O mesmo sucede no segundo crivo que, possuindo orifícios ligeiramente inferiores ao grão, origina a retenção dos grãos de arroz e a passagem de partículas com dimensões inferiores (areias).

Ambos os crivos são providos de movimento vibratório com uma frequência adequada de forma a efectuar-se uma separação eficaz de partículas, evitando o seu entupimento. Como forma auxiliar de prevenção do entupimento dos crivos algumas instalações recorrem a bolas de borracha entre os andares de crivagem [2, 19]. Por fim, os crivos devem possuir uma determinada inclinação, geralmente entre os 4° e os 12° [19], de forma às partículas retidas serem transportadas por gravidade para um depósito.

3.1.4. Processo de secagem

O objectivo de todas as empresas nacionais transformadoras de arroz consiste em obter um rendimento industrial elevado e, como tal, o arroz *paddy* além de outros factores deverá possuir um nível de humidade entre 12% e 14% [2, 20, 21, 23, 27, 28], caso contrário a susceptibilidade dos grãos à rutura no seu processamento aumenta consideravelmente [18, 20, 21, 29]. Devido a diversos factores mas essencialmente pelo facto do arroz ser colhido no exterior e dependendo das condições climatéricas, poderão atingir-se níveis de humidade superiores ao desejado. Assim sendo, existe necessidade de se recorrer à sua secagem de modo a ajustar os níveis de humidade aos seus valores óptimos, havendo diversos métodos utilizados tal como a secagem natural e secagem artificial por via térmica [17, 18, 24].

Em Portugal nem todas as empresas transformadoras de arroz possuem sistemas de secagem, dependendo dos contractos que tenham sido feitos com os fornecedores. Consequentemente, existem empresas que apenas adquirem o arroz *paddy* que tenha sido previamente seco por parte de quem o comercializa e existem outras empresas em que isso não sucede [2].

Em Portugal a grande parte das empresas transformadoras de arroz que efectuam secagem possuem secadores verticais de colunas simples ou múltiplas do tipo LSU (Louisiana State University) [2, 24] tal como se apresenta na Figura 3.9.



Figura 3.9 - Tipo de secador utilizado na maioria das empresas portuguesas [2]

Os principais componentes que constituem os secadores do tipo LSU são uma fonte de calor e um ou mais ventiladores de insuflação e extracção.

Em termos estruturais, a(s) coluna(s) apresentam alturas entre os 4,6 m e os 13 m [18] e no seu interior possuem condutas em forma de “V” invertido dispostas perpendicularmente em relação à (s) coluna(s) [17-19, 21, 23, 27-29].

De modo a compreender o funcionamento destes equipamentos, apresenta-se na Figura 3.10 uma representação esquemática de um secador vertical de coluna simples do tipo LSU.

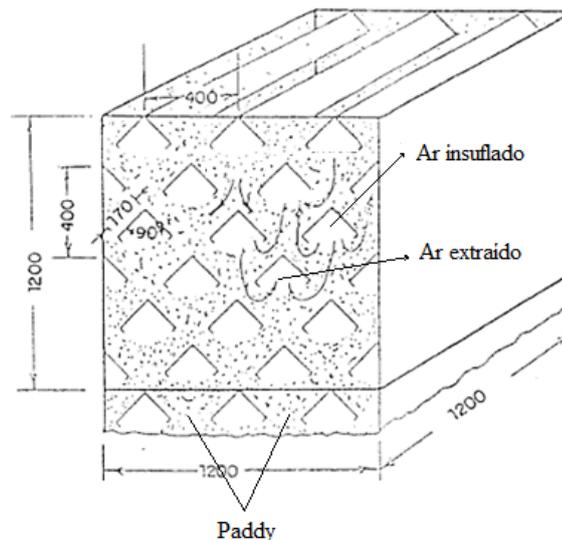


Figura 3.10 - Corte de um secador vertical de coluna simples [29]

Estes secadores são constituídos por um queimador que, através da combustão de um determinado combustível fóssil (geralmente gás natural ou gasóleo), transfere energia térmica para o ar atmosférico, aumentando a sua temperatura. O ar atmosférico aquecido é insuflado, por intermédio de um ventilador centrífugo, para algumas das condutas mencionadas anteriormente e a extracção de ar húmido é efectuada nas restantes condutas por outro ventilador centrífugo [17-19, 21, 23, 27-29].

O arroz *paddy*, após ser pré-limpo, é transportado para a parte superior da coluna de secagem e, por gravidade, vai atravessando o secador aumentando a temperatura do grão. Como inicialmente o grão de arroz possui um nível de humidade elevado, ao ser submetido ao contacto com o ar quente recebe a energia suficiente para vaporizar a água que contém no seu interior. Ao ocorrer a mudança de fase da água no interior do grão, como a pressão de vapor é superior à pressão no exterior, ocorre a sua desumidificação. Consequentemente, a humidade do ar no interior do secador tende a aumentar, no entanto como existem algumas condutas de extracção, garante-se a renovação do ar assegurando, assim, um processo de desumidificação eficiente [18].

3.1.5. Armazenamento da matéria-prima

O armazenamento diz respeito à fase final do processo de preparação da matéria-prima. As empresas, por razões comerciais, adquirem grandes quantidades de arroz, havendo necessidade de armazená-las devido ao facto de ser extremamente raro o seu processamento na totalidade imediatamente após a sua aquisição [2, 18].

Em Portugal, o armazenamento do arroz é efectuado maioritariamente em silos cilíndricos verticais semelhantes aos que se apresentam na Figura 3.11 [2].



Figura 3.11 - Silos de armazenamento de arroz [2]

Havendo necessidade de se armazenarem grandes quantidades de arroz surgirão alguns riscos e, portanto, os silos terão de possuir uma estrutura de forma a manter o arroz protegido das intempéries*, ataques de insectos, roedores e pássaros. Como consequência, poderão surgir situações em que a temperatura e humidade no interior do(s) silo(s) atinjam valores indesejáveis, ocorrendo o risco de desenvolvimento de fungos e microorganismos, contaminações e fermentações [18, 19], verificando-se que quanto maior for o valor da temperatura e humidade do ar no interior do(s) silo(s), menor será o tempo de armazenamento aconselhável (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 - Durabilidade do arroz em função da temperatura e humidade [19]

Temperatura do grão (°C)	Durabilidade do cereal de arroz (dias)					
	Humidade (%)					
	14,0	15,5	17,0	18,5	20,0	21,5
38	8	4	2	1	0	0
32	16	8	4	2	1	0
27	32	16	8	4	2	1
21	64	32	16	8	4	2

Desta forma, a maior parte das empresas nacionais transformadoras de arroz armazenam o arroz em silos num ambiente com uma humidade de aproximadamente 14% e uma temperatura inferior a 21°C, dependendo da previsão que tenham para o armazenamento [2, 18, 19]. Para garantir estas condições é efectuado o processo de aeração que se encontra representado na Figura 3.12.



Figura 3.12 - Processo de aeração num silo [18]

Estruturalmente os silos são constituídos por uma base com diversos orifícios, uma condução de insuflação de ar e um telhado cónico com ângulos compreendidos entre 45° e 60° [19] que pode possuir um orifício de saída no topo ou vários ventiladores de extracção nas suas paredes.

Com base nessa estrutura o processo de aeração do arroz dá-se da seguinte forma: as empresas transformadoras de arroz possuem um ou mais equipamentos móveis (conjunto máquina frigorífica + ventilador de insuflação) que são acoplados à condução de insuflação de ar com ligação à base do silo sempre que os valores da temperatura e humidade se encontrem fora dos valores desejados. Desse modo é insuflado ar a uma

temperatura reduzida (15°C) [2] na condução de insuflação. O ar, através dos orifícios da base, atravessa os grãos de arroz *paddy* armazenados no sentido ascendente, saindo a partir do orifício ou do(s) ventilador(es) de extração existente(s) no topo dos silos [2].

As empresas conseguem, assim, armazenar o arroz de forma segura durante intervalos de tempo controlados, assegurando o investimento efectuado.

3.2. Fase de processamento da matéria-prima

A fase de processamento da matéria-prima diz respeito ao conjunto de procedimentos que são responsáveis por parte da obtenção do produto final a partir da matéria-prima que se encontra armazenada nos silos.

3.2.1. Limpeza do arroz paddy

A primeira fase do processamento da matéria-prima diz respeito à limpeza que é efectuada ao arroz *paddy* que se encontra armazenado. É importante salientar que a pré-limpeza tinha o propósito de remover a maioria das partículas de dimensões muito superiores às do grão de arroz por razões que já foram mencionadas anteriormente. A limpeza, por conseguinte, tem como finalidade remover diversos tipos de partículas de dimensões reduzidas de modo a evitar-se o risco de danificação dos equipamentos de processamento do arroz, sendo efectuada tal como na pré-limpeza por intermédio de tararas [2, 17, 19].

O princípio de funcionamento das tararas de limpeza (Figura 3.13) é análogo ao das tararas utilizadas na pré-limpeza, no entanto verificam-se diferenças em algumas configurações que serão mencionadas de seguida [2, 17, 19].

As tararas de limpeza não possuem crivos cilíndricos, sendo os orifícios dos crivos planos mais reduzidos de forma a reterem-se partículas de dimensões reduzidas. Por conseguinte, à semelhança das tararas de pré-limpeza, também possuem um ventilador de extração de ar de forma a remover as partículas menos densas [2].



Figura 3.13 - Tarara de limpeza do arroz *paddy* [2]

As pedras com dimensões muito divergentes face ao tamanho do grão de arroz são removidas por crivagem ao longo das tararas que atravessam. No entanto, em determinadas situações poderão existir pedras com dimensões idênticas às do grão de arroz que terão de ser removidas a partir de equipamentos denominados por despedradoras [17, 19, 26].

Na Figura 3.14 apresenta-se uma representação real e esquemática de uma despedradora.

O arroz limpo, juntamente com algumas pedras com dimensões semelhantes ao grão, é colocado neste equipamento que possui um conjunto de planos inclinados funcionando com um movimento vibratório. Existe uma conduta na parte superior destes planos ligada a um ventilador de extracção que é responsável por parte da remoção do arroz *paddy*. As pedras, mais densas, não são sugadas pela corrente de ar gerada e por gravidade deslocam-se para outro depósito, ocorrendo a separação do arroz e das pedras [17, 19, 26].

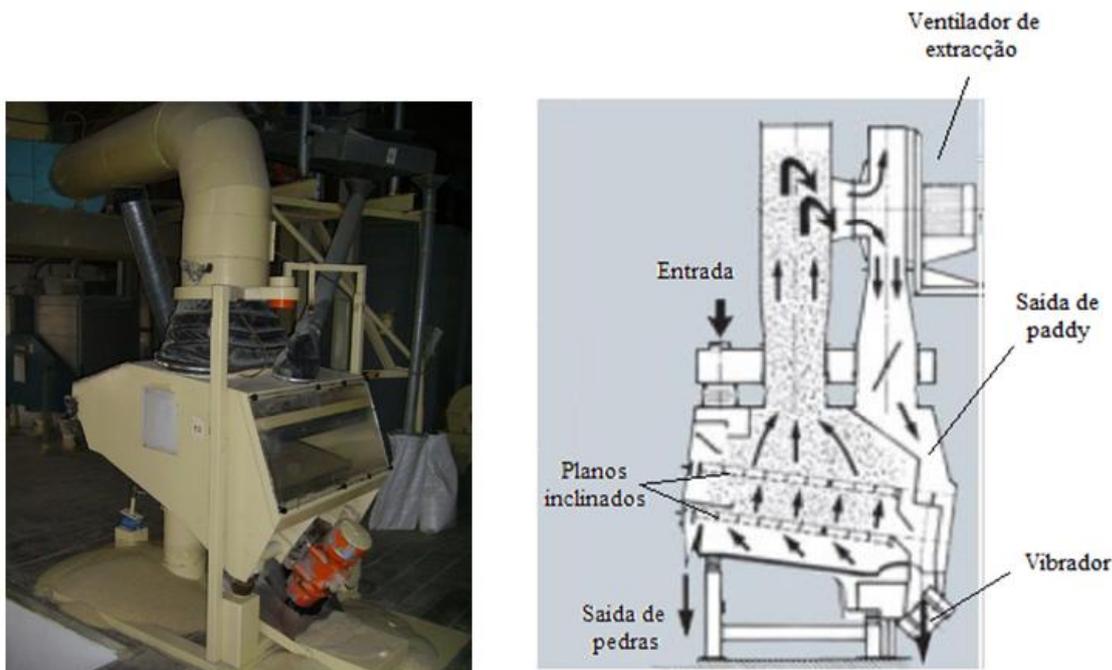


Figura 3.14 – Representação real e esquemática de uma despedradora [2, 30]

3.2.2 Processo de vaporização

Após ser efectuado o planeamento da produção, o arroz *paddy* poderá ser submetido previamente a um processo de vaporização antes de atravessar todas as fases de processamento. O objectivo da vaporização consiste em aumentar o valor nutricional do arroz a partir de um tratamento hidrotérmico que provoca a migração para o endosperma das vitaminas e sais minerais contidas na casca e no farelo. Desta forma algumas substâncias nutritivas de grande valor que se perdiam no processo normal de transformação do arroz ficam retidas no endosperma, tal como se pode constatar a partir da Tabela A-1.1 do Anexo I [2, 16, 17, 19, 20, 23, 24].

O processo de vaporização de arroz praticado em Portugal divide-se em três fases: maceração, vaporização e secagem [2, 16, 17, 19, 20, 23, 24].

3.2.2.1 Fase de maceração

A operação de maceração, além de permitir uma absorção parcial de algumas vitaminas e sais minerais contidas na casca e no farelo, destina-se a fornecer ao arroz uma quantidade de água suficiente para facilitar a gelatinização do amido durante o tratamento a vapor visto que a velocidade de gelatinização será tanto mais rápida quanto maior a quantidade de água no arroz [17, 19]. Assim sendo, o processo de vaporização

inicia-se com a descarga do arroz *paddy* em depósitos próprios com água quente a uma temperatura compreendida entre 50-85 °C [2, 17, 19, 20, 24] durante 2-4 h [2, 17, 19, 20, 24] dependendo da variedade do arroz, provocando um aumento de 30 a 35% [17, 19] da sua humidade. Os valores referentes à temperatura e duração do processo praticados devem-se ao facto de quanto mais baixa for a temperatura da água, mais lento será o processo de maceração. No entanto, se a temperatura for superior à temperatura de gelatinização, ocorrerá o cozimento do arroz [17, 19]. Por outro lado, se a duração do processo for excedida, parte do conteúdo vitamínico e de sais minerais contidos na casca e no farelo é dissolvido na água, algumas sementes começam a germinar e ocorre a fermentação do amido [19].

Na Figura 3.15 apresentam-se os depósitos utilizados no processo de maceração de uma empresa nacional transformadora de arroz.



Figura 3.15 - Depósitos de maceração [2]

3.2.2.2. Tratamento a vapor

Após ser efectuada a descarga da água de maceração, o arroz é transportado dos depósitos de maceração para os autoclaves, sofrendo dois tipos de tratamentos, nomeadamente vapor directo e secagem [2].

Os autoclaves, apresentados na Figura 3.16, são cilíndricos e encontram-se dispostos na horizontal possuindo um motor eléctrico disposto longitudinalmente. No seu interior têm uma parede dupla que é atravessada por tubagens em serpentina e numa das faces possuem ligação com uma picagem de vapor e uma bomba de vácuo [2, 17, 20, 21].



Figura 3.16 - Autoclaves [2]

O arroz em casca, parcialmente humidificado e enriquecido no processo de maceração, é submetido a vapor directo com uma pressão relativa entre 0,5 e 1 bar durante 30 a 60 minutos [2, 17] no interior de um ou mais autoclaves. Deste modo ocorre a gelatinização da totalidade do amido, resultando na migração e fixação de uma maior quantidade de sais minerais e vitaminas visto que não se perdem no meio liquido tal como em outros processos de imersão [17, 24].

3.2.2.3. Secagem

Como consequência dos tratamentos mencionados anteriormente obtém-se um grão de arroz bastante enriquecido e volumoso devido ao alto teor em humidade. Deverá, então, ser submetido a um processo de secagem de forma a adquirir as condições de humidade e volume iniciais, para que o rendimento industrial não seja comprometido.

No processo de secagem o arroz é submetido durante 4h a 5h [17] a uma pressão de vácuo de aproximadamente -900g [17] e a uma temperatura que pode variar entre 71°C e 165°C [17, 20, 24], provocando a desumidificação do arroz *paddy*. Os autoclaves, devido a apresentarem movimento de rotação, asseguram a homogeneização da temperatura no seu interior e consequentemente uma secagem mais eficaz [2].

Após o processo de secagem o arroz fica com um teor em humidade entre 12 e 15% [17, 19, 20], sendo novamente armazenado.

3.2.3. Descasque do arroz

Após o arroz *paddy* ser submetido às operações mencionadas anteriormente é transportado para equipamentos denominados descascadores [19, 20, 23, 25].

Os tipos de descascadores amplamente utilizados nas empresas nacionais transformadoras de arroz são os de rolos de borracha que têm como função remover a casca do arroz *paddy* obtendo-se arroz em película [2, 16-19, 21, 23-25, 31, 32].

Na Figura 3.17 apresenta-se uma representação real e esquemática de um descascador de rolos de borracha.

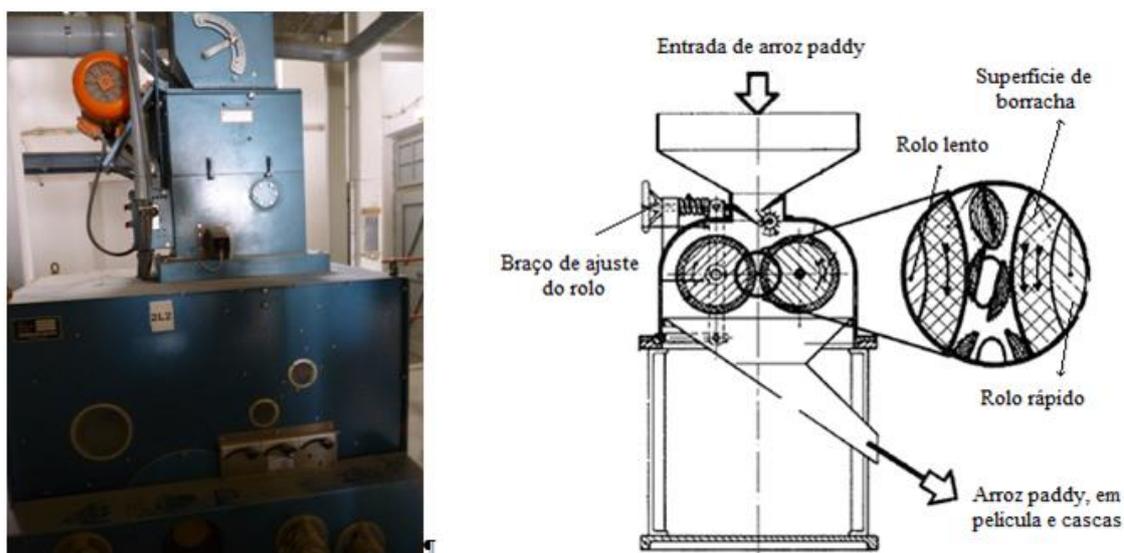


Figura 3.17 – Representação real e esquemática de um descascador de rolos [2, 25]

Estes tipos de descascadores possuem dois cilindros de borracha tangentes que apresentam sentidos de rotação opostos e velocidades periféricas diferentes (geralmente costumam estar desfasadas de 25%) [19]. Assim, geram-se tensões de corte nos grãos de arroz *paddy*, provocando a remoção da sua casca [16-19, 23-25, 31].

Estes equipamentos possuem um dos cilindros fixos e o outro regulável de forma a ajustar-se a distância entre eles (1 a 4 mm) [17] de acordo com as diferentes variedades de arroz e a degradação dos rolos. Este é um aspecto de particular interesse por parte dos industriais de arroz visto que se operarem com uma distância demasiado baixa entre os cilindros em relação ao grão, obterão um excesso de grãos partidos. Por conseguinte, se aplicarem uma folga demasiado acentuada ocorrerá uma diminuição no rendimento de descasque [2, 16], gerando-se uma quantidade apreciável de grãos em casca, sendo uma situação indesejável visto que o tempo de operação e os custos com energia

umentam. Tem portanto de haver alguma sensibilidade por parte do operador para encontrar um valor intermédio de ajustamento da folga dos cilindros conforme as situações de modo a efectuar a operação de descasque obtendo a menor quantidade possível de grãos partidos e a maior quantidade de grãos descascados no menor intervalo de tempo.

Os descascadores de rolos de borracha são amplamente utilizados na indústria arroseira portuguesa devido a serem um equipamento que permite efectuar a operação de descasque com um rendimento elevado (eficiência mínima esperada de 92%) [16], provocando uma quantidade reduzida de grãos partidos e tornando desnecessária a necessidade de submeter os produtos de descasque a processos de crivagem [17-19, 31]. A duração e a capacidade das borrachas varia de acordo com o grau de limpeza do arroz *paddy*, teor de humidade e a folga aplicada nos cilindros. No entanto um par de rolos de boa qualidade tem uma capacidade média de descasque na ordem das 150 toneladas [17, 19], representando uma desvantagem neste tipo de equipamentos uma vez que requerem custos de manutenção significativos comparativamente a outros tipos de descascadores [16, 19, 21, 31].

3.2.4. Separação dos produtos de descasque

No seguimento do que foi abordado anteriormente, a operação de descasque costuma ser efectuada propositadamente com folga de forma a evitar-se a formação de grãos partidos. Consequentemente, torna-se difícil numa única passagem descascar todos os grãos de arroz *paddy* e portanto geram-se três tipos diferentes de produtos de descasque: cascas de arroz, grãos de arroz *paddy* e grãos de arroz em película [16, 19, 23, 25, 31].

Torna-se portanto necessário a existência de equipamentos que permitam efectuar a separação dos produtos de descasque de forma a que os grãos de arroz *paddy* que não foram descascados regressem à fase de descasque. Os grãos de arroz em película são transportados para a próxima fase de processamento e as cascas são removidas da mistura.

As cascas, devido a serem o produto do descasque que apresenta uma menor densidade, são removidas da mistura por aspiração que poderá ser efectuada no próprio descascador (a partir de um ventilador de extracção incorporado em alguns modelos) ou num equipamento próprio para esse efeito denominado separador de cascas. O seu

princípio de funcionamento é semelhante ao que foi apresentado para o caso da remoção de partículas leves nas tararas.

O equipamento responsável por parte da separação do arroz *paddy* e do arroz em película é denominado por separador de *paddy*. Em Portugal as empresas transformadoras de arroz mais recentes (menos de 25 anos) utilizam separadores do tipo de tabuleiro e as empresas transformadoras de arroz mais antigas (mais de 25 anos) utilizam geralmente separadores de compartimentos [19, 25, 31], existindo alguns casos pontuais em que isso não ocorre por motivos de ordem económica [2].

Na Figura 3.18 apresentam-se os dois tipos de separadores de *paddy* utilizados na indústria arroseira nacional.



Figura 3.18 – Separador de compartimentos e de tabuleiro [2]

Em termos estruturais existem algumas diferenças entre os dois tipos de separadores de *paddy* utilizados na indústria arroseira nacional. Os separadores de compartimentos são constituídos por uma base de sustentação lisa, com uma determinada inclinação, constituída por várias lamelas metálicas dentadas (dentes orientados no sentido do declive da base de sustentação) dispostas na vertical em intervalos regulares. No caso dos separadores de tabuleiro a sua própria base de sustentação apresenta uma superfície dentada com a mesma orientação relativamente aos separadores de compartimento [19, 25, 31].

De forma a tornar mais clara a explicação sobre o modo de funcionamento destes dois equipamentos apresenta-se na Figura 3.19 dois esquemas dos tipos de separadores de *paddy* utilizados na indústria arroseira nacional.

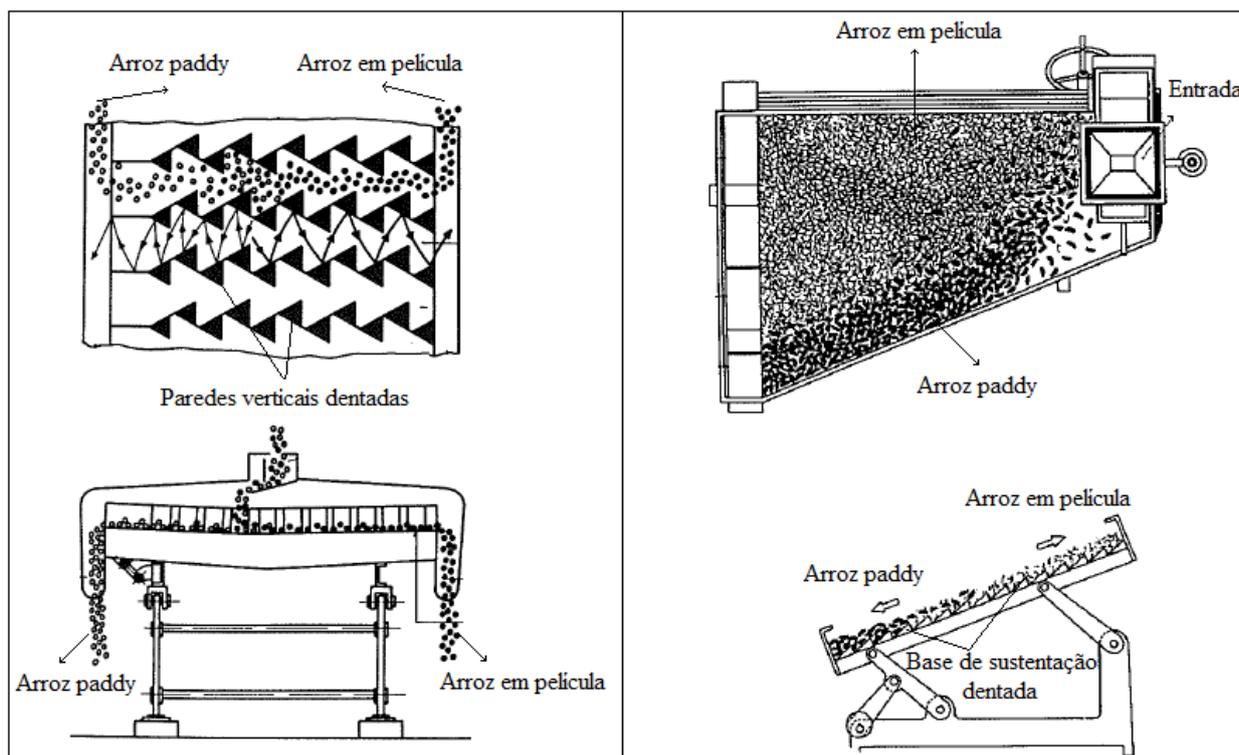


Figura 3.19 – Separador de compartimentos e de tabuleiro [25, 31]

Apesar das diferenças estruturais existentes, o princípio de funcionamento de ambos os equipamentos é idêntico, iniciando-se com a descarga da mistura no centro das bases de sustentação. Como em ambos os equipamentos as bases de sustentação são providas de uma determinada frequência de vibração, existe transmissão de energia aos grãos de arroz que se traduz em movimento. Desta forma, os grãos de arroz *paddy* por serem pouco densos, volumosos e rugosos apresentam condições propícias para se movimentarem de forma descendente, no sentido contrário à superfície dentada. Os grãos de arroz em película por serem mais densos, pequenos e lisos apresentam as condições propícias para se movimentarem de forma ascendente no sentido da orientação dos dentes da superfície dentada [16, 19, 23, 25, 31].

Os separadores de tabuleiro apresentam vantagens ao nível do consumo de energia eléctrica, representando uma redução de cerca de $\frac{3}{4}$ do consumo relativamente aos separadores de compartimento, para a mesma capacidade. Além disso, são equipamentos que exigem menor espaço disponível [31].

3.2.5. Branqueamento do arroz em película

Cerca de 35% do arroz em película que é obtido a partir do processo de descasque e/ou adquirido neste mesmo estado poderá ser enviado directamente para as linhas de embalagem para posterior comercialização como arroz integral*. No entanto, devido às exigências do consumidor, na maioria dos casos o farelo deverá ser removido do arroz em película de forma a obter-se um grão de arroz com uma tonalidade branca e mais do agrado do consumidor. O processo que consiste em remover o farelo do grão de arroz designa-se por branqueamento [2, 17-19, 23-25, 31].

Os equipamentos utilizados em Portugal para o processo de branqueamento do arroz denominam-se por branqueadores de cone ou de desenho clássico europeu, tal como se apresenta na Figura 3.20 [2].



Figura 3.20 - Branqueador de cone [2]

Estruturalmente estes equipamentos são constituídos por um cone invertido fabricado em ferro fundido revestido por uma superfície abrasiva, encontrando-se montado num veio vertical e apresentando movimento de rotação no interior de uma estrutura com a mesma forma cónica. Esta estrutura encontra-se revestida por rede metálica perfurada, possuindo travões de borracha dispostos verticalmente e igualmente espaçados [2, 17-19, 23-25, 31].

Na Figura 3.21 apresenta-se uma representação esquemática de um branqueador de cone para que melhor se compreenda a explicação do seu modo de funcionamento que será efectuada posteriormente.

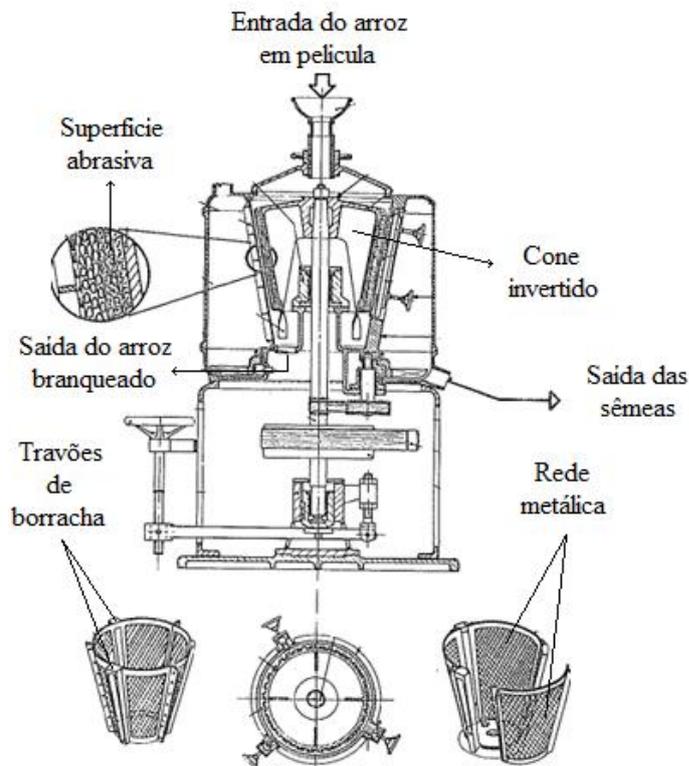


Figura 3.21 - Representação esquemática de um branqueador de cone [25]

O arroz em película dá entrada na parte superior do cone e, por acção da força centrífuga, é conduzido até à folga existente entre o cone e a rede metálica [19, 25]. Como o cone é provido de movimento rotativo, sempre que é promovido o contacto com os grãos de arroz dá-se a remoção do farelo por abrasão* [18, 19, 23-25, 31]. À medida que os grãos de arroz vão acompanhando o sentido de movimento de rotação do cone são restringidos a determinada altura por parte dos travões de borracha, gerando-se acumulações e simultaneamente a remoção do farelo por fricção dos grãos uns contra os outros [18, 24, 25, 31].

Como consequência do processo de branqueamento geram-se sêneas* que são removidas a partir dos orifícios existentes nas redes metálicas, provocando uma redução do volume dos grãos de arroz que a determinada altura possuem o tamanho suficiente para atravessar a folga existente entre os travões de borracha e a rede metálica. Na parte inferior dos travões de borracha existem orifícios e os grãos de arroz branqueados ao

atravessarem essa folga são transportados por gravidade para os orifícios com ligação a um depósito [18, 19, 25].

Este processo, de fricção e abrasão, dá origem à formação de grãos partidos, fazendo com que os industriais de arroz tenham de respeitar alguns procedimentos de forma a obterem rendimentos de branqueamento apreciáveis.

Regra geral, o rendimento do branqueamento é tanto maior quanto maior for a velocidade periférica* do cone. No entanto, um aumento da velocidade de rotação corresponde a um aumento da percentagem de roturas. Desta forma, os industriais do arroz operam com velocidades periféricas entre 10-12 m/s pois permite-lhes obter um rendimento apreciável e uma quantidade de grãos partidos baixa (5-10%).

A taxa de rotura dos grãos de arroz aumenta com a sua temperatura, logo por forma a evitar o sobreaquecimento dos grãos de arroz a maioria das empresas possuem linhas com 3-5 branqueadores de cone.

A folga existente entre o cone e a rede metálica e o cone e os travões de borracha influencia de forma significativa a taxa de rotura dos grãos de arroz. As empresas transformadoras de arroz nacionais utilizam folgas entre o cone e a rede metálica de aproximadamente 10 mm [18, 19, 25] e entre o cone e os travões de borracha entre 2-4,5 mm para grãos finos [17, 19] e 7-8 mm para grãos arredondados [17].

3.2.6. Classificação do grão

Apesar de serem efectuados esforços para se obter a menor quantidade de grãos partidos no processo de branqueamento devido à desvalorização comercial da trinca de arroz*, esta ocorrência constitui um mal necessário, gerando-se sempre quantidades apreciáveis de trinca de arroz (5-10%) [2]. Há, portanto, necessidade de recorrer a equipamentos que permitam separar os grãos partidos dos grãos inteiros que saem dos branqueadores para que posteriormente possam ser embalados segundo as suas tipologias correspondentes [2].

Os equipamentos normalmente utilizados para o processo de classificação do grão denominam-se *trieurs* de alvéolos, tal como se apresenta na Figura 3.22 [2].

Estruturalmente um *trieur* de alvéolos é constituído por um cilindro montado num veio horizontal cuja superfície interna é constituída por alvéolos e a sua parte superior é constituída por uma bandeja [17, 18, 23].



Figura 3.22 - Trieurs de alvéolos [2]

Na Figura 3.23 apresenta-se um esquema do equipamento em causa para que melhor se compreenda a explicação do seu modo de funcionamento que será efectuada de seguida.

A mistura de grãos de arroz inteiros e partidos resultantes da operação de branqueamento dão entrada na parte inferior do cilindro, que apresenta movimento de rotação e ao entrarem nos alvéolos tendem a acompanhar o seu movimento. Deste modo, os grãos inteiros, devido a serem mais pesados, caem por gravidade mais cedo do que os grãos partidos que, devido a manterem-se nos alvéolos durante um maior intervalo de tempo, caem na bandeja. Por conseguinte, os grãos inteiros ficam depositados no fundo dando-se desta forma o processo de separação [17, 18, 23].

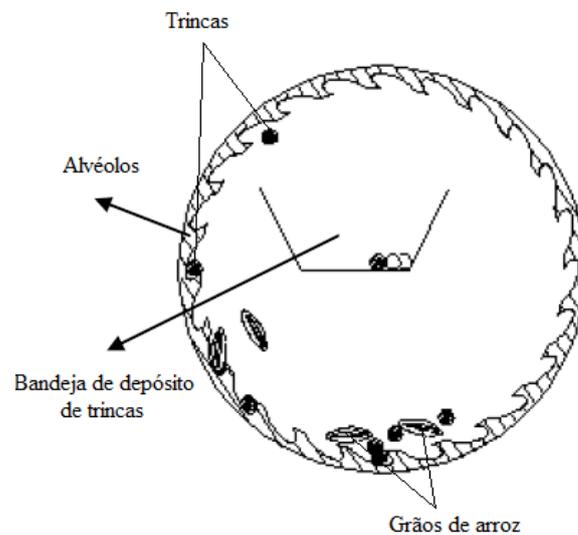


Figura 3.23 - Representação esquemática de um trieur de alvéolos [33]

3.2.7. Polimento do arroz branqueado

Após o processo de branqueamento os grãos de arroz poderão conter alguns riscos superficiais e/ou vestígios de sêmes que tenham ficado agarradas. Por questões comerciais existem algumas empresas que submetem os grãos de arroz branqueados a um processo de polimento de forma a atribuir-lhe um melhor aspecto visual [2, 17, 18, 24, 25].

Os equipamentos normalmente utilizados na indústria arroseira nacional para o processo de polimento do arroz denominam-se de polidores, podendo ser do tipo vertical ou horizontal [2]. Na Figura 3.24 apresenta-se um polidor horizontal pertencente a uma das empresas transformadoras visitadas.

Em termos estruturais estes equipamentos apresentam bastantes semelhanças relativamente aos branqueadores do tipo vertical e horizontal, sendo constituídos por um cone ou um cilindro cuja superfície se encontra revestida de fibras vegetais, tiras de couro ou de flanela especial, em vez dos abrasivos utilizados nos equipamentos de descasque e branqueamento [17, 24, 25].



Figura 3.24 - Polidor horizontal [2]

O princípio de funcionamento destes equipamentos é idêntico ao dos branqueadores, havendo a diferença da remoção do farelo se efectuar de forma mais suave devido ao

facto dos grãos de arroz não serem submetidos à abrasão e somente à fricção suave dos grãos de arroz contra as fibras vegetais ou tiras de couro e entre si. Como consequência obtém-se um grão de arroz mais brilhante [17, 24, 25].

3.3. Fase de armazenagem

Após a classificação do grão e o polimento (se aplicável) o arroz branqueado e a trinca são transportados para depósitos próprios com ligação às linhas de embalagem (Figura 3.25). O arroz é embalado em pacotes de 1kg e 5kg por intermédio de equipamentos próprios denominados embaladoras, sendo posteriormente armazenados em paletes, que com o auxílio de um ou mais empilhadores são transportadas para o armazém de produto acabado.



Figura 3.25 – Linhas de embalagem [2]

3.4. Balanço mássico na indústria nacional arroseira

Após a caracterização do funcionamento do sector nacional arroseiro e das diversas fases do processo de transformação do arroz irá apresentar-se um balanço mássico que foi efectuado no sector arroseiro nacional no ano de 2011, conforme se apresenta na Figura 3.27.

Por intermédio da Figura 3.27 pode verificar-se que se geram três tipos de subprodutos na indústria arroseira, nomeadamente matérias estranhas, cascas de arroz e sêneas, representando aproximadamente 1%, 9% e 11% da massa total de matéria-prima adquirida (Figura 3.26). Deste modo conclui-se que apenas 79% da massa de matéria-prima representa produto acabado, especificamente arroz em película e branqueado.

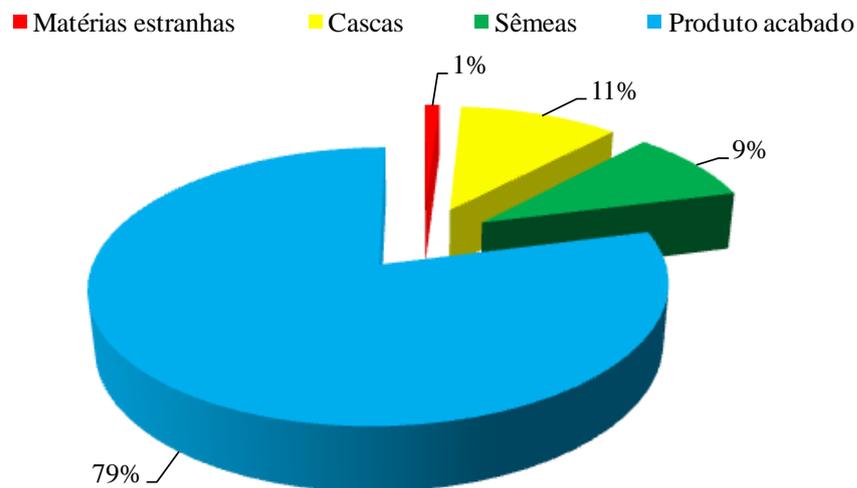


Figura 3.26 - Desagregação mássica efectuada na indústria arroseira nacional em 2011 [2]

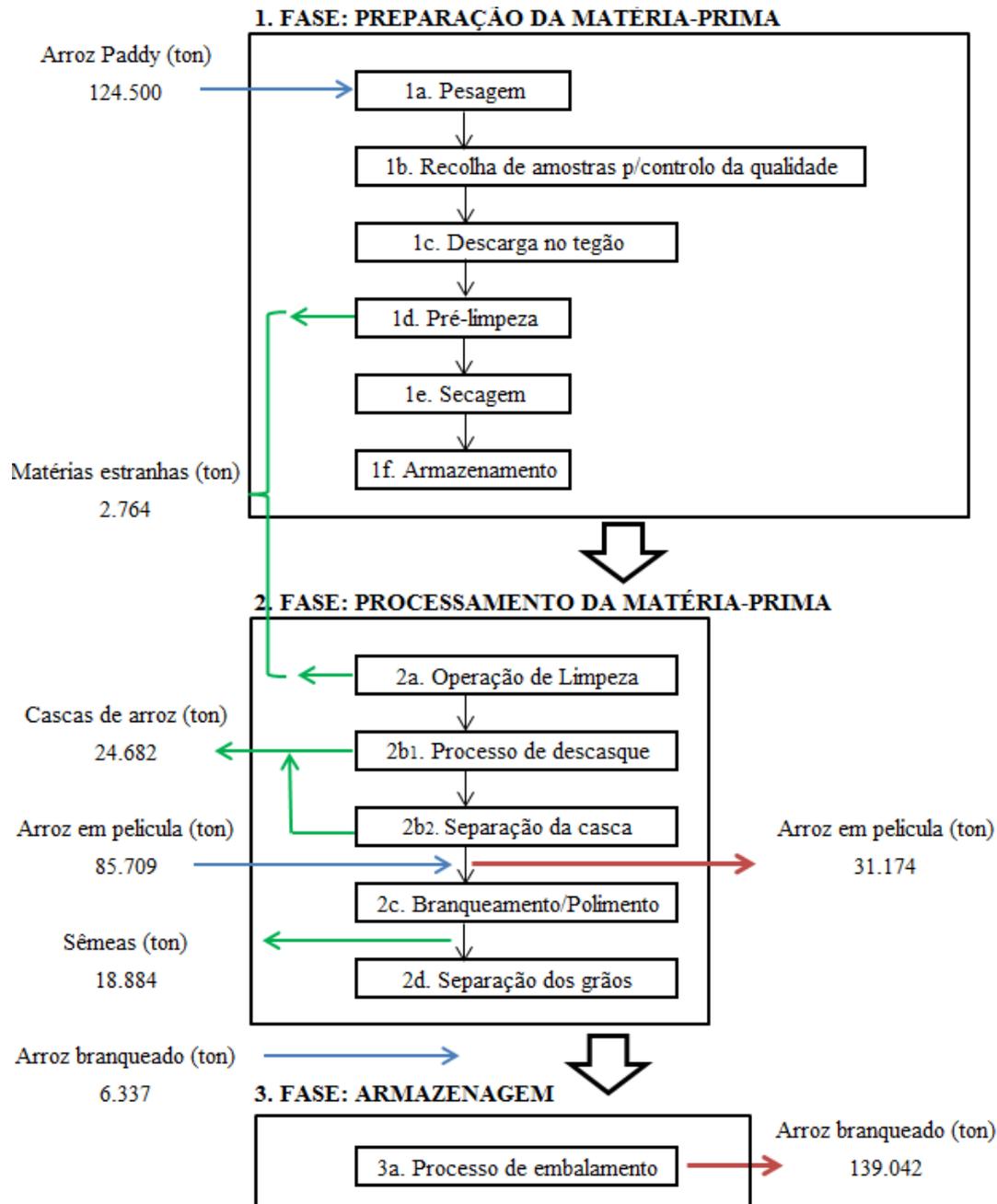


Figura 3.27 - Balanço mássico efectuado na indústria arroeira nacional em 2011 [2]

Os subprodutos gerados nesta indústria não são explorados como biomassa devido, fundamentalmente, à falta de informação na maioria dos industriais de arroz e ao lucro que proporcionam ao serem comercializados.

As matérias estranhas geradas nos processos de limpeza do arroz paddy, sempre que possível, são comercializadas juntamente com as cascas de arroz como mistura para cama de animais, podendo, também, ser depositados em aterros. As sêmeas, devido a possuírem elevado valor nutritivo são comercializadas para fins alimentares como ração para aves.

3.5. Balanço energético na indústria arroseira nacional

A indústria arroseira nacional é fundamentalmente dependente de três formas de energia, nomeadamente energia eléctrica, gasóleo e gás natural, sendo requisitadas para várias finalidades.

Do tratamento e análise dos dados recolhidos nas diversas visitas a oito empresas representativas deste sector verificou-se um consumo de energia eléctrica de aproximadamente 3752 tep referente ao ano de 2011 [2] para alimentar diversos equipamentos eléctricos ao longo de todas as unidades fabris, podendo ser agrupados em diversos sectores, nomeadamente força motriz, ar comprimido, ventilação, iluminação e tomadas.

A partir da Figura 3.28 pode constatar-se que a maioria do consumo de energia eléctrica no sector arroseiro se destina ao sector da força motriz, isto é, a todos os motores eléctricos associados aos diversos equipamentos de processamento e transporte do arroz (exemplo: motor eléctrico de uma descascadora), representando 56% do consumo total de energia eléctrica. O sector de ventilação, representando 19% do consumo de energia eléctrica, diz respeito a todos os motores eléctricos dos ventiladores que são utilizados para a extracção de partículas e movimentação de resíduos de baixa densidade. Os sectores de ar comprimido, iluminação e tomadas, com menor representatividade em termos de consumo, correspondem a 16% e 10% do consumo de energia eléctrica, respectivamente. O ar comprimido é solicitado essencialmente para o controlo sequencial dos equipamentos de embalagem e as tomadas alimentam bancadas de trabalho e escritórios.

O consumo de gasóleo e gás natural verificado em 2011 no sector arroseiro foi de 254 tep e 1466 tep, sendo essencialmente utilizado para o processo de vaporização e secagem, respectivamente. Existe, ainda, um consumo associado ao processo de transporte de mercadorias. Contudo, devido a ser residual comparativamente com os consumos apresentados, não será alvo de estudo no presente trabalho.

Após a desagregação das várias formas de energia consumidas por cada sector do processo irá proceder-se a uma análise global do sector arroseiro nacional de forma a compreender-se quais as fases do processo de transformação de arroz mais representativas em termos de consumo.

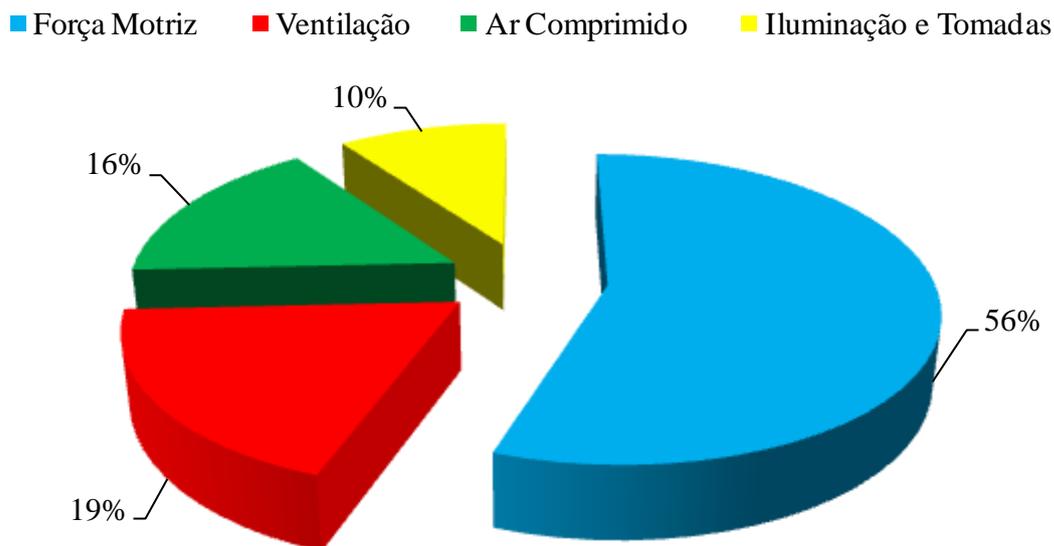


Figura 3.28 - Desagregação do consumo de energia eléctrica por sector [2]

A Figura 3.29 mostra que o maior consumo energético global verificado deu-se na fase de processamento do arroz (2ª Fase), representando 54% do consumo energético total, seguindo-se da fase de preparação da matéria-prima (1ª Fase) e armazenagem (3ª Fase), que correspondem a 34% e 12% do consumo, respectivamente.

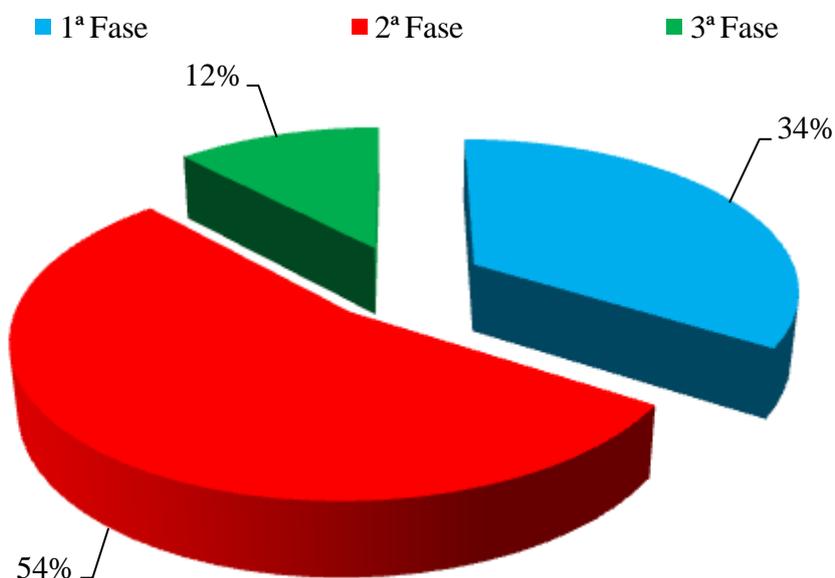


Figura 3.29 - Desagregação global do consumo de energia nas diversas fases do processo de transformação do arroz [2]

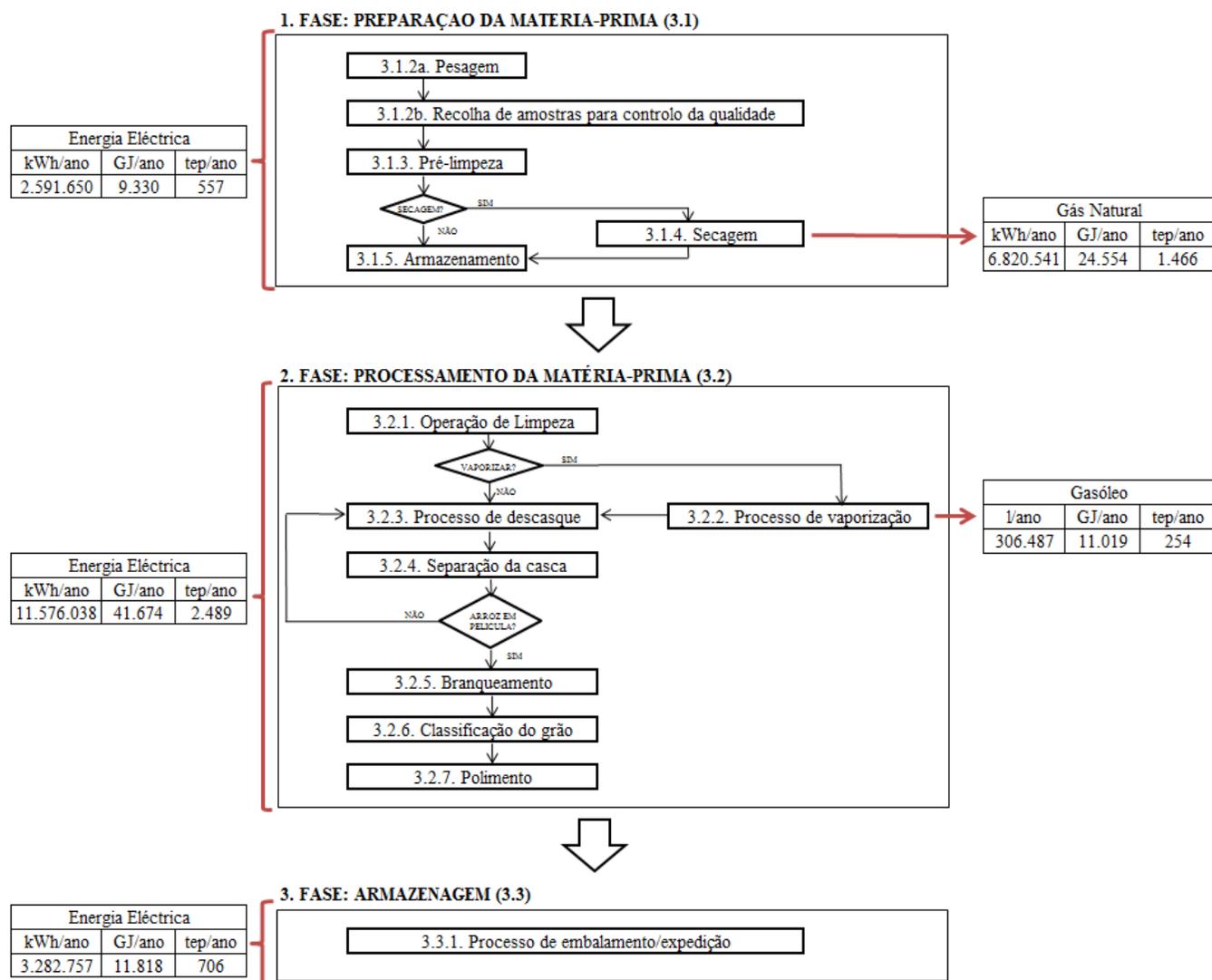


Figura 3.30 - Balanço energético efectuado na indústria arroseira nacional em 2011 [2]

Capítulo 4

Aproveitamento Energético dos Subprodutos Gerados no Processamento do Arroz

A partir do capítulo anterior pode constatar-se que na indústria nacional arroseira se geram três tipos de subprodutos: matérias estranhas resultantes dos processos de pré-limpeza e limpeza; cascas de arroz provenientes do processo de descasque, e; sêneas resultantes dos processos de branqueamento e polimento.

Por intermédio do balanço mássico anteriormente efectuado, e avaliando essencialmente a quantidade gerada dos subprodutos em epígrafe, o poder calorífico e a sua finalidade, pode concluir-se que as cascas de arroz poderão apresentar interesse no que diz respeito à sua exploração como biomassa [34].

As cascas de arroz *in natura** apresentam uma massa volúmica baixa e, como tal, torna-se impraticável a sua aplicação directa como combustível visto que se geram problemas no seu manuseamento, transporte e armazenamento [2, 35-37]. Além disso, a combustão directa desta biomassa apresenta como consequências uma eficiência térmica reduzida devido a ser um combustível pouco homogéneo [34], resultando numa emissão de cinzas elevada que poderá originar problemas de operação [2, 35, 36, 38- 40].

Deste modo pode concluir-se que a casca de arroz por si só não permite suprir as necessidades energéticas de uma unidade, havendo necessidade de se recorrer a diversos processos de conversão energética, com o intuito de tornar exequível a sua aplicação nos sectores da indústria arroseira em que o consumo energético se efectua de forma mais intensiva.

4.1. Processos de conversão energética da casca de arroz

Na Figura 4.1 apresentam-se as principais formas de conversão energética das cascas de arroz, bem como os produtos obtidos pelas diferentes tecnologias empregues com este objectivo [34, 38].

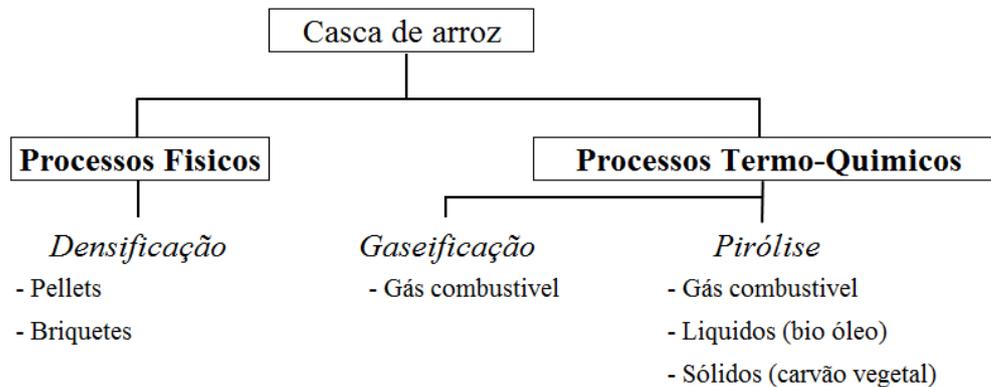


Figura 4.1 - Processos de conversão energética da casca de arroz [34]

4.1.1. Densificação

A densificação é um processo físico que consiste em submeter um determinado combustível sólido a elevadas pressões por intermédio de equipamentos específicos, sendo normalmente utilizadas prensas de extrusão ou de pistão. As cascas de arroz possuem uma quantidade significativa de lignina*. A lignina é um polímero amorfo que actua como um material termoplástico e, como tal, possui um ponto de transição vítrea para uma determinada temperatura (127-193 °C) [41], voltando ao seu estado inicial sempre que se atinjam temperaturas abaixo desse ponto [34-36, 42-48].

Como no processo de densificação se exercem pressões elevadas nas cascas de arroz, conseqüentemente a sua temperatura irá aumentar superando-se o ponto de transição vítrea da lignina contida nas cascas. Assim, dá-se uma diminuição da viscosidade da lignina que penetra mais facilmente no leito de cascas compactadas. Quando a temperatura das cascas compactadas atinge valores inferiores à temperatura de transição vítrea, a aglomeração de cascas volta a adquirir alguma consistência (plastificação da lignina*) [34, 35].

4.1.1.1. Caracterização dos produtos obtidos

O produto final obtido no processo de densificação são os *pellets** (Figura 4.2) ou briquetes*, conforme a dimensão das aglomerações de casca que se pretenda obter [35], apresentando normalmente uma massa volúmica de 1000-1400 kg/m³ e um poder calorífico aproximadamente igual ao do estado inicial da biomassa, caso não haja adição de calor ao processo [48-50].

A partir deste processo obtém-se um combustível mais compacto e homogéneo relativamente às cascas de arroz *in natura* [34, 42]. Assim, poderá ter alguma utilidade em situações que as unidades fabris possuam pouco espaço de armazenamento, existam necessidades de transporte recorrentes [45], de geração de energia eléctrica e/ou calor [34, 44, 51] e seja necessário ajustar a granulometria da biomassa para reactores específicos para o processo de gasificação ou pirólise [48].



Figura 4.2 - *Pellets* de casca de arroz [21]

Caso se pretenda gerar calor para alguma finalidade, a combustão de pellets ou briquetes de casca de arroz apresenta eficiências térmicas mais elevadas relativamente à casca de arroz *in natura*, resultando numa diminuição da emissão de cinzas [37, 52].

4.1.1.2. Equipamentos utilizados no processo

A produção de pellets a partir de cascas de arroz *in natura* não se resume apenas ao processo de densificação por intermédio de prensagem. Na prática, uma unidade de peletização (Figura 4.3) terá de possuir outros equipamentos para que todo o processo seja exequível.

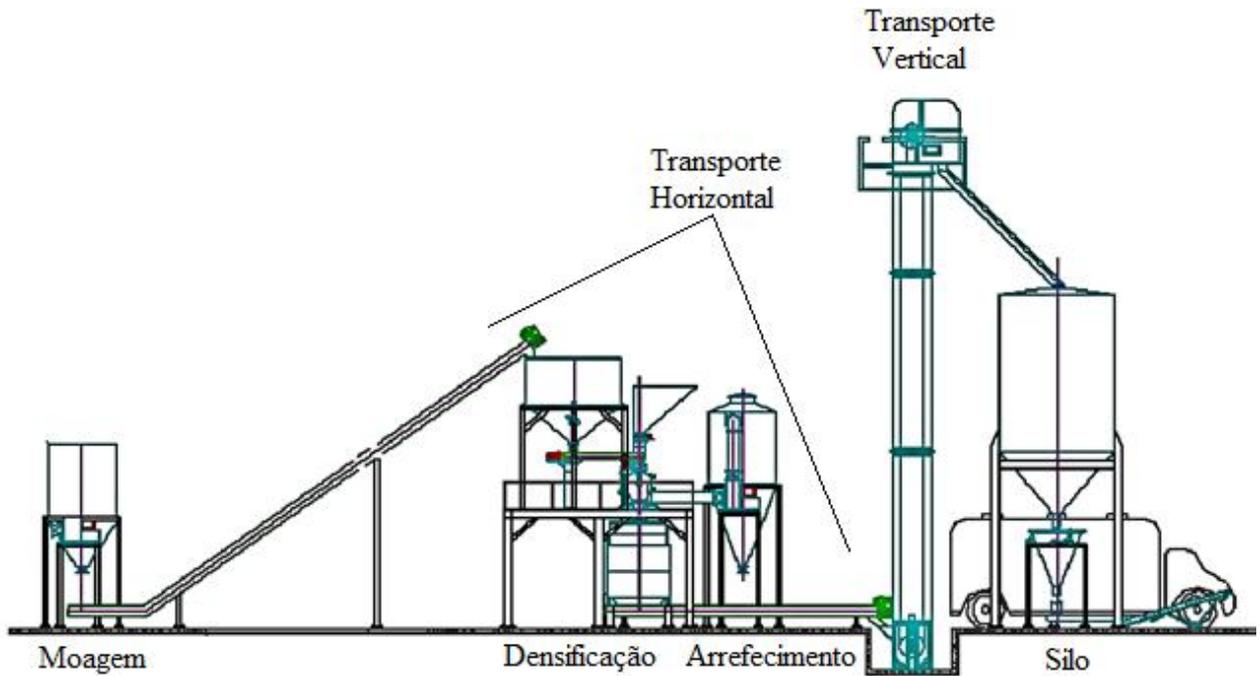


Figura 4.3 - Representação esquemática de uma unidade tipo de peletização de biomassa [53]

A maioria das unidades de peletização típicas possuem um sistema de secagem incorporado antes da fase de moagem, no entanto para o caso da biomassa em questão não será necessário devido aos níveis de humidade que apresentam.

Assim, a primeira fase do processo consiste na moagem das cascas de arroz *in natura* com o intuito de auxiliar o processo de densificação, resultando num material mais homogéneo [54]. A moagem geralmente é efectuada por moinhos de martelos (Figura 4.4) [53].

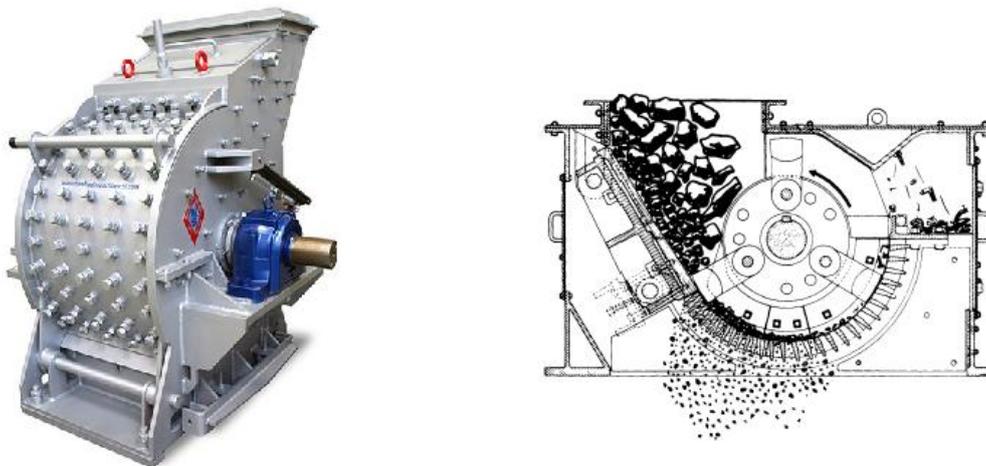


Figura 4.4 – Moinho de martelos [55, 56]

Após as cascas de arroz se encontrarem moídas, são transportadas para uma prensa de extrusão (Figura 4.5) ou de pistão, realizando-se o processo de densificação cujo objectivo consiste em compactar as cascas previamente moídas em formas bem definidas.



Figura 4.5 - Prensa de extrusão [57]

Na Tabela 4.1 apresentam-se alguns termos comparativos entre as prensas de pistão e de extrusão utilizadas na produção de briquetes e *pellets*.

Tabela 4.1 - Comparação entre prensas de pistão e de extrusão [50]

Características	Prensa de Pistão	Prensa de Extrusão
Humidade óptima do material (%)	10-15	8-9
Massa Volúmica (kg/m ³)	1000-1200	1000-1400
Consumo do equipamento (kWh/t)	50	60
Manutenção	Alta	Baixa
Uso em gasificadores	Não recomendável	Recomendável

Posteriormente à densificação, as aglomerações de casca de arroz terão de ser transportadas para um sistema de arrefecimento de forma a permitir que ocorra a plastificação da lignina, fundamental para os pellets manterem a sua nova forma. Geralmente recorre-se a diversos tipos de sistemas de arrefecimento, sendo maioritariamente utilizados os sistemas de arrefecimento horizontais, verticais (Figura 4.6) e de fluxo cruzado [53].



Figura 4.6 - Sistema de arrefecimento vertical [58]

Por fim, os *pellets* são transportados para silos^{*}, ficando armazenados para posterior utilização. É importante salientar que todo o transporte efectuado numa unidade deste tipo é efectuado por fitas transportadoras (transporte horizontal) e elevadores de alcatruzes (transporte vertical) [53].

4.1.2. Gaseificação

A gaseificação é um processo termoquímico que consiste na conversão de um determinado combustível sólido numa mistura de gases combustíveis (gás de síntese^{*}) a partir da oxidação parcial em temperaturas elevadas (700-1000°C) [59]. O agente oxidante utilizado neste processo poderá ser o ar atmosférico, vapor de água ou hidrogénio, havendo vantagens e desvantagens na utilização de cada um.

A utilização de ar atmosférico apresenta a vantagem de ser um agente oxidante mais barato, porém dilui o gás de síntese obtido em aproximadamente 50% de azoto, reduzindo significativamente o seu poder calorífico. Assim, poderá ser apenas vantajoso em situações de queima local do gás obtido no processo de gaseificação [60].

Por outro lado, a partir da utilização de vapor de água ou hidrogénio obtém-se um gás de síntese com um poder calorífico mais elevado indo, contudo, encarecer os custos associados no processo de gaseificação [46].

4.1.2.1. Reactores químicos

O processo de gaseificação é efectuado a partir de reactores químicos (Figura 4.7), sendo maioritariamente utilizados os seguintes tipos: leito fixo (contracorrente, concorrente e corrente cruzada) e leito fluidizado [34, 61-63].

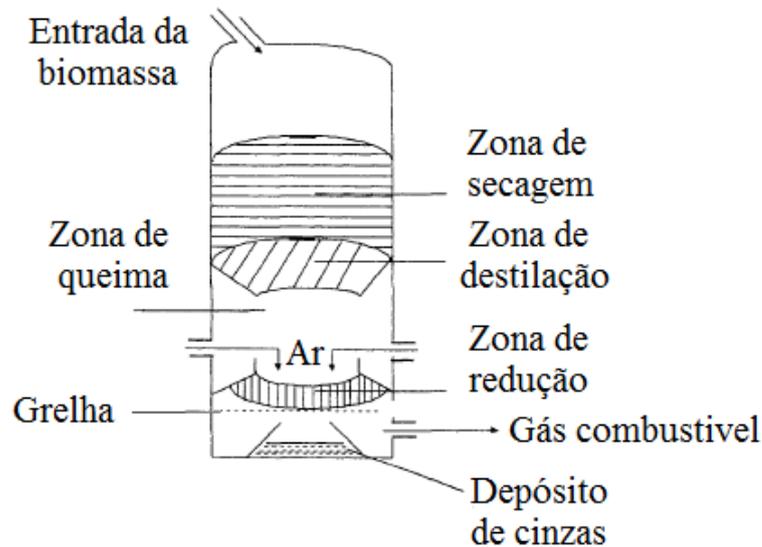


Figura 4.7 - Esquema de um reactor químico de leito fixo do tipo concorrente com aquecimento directo [63]

Para se saber qual o tipo de reactor químico que melhor se adequa às empresas nacionais de arroz tem de ter-se em conta essencialmente três aspectos: o tipo de biomassa que se pretende explorar, a sua quantidade disponível e a finalidade do gás de síntese gerado [34, 59, 62].

Em primeiro lugar, as quantidades de casca de arroz geradas em cada uma das empresas nacionais são pequenas à escala da exploração de biomassas [2]. Assim, a partir da Figura 4.8 pode constatar-se que o tipo de reactor que melhor se adequa à indústria nacional arroseira é o de leito fixo concorrente [34, 63]. Os reactores de leito fluidizado, apesar de possuírem um grau de desenvolvimento e uma aplicabilidade no mercado da biomassa bastante elevado destinam-se a largas escalas de geração de potência e calor (>15 ton/h), não se adaptando à dimensão que as empresas nacionais transformadoras de arroz apresentam visto que a sua aplicação seria economicamente pouco atrativa [63].

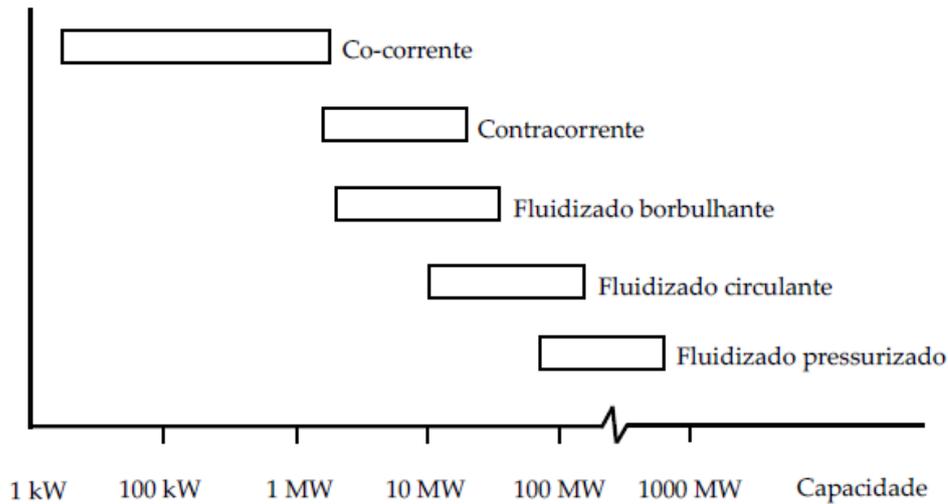


Figura 4.8 - Escala de aplicação de tecnologias de gaseificação de biomassa [64]

Em segundo lugar, pretende-se que o gás de síntese obtido venha a ter aplicação na geração de calor ou potência mecânica. A presença de contaminantes no gás é indesejável em situações que se pretenda gerar potência visto que poderá ocorrer a danificação dos equipamentos energéticos (turbinas e motores de combustão interna). Já no caso de se optar por gerar calor, a presença de contaminantes não apresenta uma importância tão significativa. Deste modo, existem reactores químicos mais indicados para ambas as situações visto que a formação de contaminantes no leito do gás é variável de reactor para reactor (Figura 4.9) [34, 62, 65].

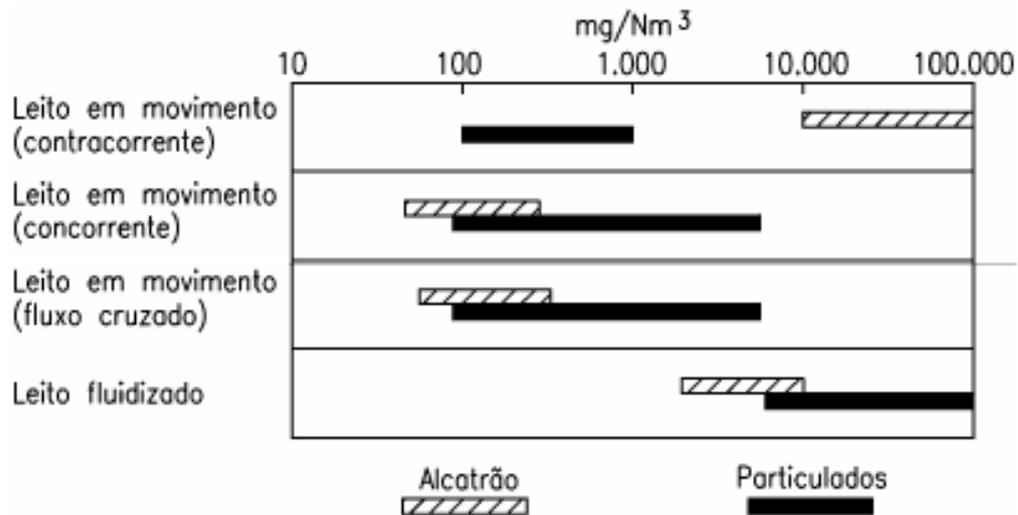


Figura 4.9 - Faixa de variação do teor de alcatrão e partículas no gás obtido em diferentes tipos de gaseificadores [62]

A partir da figura anterior pode constatar-se que os reactores químicos mais adequados para a geração de potência são os de leito fixo concorrente e de fluxo cruzado visto serem os que apresentam uma taxa de contaminantes mais baixa e, portanto, apresentam vantagens técnico-económicas na obtenção de um gás de síntese mais puro.

A Figura 4.10 apresenta uma avaliação relativamente ao grau de desenvolvimento tecnológico e atractividade dos diferentes tipos de reactores para biomassa de forma a verificar se os reactores de leito fixo concorrentes poderão ser aplicados na indústria nacional arroseira.

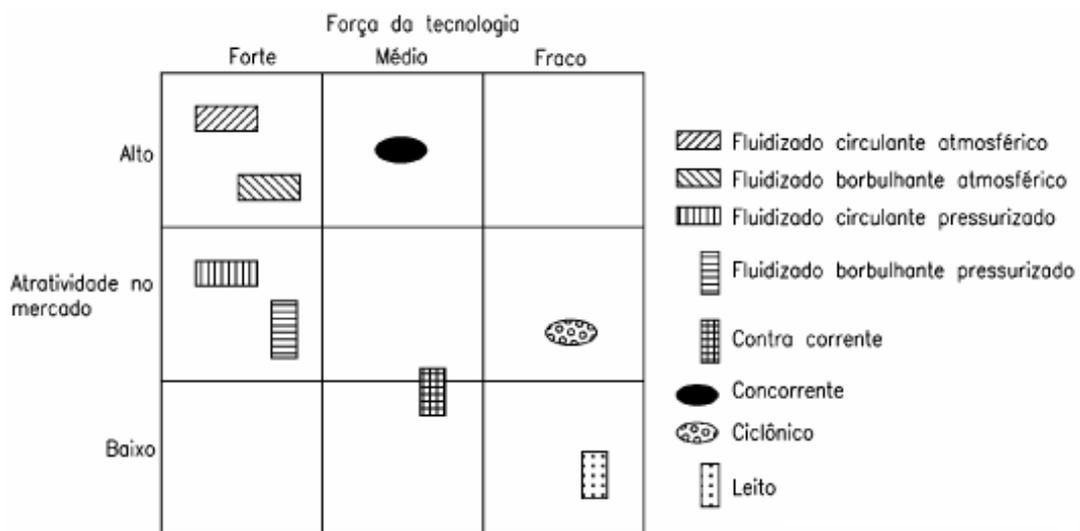


Figura 4.10 - Desenvolvimento tecnológico e atractividade dos diferentes tipos de gaseificadores para biomassa [62]

Pode, então, concluir-se que os reactores químicos mais adequados para a produção de potência e calor em pequena escala na indústria nacional arroseira são os reactores de leito fixo concorrentes [34, 62, 63].

4.1.2.2. Química do processo

Os reactores utilizados no processo de gaseificação possuem aquecimento directo e, como tal, são equipamentos mais simples, baratos e a transferência de calor dá-se de forma mais rápida [60].

Apesar de existirem diversos tipos de reactores de leito fixo para efectuar o processo de gaseificação, todos eles se resumem a quatro processos: combustão (oxidação), secagem (operação física), pirólise (desvolatilização) e gaseificação (redução).

Em primeiro lugar tem de existir uma zona no reactor onde se dê uma reacção de combustão de forma a existir calor suficiente para os demais processos, sendo o combustível utilizado para esse efeito parte do gás combustível, carvão ou bio óleo* obtidos no processo, ou outro combustível primário. Juntamente da biomassa, é insuflado ar para o interior do gaseificador em quantidades inferiores à estequiométrica* e, como tal, gera-se uma combustão incompleta pois apenas uma parcela da biomassa é queimada. Consequentemente forma-se dióxido de carbono e vapor de água, contudo em menores quantidades caso a quantidade de ar insuflada fosse maior.



A partir da combustão incompleta gera-se calor e biomassa por queimar. Assim, existem as condições necessárias para se efectuar a sua secagem e pirólise.

Ao secar-se a biomassa ocorre a libertação de vapor de água (H₂O) e no processo de pirólise, origina-se a decomposição dos hidratos de carbono em gases não condensáveis (CO, CO₂, H₂, CH₄) e, também, a produção de coque, alcatrão e ácidos leves.



Assim, dependendo do agente oxidante, formam-se em maior ou menor quantidade na secagem, pirólise e oxidação parcial da biomassa os seguintes compostos químicos:

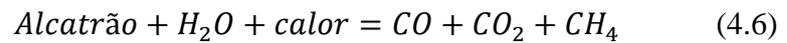
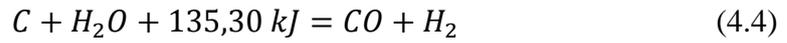
- Monóxido de carbono (libertado no processo de pirólise);
- Vapor de água (libertado no processo de secagem e oxidação parcial da biomassa);
- Metano, Hidrogénio, dióxido de carbono, alcatrão, coque e ácidos leves (libertados no processo de pirólise).

Após a ocorrência destes três processos (oxidação parcial, secagem e pirólise) gera-se uma mistura constituída pelos diversos compostos mencionados anteriormente. Como nem todo o calor libertado na oxidação parcial da biomassa é consumido nos processos de secagem e pirólise, os produtos resultantes reagem entre si endotermicamente, originando novos compostos químicos. É importante salientar que

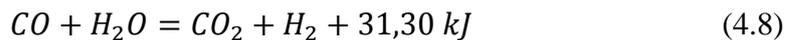
alguns desses produtos também reagem exotermicamente, sendo o calor libertado aproveitado para parte das reacções endotérmicas*.

De seguida apresentam-se algumas das reacções endotérmicas e exotérmicas* mais importantes no processo de gaseificação:

Reacções endotérmicas:



Reacções Exotérmicas:



Assim se concretiza a última fase do processo de gaseificação gerando-se um produto final normalmente designado por gás de síntese.

4.1.2.3. Caracterização dos produtos obtidos

Ao ter de operar-se com os reactores de leito fixo concorrentes irá obter-se uma produtividade e eficiência mais baixa face aos de leito fluidizado, além do poder calorífico do gás de síntese obtido por intermédio das cascas de arroz assumir valores mais baixos [66].

Na Tabela 4.2 apresentam-se as principais diferenças entre estes dois tipos de reactores operando com cascas de arroz e utilizando como agente oxidante o ar atmosférico.

Tabela 4.2 - Principais diferenças entre os gaseificadores de leito fixo concorrentes e fluidizado [66, 67]

	Reactores químicos	
	Leito fixo concorrente	Leito fluidizado
PCI _{gás de síntese} (MJ/Nm ³)	3,8-4,6	4,6-6,3
ε _{gaseificador} (%)	47	65
Produtividade (kg.m ² /h)	127	960

4.1.2.4. Equipamentos utilizados no processo

Os reactores de leito fixo concorrente apesar de apresentarem uma taxa de contaminantes mais baixa relativamente aos outros equipamentos, não deixam de possuí-los. Os contaminantes gerados podem dividir-se num determinado teor de partículas e compostos orgânicos, vulgarmente designados por alcatrões [65]. Os alcatrões formados durante a gaseificação de biomassas são misturas de hidrocarbonetos* condensáveis e encontram-se no estado gasoso quando o gás de síntese abandona o reactor visto que se encontra a uma temperatura entre os 300-500 °C [59, 65].

Assim, a produção de um gás de síntese a partir das cascas de arroz não se resume apenas à sua passagem num reactor químico. Na prática, uma unidade de gaseificação (Figura 4.11) que se destine à geração de potência deve ser constituída, além do reactor, de equipamentos de limpeza e arrefecimento com o objectivo de obter-se um gás de síntese o mais puro possível [59, 65, 68].

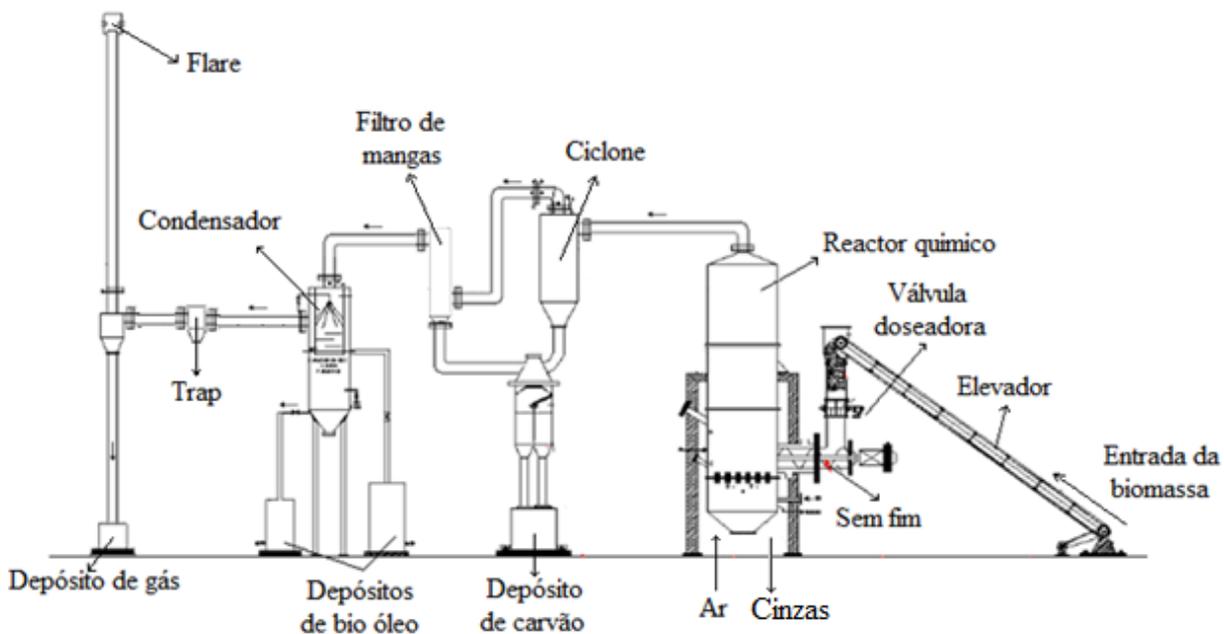


Figura 4.11 - Unidade de gaseificação típica [59, 68]

O processo de limpeza é fundamental e geralmente utilizam-se dois tipos de filtros com o intuito de reter partículas de pequenas e grandes dimensões. Os ciclones (Figura 4.12) são amplamente utilizados para reter partículas com tamanhos superiores a 5 µm e como 60-65% do gás de síntese possui partículas com cerca de 60 µm, estes equipamentos de limpeza são necessários [59].



Figura 4.12 - Ciclone [69]

Após o gás atravessar o ciclone ainda contém partículas finas e alcatrões, sendo na maioria dos casos utilizado um filtro de mangas (Figura 4.13) para reter esse tipo de partículas [68].



Figura 4.13 - Filtro de mangas [70]

O gás limpo (isento de partículas) atravessa um condensador de forma a garantir o seu arrefecimento e a condensação dos alcatrões efectuando-se, assim, a separação dos alcatrões e do gás de síntese [59, 62].

O gás de síntese limpo é totalmente desumidificado num equipamento denominado *trap* (Figura 4.14) que também tem a função de purgar o sistema de gaseificação de forma a evitar acumulações de água e alcatrões [68].

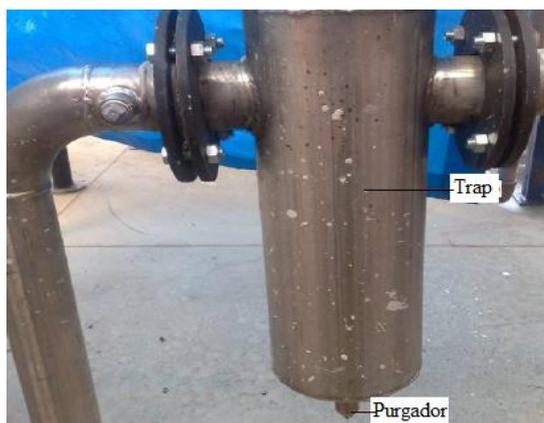


Figura 4.14 - Trap [68]

O gás após passar pelo *trap* é transportado para um depósito que tem a finalidade de armazenar e manter a estabilidade de pressão do sistema para posteriormente alimentar um determinado equipamento de forma eficaz [68].

Geralmente as unidades de gaseificação têm de possuir um sistema de segurança denominado *flare* (Figura 4.15) que tem como função eliminar o excesso de gás sempre que ocorra essa situação. Assim o gás é queimado evitando a sua eliminação para a atmosfera [68].

Em alguns sistemas de gaseificação o calor absorvido pelo ar de arrefecimento do gás de síntese é transferido por intermédio de um permutador ar-ar para o ar de admissão do reactor, aumentando a sua eficiência.

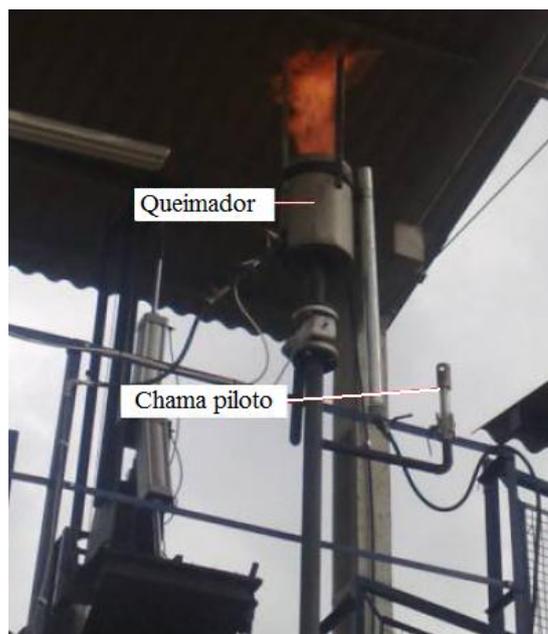


Figura 4.15 - Flare [68]

4.1.3. Pirólise

A pirólise é um processo termoquímico que consiste em submeter um determinado combustível sólido a temperaturas relativamente baixas (300-900°C) em atmosfera não oxidante. Como consequência obtém-se como produtos finais uma mistura de gases não condensáveis, produtos líquidos (bio óleo) e uma substância carbonosa que pode ser convertida em carvão activado [34, 47, 61, 71-75.]

As proporções dos produtos obtidos por pirólise variam em função do tipo de biomassa e das condições de processo (Figura 4.16), nomeadamente a sua temperatura, velocidade de aquecimento e duração [71, 73, 74]. Uma pirólise lenta ou convencional encontra-se associada a baixas temperaturas de processo (300 a 500°C), taxas de aquecimento baixas (0,1 - 1 °C/s) e longas durações (30 min), obtendo-se cerca de 80% de carvão vegetal [61]. Por outro lado, na pirólise rápida utilizam-se temperaturas de processo elevadas (800-900°C), caracterizando-se por uma alta velocidade de aquecimento (10-200 °C/s) durante curtos períodos (1-10s), obtendo-se entre 40-50% de bio óleo para o caso das cascas de arroz [76-78]. O carvão e os gases gerados poderão ser utilizados como fonte de calor do próprio processo, tornando-o auto sustentável [61, 71, 73].

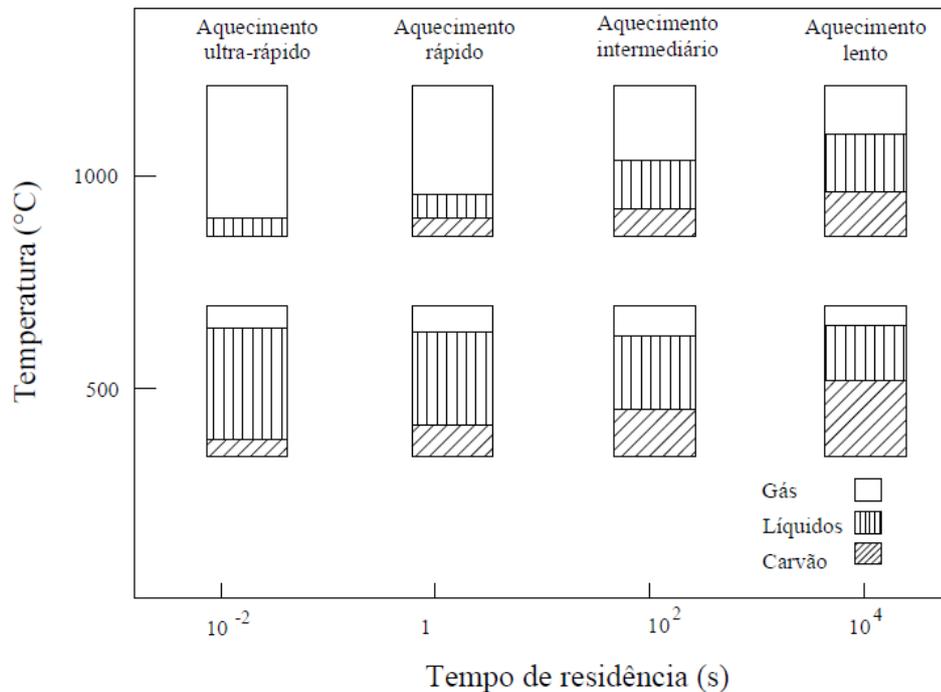


Figura 4.16 - Espectro de produtos obtidos por pirólise [79]

4.1.3.1. Reactores químicos

Tal como no processo de gaseificação, a pirólise é efectuada por intermédio dos mesmos tipos de reactores químicos (Figura 4.17) existindo, no entanto, algumas diferenças entre eles. Devido ao facto de ambos os processos serem fortemente endotérmicos necessitam de uma fonte de calor, no entanto, na gaseificação o aquecimento é directo visto que a fonte de calor se situa no interior do próprio reactor (oxidação parcial). Porém, no processo de pirólise efectua-se um aquecimento indirecto visto que a fonte de calor se situa no exterior do reactor químico, isto é, geralmente realiza-se uma combustão de parte do combustível gerado num forno circular que envolve parte do reactor ou em alguns casos utiliza-se um sistema de resistências eléctricas [60, 80].

Devido ao aquecimento indirecto nos reactores de pirólise tem de se recorrer à insuflação de um gás inerte* (normalmente azoto) de forma a efectuar-se o transporte dos gases produzidos no processo de pirólise [80].

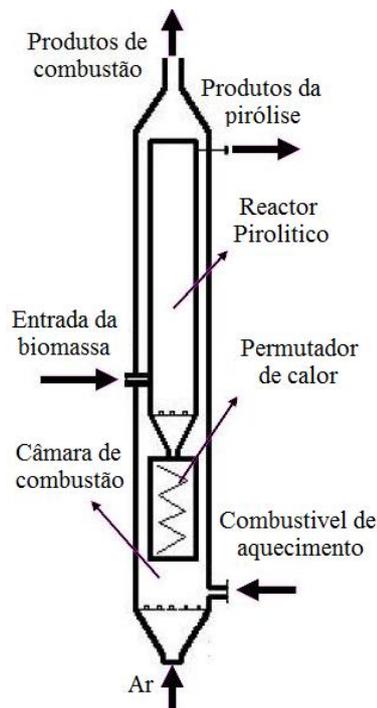


Figura 4.17 - Reactor de pirólise [76]

Os tipos de reactores mais utilizados no processo de pirólise são os de leito fluidizado borbulhante e circulante devido à facilidade de operação e eficiências de

pirólise altas [81, 82]. Contudo, também poderão ser utilizados reatores de leito fixo em casos particulares onde a dimensão das instalações seja pequena [63, 83-85].

4.1.3.2. Química do processo

As cascas de arroz são essencialmente constituídas por celulose*, hemicelulose* e lignina. Deste modo, caso sejam submetidas a calor na ausência de oxigénio irá desencadear-se a decomposição térmica de cada um desses compostos, originando os produtos de pirólise [79].

Em diversos estudos termogravimétricos de biomassas lignocelulósicas verificou-se que numa gama de 100-180°C ocorre a secagem da biomassa, ocorrendo a libertação de H₂O. Posteriormente, à medida que a temperatura vai aumentando para valores entre 180-290 °C ocorre a decomposição da hemicelulose, originando-se produtos voláteis (CO, CO₂ e ácido acético em forma de voláteis). Na faixa de 290-370 °C, a celulose que já experimentou algumas transformações químicas, decompõe-se ocorrendo a libertação de voláteis, compostos por vapores orgânicos e altas concentrações de CO, H₂, CH₄ e CO₂. A partir dos 370 °C ocorre a decomposição da lignina, ocorrendo a formação de alcatrões pesados e de alguns hidrocarbonetos* (50% do carbono fixo no material sólido) [61, 75, 79].

4.1.2.3. Caracterização dos produtos obtidos

A mistura de gases combustíveis obtidos por pirólise da casca de arroz possuem um poder calorífico inferior* de 1170 kcal/kg e, como tal, inferior comparativamente com o bio óleo (Figura 4.18), cujo poder calorífico superior* apresenta valores compreendidos entre 3917-4753 kcal/kg [76-78, 86]. Deste modo, poderá ter algum interesse de aplicação na indústria nacional arroseira devido a ser um combustível de fácil armazenamento, transporte e aplicabilidade comparativamente com a casca de arroz *in natura* e o carvão vegetal obtido por pirólise [81]. Além disso, a percentagem de cinzas geradas a partir da combustão do bio óleo é cerca de 100 vezes inferior face à casca de arroz *in natura*, tornando a queima deste combustível isenta dos problemas típicos recorrentes na combustão de *pellets* de casca de arroz [38, 78].



Figura 4.18 - Bio óleo obtido por pirólise [87]

4.1.2.4. Equipamentos utilizados no processo

Tal como nos processos de conversão energética anteriores, a produção de bio óleo a partir de cascas de arroz não se resume apenas ao processo de pirólise por intermédio de um reactor químico. Após efectuar-se a pirólise das cascas de arroz geram-se gases condensáveis, gases não condensáveis e cinzas. Assim, uma unidade de pirólise (Figura 4.19) terá de possuir diversos equipamentos para além do reactor de forma a efectuar-se a extracção e separação dos produtos gerados no processo.

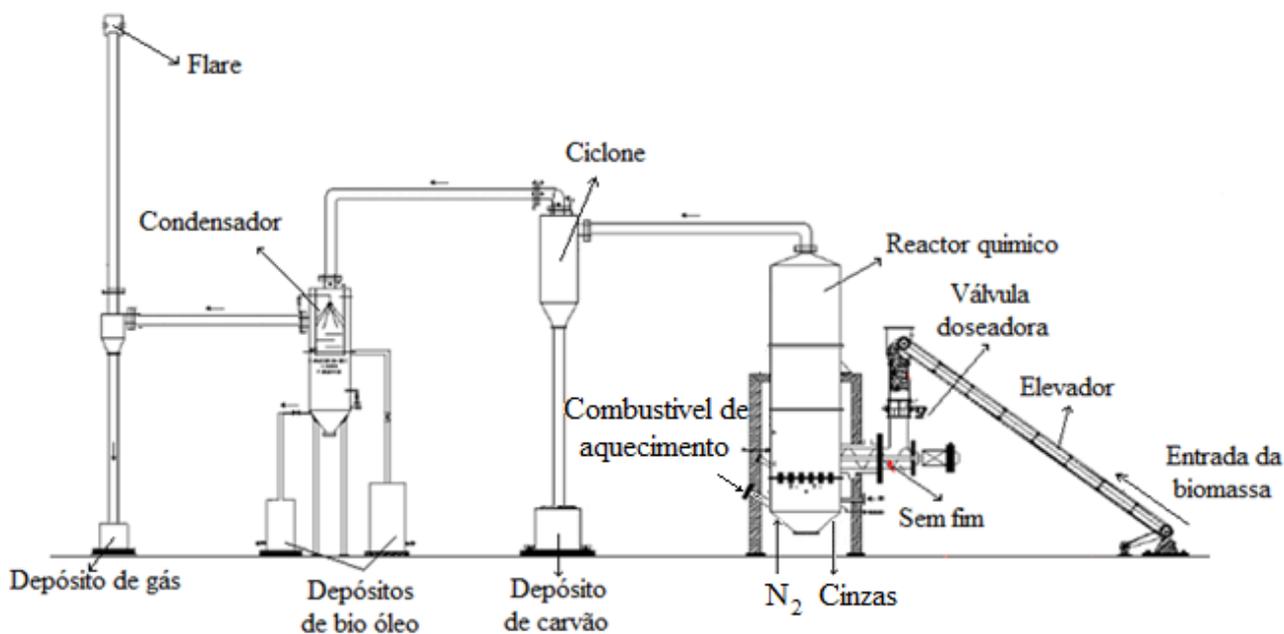


Figura 4.19 - Esquema genérico de uma unidade de pirólise rápida a biomassa [88]

Inicialmente a biomassa é colocada no reactor e é posteriormente submetida a calor proveniente do equipamento auxiliar responsável pelo aquecimento indirecto. À medida

que a biomassa vai sendo pirolisada, é insuflado um gás inerte (normalmente azoto) de forma a transportar os gases obtidos no processo para fora do reactor. A mistura de gases obtida contém uma determinada percentagem de partículas de carvão que são removidas do leito do gás a partir de um ou mais ciclones.

A mistura de gases que sai dos ciclones é posteriormente transportada para um condensador com o intuito de efectuar a condensação dos gases condensáveis originando o bio óleo que é armazenado num ou mais depósitos. Os restantes gases que não foram condensados são transportados para um depósito próprio e, juntamente do carvão obtido, poderão servir de combustível para produzir o calor necessário a todo o processo de pirólise.

À semelhança do caso anterior, as unidades de pirólise terão de possuir um *flare* de forma a queimar o excesso de gás produzido.

4.2. Problemas técnicos e operacionais na exploração de cascas de arroz

No início deste capítulo analisaram-se três formas de converter energeticamente a casca de arroz num novo combustível: pellets (densificação), bio óleo (pirólise) e gás de síntese (gaseificação).

Verificou-se que os reactores de leito fixo concorrentes e as prensas de extrusão são os equipamentos que melhor se adequam ao processo de gasificação/pirólise e densificação na indústria nacional arroseira, respectivamente. Existem, no entanto, alguns procedimentos a ter em conta neste tipo de equipamentos para que possam operar de forma eficiente e segura.

4.2.1. Procedimentos necessários nos equipamentos de conversão energética

Os reactores de leito fixo concorrentes requerem granulometrias bem definidas da biomassa a fim de se obterem melhores condições de operação e rendimento. Estes reactores são mais eficientes operando com biomassas cuja granulometria varie de 50 a 100 mm (Tabela 4.3). Como as cascas de arroz possuem uma granulometria média inferior a 3 mm [89, 90] deve-se proceder ao processo de densificação antes dos demais processos de conversão energética [48].

Tabela 4.3 - Granulometrias recomendadas para os principais sistemas de utilização de biomassa [48]

Tipo de reactor químico	Granulometria recomendada [mm]
Leito fixo	50-100
Queima em suspensão	<6,0-7,0
Leito fluidizado borbulhante	20-30
Leito fluidizado circulante	<6,0-7,0

Além da granulometria, a humidade presente na biomassa afecta notavelmente a eficiência destes equipamentos, tal como o funcionamento das prensas utilizadas no processo de densificação [48]. Então, recomendam-se níveis de humidade inferiores a 20% para reactores químicos do tipo concorrente [48] e entre 5-15 % para prensas de extrusão e pistão [50, 89]. Caso os níveis de humidade da biomassa se situem acima destes valores deverão ser submetidas a um processo de secagem.

Tal como foi mencionado anteriormente, o arroz *paddy* é submetido a um processo de secagem com o objectivo de fixar a sua humidade em valores de 14% e portanto as cascas de arroz irão apresentar valores em torno desse valor consoante as condições e tempo de armazenamento. Assim, este subproduto gerado na indústria nacional arroseira possui níveis de humidade ideais para a sua conversão energética, evitando consumos energéticos adicionais.

4.2.2. Procedimentos necessários na combustão de pellets de casca de arroz

Em situações que seja necessário efectuar a combustão de pellets de cascas de arroz há que ter em conta alguns aspectos de extrema importância. Os *pellets* apesar de apresentarem uma homogeneidade superior face às cascas de arroz *in natura*, geram uma quantidade significativa de cinzas após a sua combustão, ocorrendo normalmente dois problemas que devem ser tidos em conta.

As cinzas sob acção de calor poderão fundir ao atingir o seu ponto de fusão* (aproximadamente 1000 °C). Como consequência, poder-se-ão formar quantidades significativas de escória* que, caso não seja removida, poderá provocar entupimentos nas câmaras de combustão.

Outro problema deve-se ao facto das cinzas serem constituídas por 85-90% de sílica [40]. Assim, parte das cinzas volantes que poderão encontrar-se no leito do gás de síntese ou nos gases de combustão poderão apresentar um efeito abrasivo nos equipamentos que atravessarem, incrementando os custos de manutenção.

Para evitar este tipo de problemas, todos os equipamentos térmicos onde se efectue a combustão de *pellets* de cascas de arroz terão de possuir sistemas eficazes de remoção de cinzas ou escória [59, 68].

A título de exemplo, em alguns reactores de leito fixo concorrentes de pequena escala a remoção de cinzas dá-se por intermédio de uma grelha rotativa (Figura 4.20) que possui orifícios e lacunas para raspar as cinzas e envia-las para um reservatório próprio [68].



Figura 4.20 - Sistema de remoção de cinzas num reactor de leito fixo concorrente [68]

4.3. Aplicação das cascas de arroz na indústria nacional arroseira

A partir da abordagem efectuada no Capítulo 3 pode constatar-se que a indústria nacional arroseira é constituída por três processos consumidores intensivos de energia: secagem, vaporização e transformação do arroz. As formas de energia consumidas em cada um desses processos poderão ser total ou parcialmente substituídas pelos *pellets*, gás de síntese ou bio óleo, a partir de sistemas apropriados para cada finalidade.

4.3.1. Aplicação das cascas de arroz para geração de calor

Os processos de secagem e vaporização, essencialmente térmicos, são efectuados por intermédio de secadores verticais do tipo LSU e geradores de vapor alimentados maioritariamente a gás natural e gasóleo, respectivamente.

A exploração de biomassa como fonte energética alternativa exige a remoção do(s) queimador(es) pré-existente(s) por um ou mais queimadores projectados para cada tipo de combustível, na mesma escala de potências, salvaguardando-se que exista sempre um sistema de remoção de cinzas eficaz no caso da exploração directa de *pellets*.

Assim, a queima directa de *pellets*, bio óleo ou gás de síntese em queimadores apropriados para gerar calor no processo de vaporização e secagem poderá ser uma solução em situações que se pretenda somente gerar calor por intermédio das cascas de arroz, continuando a existir dependência total na energia eléctrica para o processamento do cereal. Como alternativa a esta questão, em situações que exista excedente de biomassa na geração de calor, estes sistemas poderão ser utilizados simultaneamente com sistemas convencionais de geração de energia eléctrica, numa tentativa de tornar a instalação autossuficiente.

4.3.2. Aplicação das cascas de arroz no processo de geração de energia eléctrica e calor

A transformação de arroz, contrariamente aos casos anteriores, é um processo fundamentalmente mecânico, sendo dependente da energia eléctrica para o acionamento dos equipamentos correspondentes. Os três tipos de combustíveis que podem ser obtidos a partir das cascas de arroz *in natura* poderão ser utilizados para gerar energia eléctrica e, por conseguinte, abastecer total ou parcialmente as empresas nacionais transformadoras de arroz [2, 91]. Contudo, é tecnicamente impossível fazê-lo por intermédio de um único processo, sendo necessário existir processos intermédios para que a conversão de energia química em energia eléctrica seja exequível (Figura 4.21).



Figura 4.21 - Processos efectuados num sistema termoelétrico [91]

Deste modo, todos os sistemas termoelétricos terão de possuir um conjunto de equipamentos que operem segundo ciclos termodinâmicos específicos denominados por ciclos de potência, que podem ser abertos ou fechados [63, 92]. Nos ciclos fechados, o fluido de trabalho volta ao estado inicial no final de cada ciclo e nos ciclos abertos, o fluido de trabalho é renovado no final de cada ciclo [93].

A conversão da energia química dos combustíveis em energia térmica não é mais do que um processo de combustão que se efectua em equipamentos denominados queimadores, podendo estar incorporados (ciclo aberto) ou isolados (ciclo fechado)

relativamente ao equipamento de conversão de energia térmica em energia mecânica [94].

Os equipamentos responsáveis pela conversão da energia térmica em energia mecânica são os mais importantes em qualquer sistema termoelétrico, sendo normalmente utilizadas turbinas a vapor, turbinas a gás, motores alternativos de combustão interna, motores *Stirling* e células de combustível [63, 91-94]. Os equipamentos mencionados podem dividir-se em dois grupos conforme o fluido de trabalho seja a água (ciclo fechado) ou os gases de combustão (ciclo aberto) [63, 92, 94].

Por fim, os equipamentos responsáveis pela conversão da energia mecânica em energia eléctrica designam-se por geradores eléctricos.

Devido ao facto de se produzir energia eléctrica a partir de um sistema, cada um dos seus equipamentos possui perdas associadas (Figura 4.22) que irão contribuir de forma decisiva para a eficiência eléctrica do sistema termoelétrico [63].

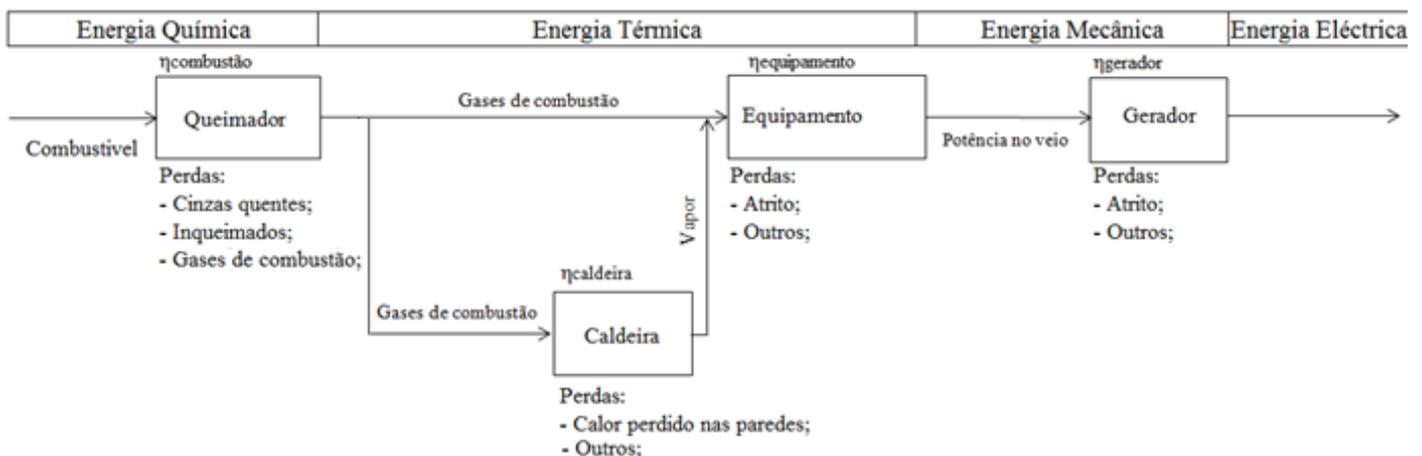


Figura 4.22 - Perdas associadas a cada processo de geração de energia eléctrica [63]

De seguida irá efectuar-se uma abordagem dos sistemas termoelétricos mais adequados à indústria nacional arroseira.

4.3.2.1. Sistema termoelétrico convencional com turbina a vapor

Um sistema deste tipo opera segundo um ciclo de *Rankine* adaptado para geração de energia eléctrica (Figura 4.23) e, como tal, terá de ser constituído por 5 equipamentos principais: caldeira, turbina, condensador, sistema de bombagem e gerador eléctrico.

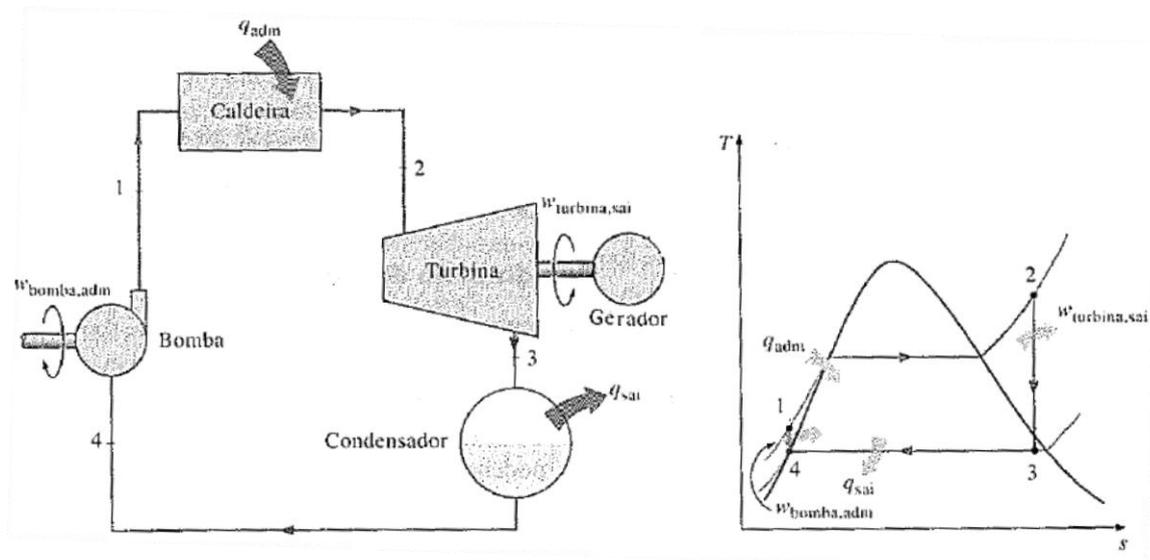


Figura 4.23 - Ciclo de Rankine simples ideal [93]

Inicialmente efectua-se a conversão da energia química do combustível em energia térmica no queimador da caldeira (processo de combustão) havendo uma transferência de calor aproximadamente isobárica entre os gases de combustão e a água no estado de líquido comprimido (fase 1-2). Como consequência, ocorre uma mudança de fase para vapor sobreaquecido com um valor entálpico superior ao do estado inicial (estado 2).

O vapor sobreaquecido produzido na caldeira é conduzido para uma turbina onde ocorre uma determinada queda entálpica responsável pelo aumento da sua energia cinética (fase 2-3), abandonando-a na fase de mistura com um título elevado (estado 3).

De forma a restabelecer-se as condições iniciais do estado físico do fluido de trabalho, a água na fase de mistura é conduzida para um condensador, onde perde calor com o exterior (fase 3-4), mudando de fase para líquido saturado (estado 4).

Por fim, existe um sistema de bombagem que transporta a água no estado de líquido saturado para a caldeira de forma a iniciar-se um novo ciclo (fase 4-1).

Após a turbina do sistema adquirir uma determinada quantidade de energia cinética, parte dela poderá ser convertida em energia eléctrica a partir de um gerador eléctrico que se encontra acoplado no mesmo veio da turbina [93, 95].

4.3.2.2. Cogeração em sistemas termoeléctricos com turbina a vapor

As centrais termoeléctricas convencionais com turbina a vapor libertam quantidades significativas de calor no processo de condensação do vapor que sai da turbina. Desta forma, este tipo de sistemas poderá ser optimizado, sendo a configuração mais simples e

económica dentro das opções existentes a cogeração em turbinas a vapor de contrapressão (Figura 4.24). A mais-valia que estes sistemas possuem parte por aproveitar grande parte do calor contido no vapor que seria condensado no processo convencional [96, 97].

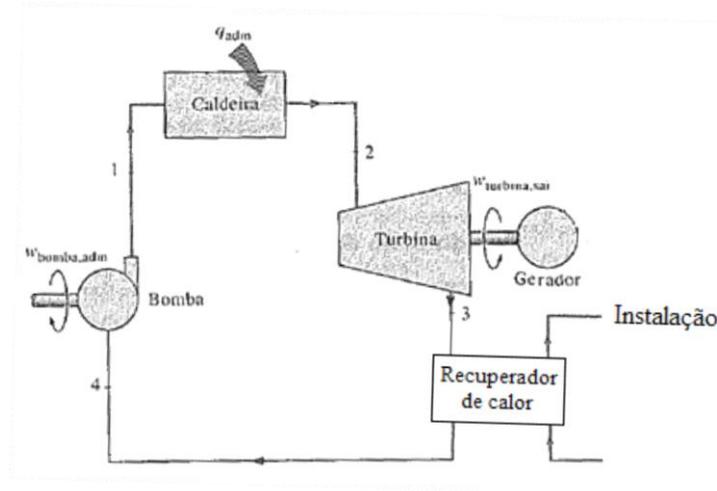


Figura 4.24 - Cogeração em central termoelétrica com turbina a vapor [93, 96, 97]

Este tipo de sistemas poderá ser uma solução para instalações que necessitem de calor e energia eléctrica.

4.3.2.3. Sistema termoelétrico com microturbina a gás

Um sistema deste tipo opera segundo um ciclo de *Brayton* adaptado para geração de energia eléctrica (Figura 4.25) sendo constituído por 4 equipamentos: queimador, turbina, compressor e gerador eléctrico [93, 95].

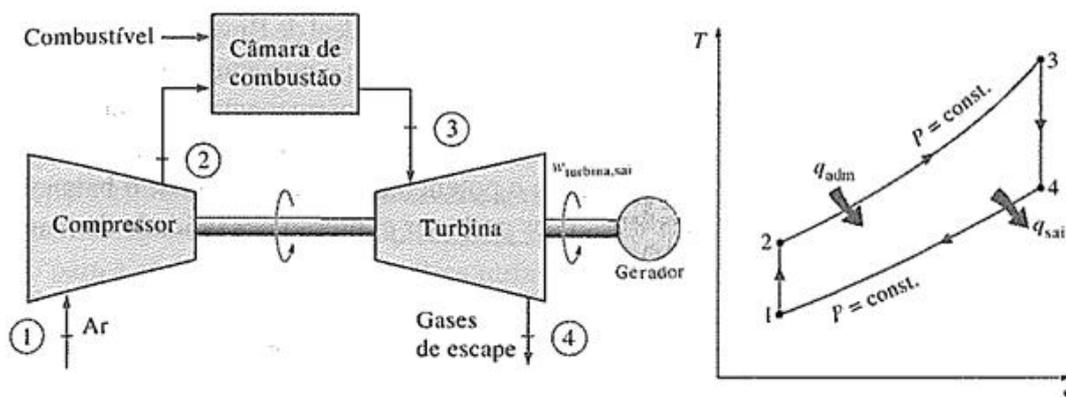


Figura 4.25 - Esquema e diagrama T-s de um ciclo de *Brayton* simples ideal [93]

Inicialmente é efectuada a admissão do ar atmosférico por intermédio de um compressor que aumenta a sua pressão e temperatura às custas de parte da energia cinética gerada na turbina (fase 1-2). Deste modo torna-se possível efectuar a combustão do gás combustível nas proporções adequadas, caso contrário nunca se conseguiria atingir as potências desejadas na turbina do sistema. Após ocorrer o processo de combustão no queimador do sistema, formam-se gases a elevada pressão e temperatura (fase 2-3) que são conduzidos para uma turbina onde ocorre uma determinada queda entálpica que é convertida em energia cinética (fase 3-4). Por fim, os gases após serem expandidos até aproximadamente a pressão atmosférica são expulsos para o exterior, completando o ciclo aberto [93, 94].

A forma como é produzida energia eléctrica num sistema deste tipo é semelhante à do caso anterior. No entanto, neste caso, o veio de transmissão de potência faz o acoplamento entre o compressor, a turbina e o gerador eléctrico [93, 94].

Neste tipo de sistemas os gases de exaustão na saída da turbina encontram-se a uma temperatura considerável (450-600 °C) tornando viável a sua exploração como fonte de calor para outros processos.

O procedimento mais utilizado na optimização deste tipo de sistemas consiste em adicionar ao ciclo de *Brayton* um ciclo de *Rankine* auxiliar (Figura 4.26), cuja fonte de energia são os próprios gases de exaustão. Deste modo, produz-se vapor que poderá ser utilizado para operar uma turbina a vapor auxiliar, produzindo potência adicional ao processo que no sistema convencional seria perdida a partir dos gases de exaustão [96, 97].

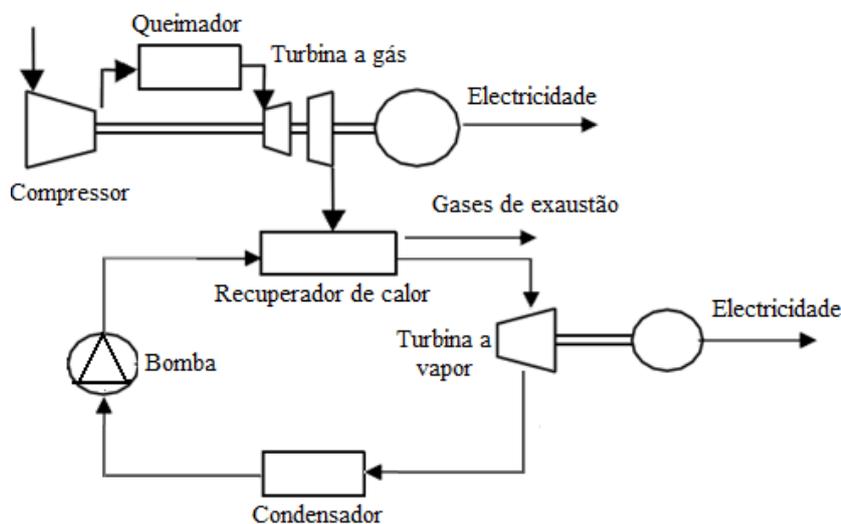


Figura 4.26 - Central termoelétrica de ciclo combinado [97]

4.3.2.4. Cogeração em sistemas termoelétricos com microturbina a gás

As centrais termoelétricas convencionais com microturbinas a gás libertam quantidades significativas de calor a partir da exaustão dos gases da turbina. Desta forma, este tipo de sistemas poderá ser otimizado (Figura 4.27), aproveitando grande parte do calor contido nos gases de exaustão que seria libertado para a atmosfera no processo convencional [96, 97].

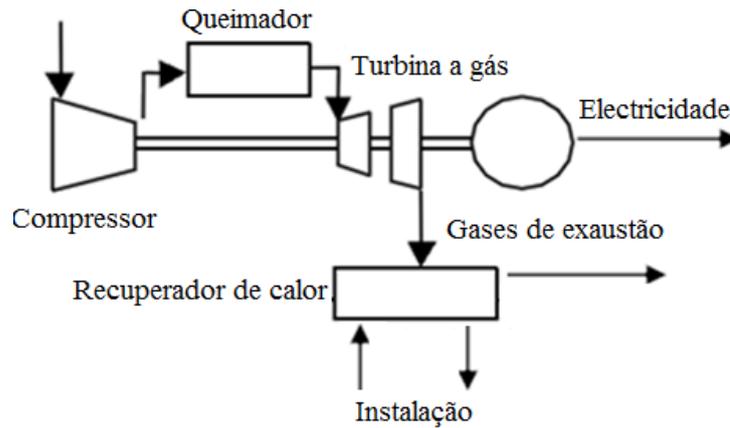


Figura 4.27 - Cogeração em central termoelétrica com microturbina a gás [93, 96, 97]

Este tipo de sistemas poderá ser uma solução para instalações que necessitem de calor e energia eléctrica.

4.3.2.5. Sistema termoelétrico com motores alternativos de combustão interna

Um sistema deste tipo não é mais do que um motor alternativo de combustão interna acoplado a um gerador eléctrico.

Um motor alternativo de combustão interna grosso modo é um dispositivo cilindro-êmbolo em que o processo de conversão de energia química em energia térmica e energia térmica em energia mecânica pode ser efectuado no seu interior por intermédio de dois ciclos termodinâmicos: ciclo *Otto* e ciclo *Diesel* [93].

Os motores utilizados para geração de energia eléctrica geralmente operam segundo um ciclo *Otto* ou *Diesel* a 4 tempos (Figura 4.28) sendo constituído pelos seguintes componentes básicos: cilindro, êmbolo, pistão, cambota* e válvulas de admissão e escape [93].

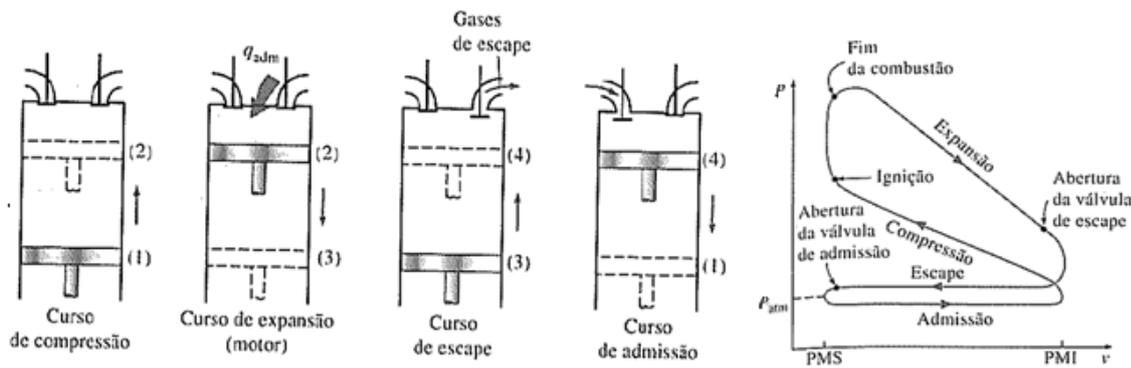


Figura 4.28 - Representação genérica de um ciclo *Otto* a 4 tempos [93]

Inicialmente, ambas as válvulas de admissão e escape encontram-se fechadas, e o êmbolo, na sua posição inferior (PMI). Durante o tempo de compressão, o êmbolo desloca-se com movimento ascendente, comprimindo a mistura ar-combustível (fase 1-2). Pouco antes de atingir a sua posição mais elevada (PMS), salta uma faísca na vela de ignição que inflama a mistura, aumentando a pressão e temperatura do sistema. Os gases a alta pressão forçam o êmbolo para baixo, que por sua vez obriga a cambota a rodar, produzindo um débito de trabalho útil durante a expansão (fase 2-3). No fim deste curso, o êmbolo encontra-se na sua posição inferior e o cilindro encontra-se cheio com produtos de combustão. De seguida, o êmbolo move-se uma vez mais para cima, purgando os gases através da válvula de escape (fase 3-4), e para baixo uma segunda vez, admitindo novamente uma mistura de ar-combustível a partir da válvula de admissão [92, 93].

A explicação efectuada anteriormente refere-se a um ciclo *Otto* a 4 tempos, no entanto o funcionamento de um ciclo *Diesel* a 4 tempos é muito similar. Num motor que opere segundo um ciclo *Otto*, a mistura ar-combustível é comprimida até uma temperatura inferior à de auto-ignição do combustível, sendo o processo iniciado pela faísca de uma vela. Por conseguinte, num motor que opere segundo um ciclo *Diesel*, o ar é comprimido até uma temperatura superior à de auto-ignição do combustível, e a combustão inicia-se imediatamente quando o combustível é injectado no seio do ar quente [93].

Em ambos os casos, como a cambota adquire energia cinética em cada ciclo, parte dessa energia pode ser convertida em energia eléctrica por intermédio de um gerador eléctrico que se encontra acoplado.

4.3.2.6. Cogeração em sistemas termoelectricos com motores alternativos de combustão interna

Um motor de combustão interna convencional perde calor para o meio ambiente por intermédio dos gases de escape, do fluido de refrigeração, do fluido de lubrificação e a partir das próprias paredes do motor, conferindo-lhe uma eficiência baixa.

Na maioria dos casos, com o intuito de recuperar grande parte do calor que é libertado nestes equipamentos, utiliza-se um recuperador de calor para transferir calor proveniente dos gases de escape para o fluido de arrefecimento quando abandona o motor (Figura 4.29). Após ser aproveitado o calor existente no fluido de refrigeração do motor, este é utilizado para arrefecer o seu próprio fluido de lubrificação, dando novamente entrada no motor [97].

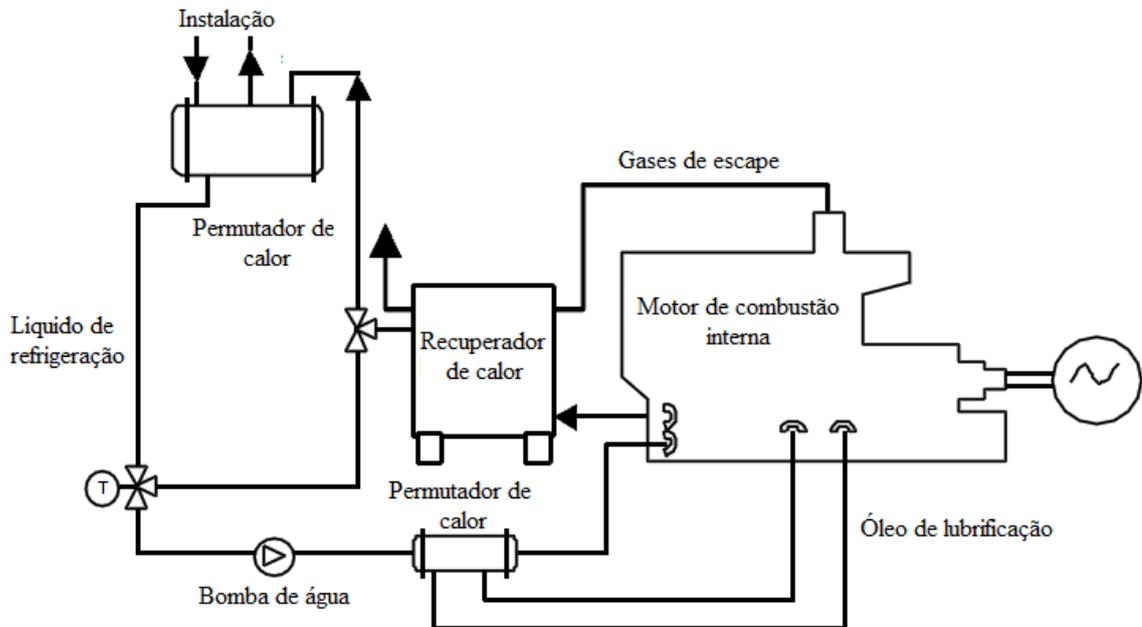


Figura 4.29 - Cogeração em central termoelectrica com motor de combustão interna [97]

Este tipo de sistemas poderá ser uma solução para instalações que necessitem de calor e energia eléctrica.

4.3.2.7. Comparativo entre as tecnologias de geração de energia eléctrica a biomassa

Além das tecnologias mencionadas anteriormente para a produção de energia eléctrica existem outras. De maior relevância, os sistemas termoeléctricos que utilizam células de combustível e motores *Stirling* ainda se encontram em fase de aperfeiçoamento tecnológico [91, 92], apresentando actualmente custos associados na aquisição dos equipamentos e manutenção extremamente elevados [92]. Contudo, estes sistemas possuem eficiências eléctricas elevadas, apresentando por isso grandes perspectivas para o futuro [92, 94].

Os três sistemas que foram abordados anteriormente constituem soluções tecnológicas com uma aceitação global para a produção de energia eléctrica a partir de biomassa visto que são sistemas que são utilizados há dezenas de anos com essa finalidade.

Na Tabela 4.4 apresentam-se de forma genérica as principais diferenças entre os sistemas termoeléctricos destinados à exploração de biomassa [91, 92, 94].

Tabela 4.4 - Comparação entre os principais sistemas termoeléctricos a biomassa [92]

Sistemas termoeléctricos					
Tipo	Turbina a vapor	Turbina a gás	Motores alternativos de combustão interna	Motor Stirling	Células de combustível
Gama de potências	50kW-250MW	500kW - 40MW	<5MW	<200kW	<1MW
Eficiência Eléctrica (%)	5-30	22-36	22-45	5-45	30-63
Combustível	Pellets Gás de Síntese Bio óleo	Gás de Síntese	Gás de Síntese Bio óleo	Pellets Gás de Síntese Bio óleo	Gás de Síntese
Experiência de campo	Alta	Alta	Alta	Limitada	Média
Comercialização	Diversos modelos disponíveis	Quantidade de modelos limitada	Diversos modelos disponíveis	Fase inicial de comercialização	Fase inicial de comercialização
Estatuto	Tecnologia comprovada	Tecnologia comprovada	Tecnologia comprovada	Aperfeiçoamento tecnológico	Aperfeiçoamento tecnológico

Capítulo 5

Análise e Discussão dos Resultados Obtidos

O presente caso de estudo abrange um conjunto de várias empresas nacionais transformadoras de arroz que representam em média 70% da produção nacional. Este universo de empresas pode enquadrar-se em três tipologias (Tabela 5.1), conforme os processos efectuados e conseqüentemente as formas de energia consumidas.

Tabela 5.1 - Diversas tipologias de empresas transformadoras de arroz nacionais [2]

Tipologias	Processos efectuados			Formas de energia consumidas		
	Secagem	Vaporização	Processamento	Energia Eléctrica	Gasóleo	Gás Natural
A			●	●		
B		●	●	●	●	
C	●		●	●		●

O principal objectivo deste capítulo consiste em analisar a viabilidade técnico-económica da exploração de cascas de arroz em três cenários (produção de energia eléctrica, de calor ou de ambos) a partir de diversas soluções tecnológicas que se apresentam na Figura 5.1.

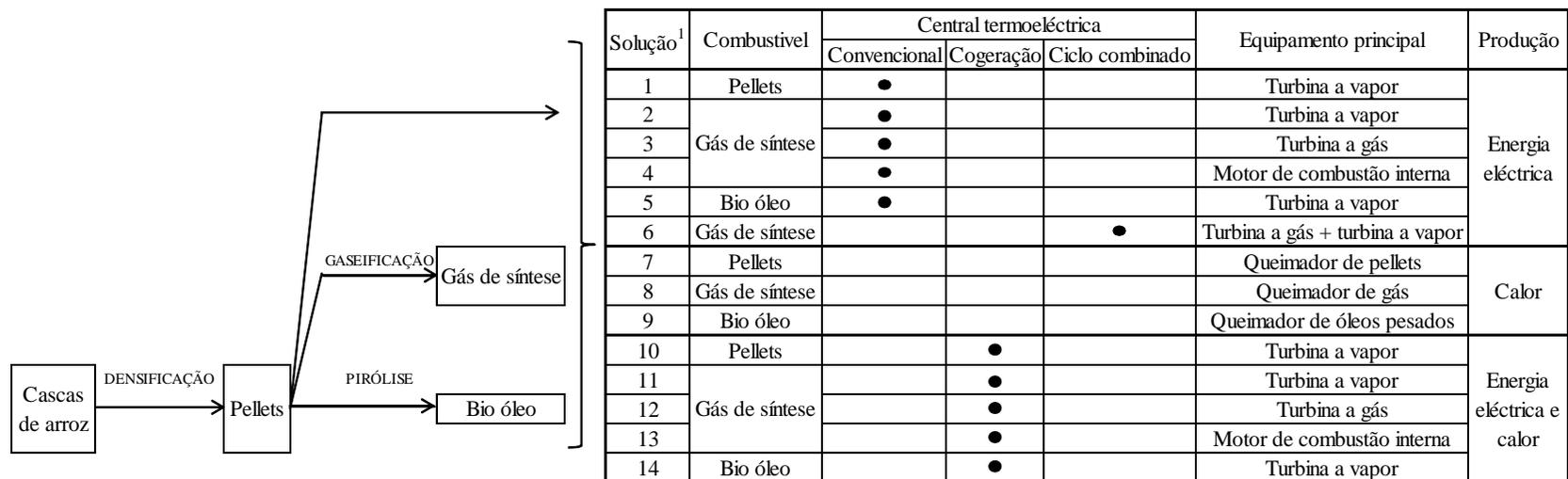


Figura 5.1 - Soluções tecnológicas propostas para produção de energia eléctrica e/ou calor na indústria arroseira nacional [92]

¹ Em situações que haja excedente de cascas de arroz resultantes da solução 7, 8 e 9, poderá explorar-se a produção de energia eléctrica a partir da solução 4, constituindo este conjunto de opções uma solução combinada de produção de energia eléctrica e calor.

5.1. Determinação experimental do poder calorífico inferior das cascas de arroz geradas na indústria arroseira nacional

Para se analisar a viabilidade de utilização das cascas de arroz geradas na indústria arroseira nacional como combustível alternativo, tem de se determinar um parâmetro fundamental na análise de qualquer combustível: o poder calorífico. Neste caso, torna-se necessário determinar o poder calorífico inferior (PCI) das cascas de arroz visto que contêm humidade quando são armazenadas após o processo de descasque do arroz *paddy*.

Os procedimentos efectuados para se determinar o PCI da biomassa em questão foram os seguintes:

1º. Passo: Na indústria nacional arroseira não se efectua o descasque de apenas uma única variedade de arroz. Solicitou-se a cada empresa que fornecesse amostras de várias variedades de cascas de arroz geradas no seu processamento (Figura 5.2).



Figura 5.2 - Exemplo de várias amostras de variedades de cascas de arroz recolhidas [2]

2º. Passo: Com base na recolha de amostras nomearam-se as variedades mais representativas na indústria nacional arroseira com base em informações adquiridas no trabalho de campo efectuado. Assim, concluiu-se que as principais variedades de cascas geradas no processamento industrial são: *Albatros*, *Euro*, *Ariete* e *Gladio*.

3º. Passo: Foram enviadas amostras de 100g de cada uma das quatro variedades em questão para o Laboratório de Química do Instituto da Soldadura e Qualidade de forma a conhecer a análise elementar correspondente.

Apresentam-se na Tabela 5.2 os resultados obtidos em laboratório das quatro variedades de casca de arroz [Anexos XI, XII, XIII e XIV].

Tabela 5.2 - Composição química elementar das principais variedades de casca de arroz geradas na indústria nacional arroseira [2]

Variedade	Albatros	Euro	Ariete	Gladio
Sílica (%)	12	-/-	11	11
Matéria Seca (%)	92	90	91	91
Cinzas (%)	14	18	13	13
Enxofre (%)	0,09	0,08	0,01	0,06
Azoto (%)	0,51	0,45	0,41	0,35
Carbono (%)	34	39	38	40
Hidrogénio (%)	5,2	4,8	5,3	5,3

4º. Passo: Determinar o seu poder calorífico superior a partir da fórmula de *Dulong*, que é utilizada para este efeito [98-109].

$$PCS = \frac{1}{100} \times \left[8080C + 34500 \left(H - \frac{O}{8} \right) + 2240S \right] , \quad [5.1]$$

onde PCS é o poder calorífico superior (kcal/kg), C é o teor em carbono (kg carbono / kg combustível), H é o teor em hidrogénio (kg hidrogénio / kg combustível), O é o teor em oxigénio (kg oxigénio / kg combustível) e S é o teor em enxofre (kg enxofre / kg combustível).

A partir da fórmula de *Dulong* pode verificar-se que é necessário conhecer a percentagem de oxigénio contida na biomassa analisada de forma a quantificar-se correctamente o seu poder calorífico superior. Por impossibilidade de se obter

experimentalmente esse dado houve necessidade de recorrer-se a pesquisa bibliográfica de forma a obterem-se valores de oxigénio determinados em outras variedades de cascas de arroz (Tabela 5.3).

Tabela 5.3 - Composição química elementar de variedades internacionais de casca de arroz [110]

Variedade	A	B	C	D	E
Cinzas (%)	-	-	18,34	15,50	17,40
Enxofre (%)	0,10	0,00	0,02	0,00	0,10
Azoto (%)	0,50	0,55	0,40	0,50	0,10
Carbono (%)	38,70	38,92	40,96	38,50	38,10
Hidrogénio (%)	5,00	5,12	4,30	5,70	4,70
Oxigénio (%)	36,00	31,95	35,98	39,80	29,30

A partir da Tabela 5.3 pode constatar-se que o valor médio de oxigénio contido nas cascas de arroz é de aproximadamente 35%. Este valor será utilizado na quantificação do poder calorífico superior das variedades de casca nacionais.

Sabendo que uma parte por peso de hidrogénio quando oxidada origina nove partes por peso de água, pode quantificar-se a massa de água contida nas cascas de arroz a partir da percentagem de hidrogénio em base húmida contida em cada variedade. Assim, o poder calorífico inferior pode ser expresso por:

$$PCI = PCS - m_{H_2O} \times h_{fg} = PCS - \left(\frac{9H}{100} \times 587 \right) , \quad [5.2]$$

onde PCI é o poder calorífico inferior (kcal/kg), PCS é o poder calorífico superior (kcal/kg), m_{H_2O} é a humidade contida (kg água / kg combustível), h_{fg} é a entalpia de vaporização da água (kcal/kg) e H é o teor em hidrogénio em base húmida (kg hidrogénio / kg combustível) [100, 102, 103, 109, 110].

Na Tabela 5.4 apresentam-se os valores correspondentes ao poder calorífico superior e inferior de cada variedade de casca de arroz analisada, cujos cálculos efectuados encontram-se apresentados no Anexo XV e XVI, respectivamente.

Tabela 5.4 - Poder calorífico superior e inferior das diferentes variedades de cascas de arroz

Variedades	Origem	PCS (kcal/kg)	PCI (Kcal/kg)
Albatros	Nacional	3034	2759
Euro		3300	3046
Ariete		3390	3110
Gládio		3552	3272
A	Internacional	3302	3038
B		3533	3263
C		3242	3015
D		3361	3060
E		3552	3190

Pode, assim, estimar-se que o poder calorífico inferior médio das cascas de arroz que se geram em Portugal é de aproximadamente 3047 kcal/kg encontrando-se na média a nível global.

5.2. Análise da viabilidade técnica na exploração de cascas de arroz

Para se analisar a viabilidade técnica da exploração de cascas de arroz há necessidade de ter em conta diversas variáveis tais como a eficiência eléctrica das várias centrais termoeléctricas, a eficiência de combustão dos diversos tipos de queimadores que terão de ser aplicados, a eficiência térmica dos geradores de vapor e sistemas de secagem e a eficiência dos processos de conversão energética, nomeadamente densificação, gaseificação e pirólise.

5.2.1. Eficiência dos processos de conversão energética

A eficiência de cada um dos processos de conversão energética dependerá essencialmente do tipo e capacidade de cada unidade de densificação, gaseificação e pirólise.

As unidades de conversão energética utilizadas na indústria nacional arroseira terão de ser idênticas às unidades que foram apresentadas no Capítulo 4, havendo necessidade de recorrer a reactores de leito fixo concorrente para os processos de gaseificação e pirólise e prensas de extrusão para o processo de densificação.

Para a determinação da capacidade de cada uma das unidades optou por se considerar que terão um perfil de funcionamento contínuo em concordância com o horário de funcionamento das fábricas, sendo a capacidade de cada unidade determinada em

função de dois factores: quantidade anual de cascas gerada (Tabela 5.5) e o período de funcionamento das respectivas instalações [Anexo XVII].

Tabela 5.5 - Capacidade das diversas unidades de conversão energética [2]

Tipologias	Cascas geradas (ton/ano)	Capacidade (ton/h)		
		Sistema de densificação	Sistema de gaseificação	Sistema de pirólise
A	7631	4		
B	7500			
C	2023	3		

Em termos operacionais, a opção logística tomada em conta irá apresentar como consequência diversos cenários tal como se encontra esquematizado na Figura 5.3.

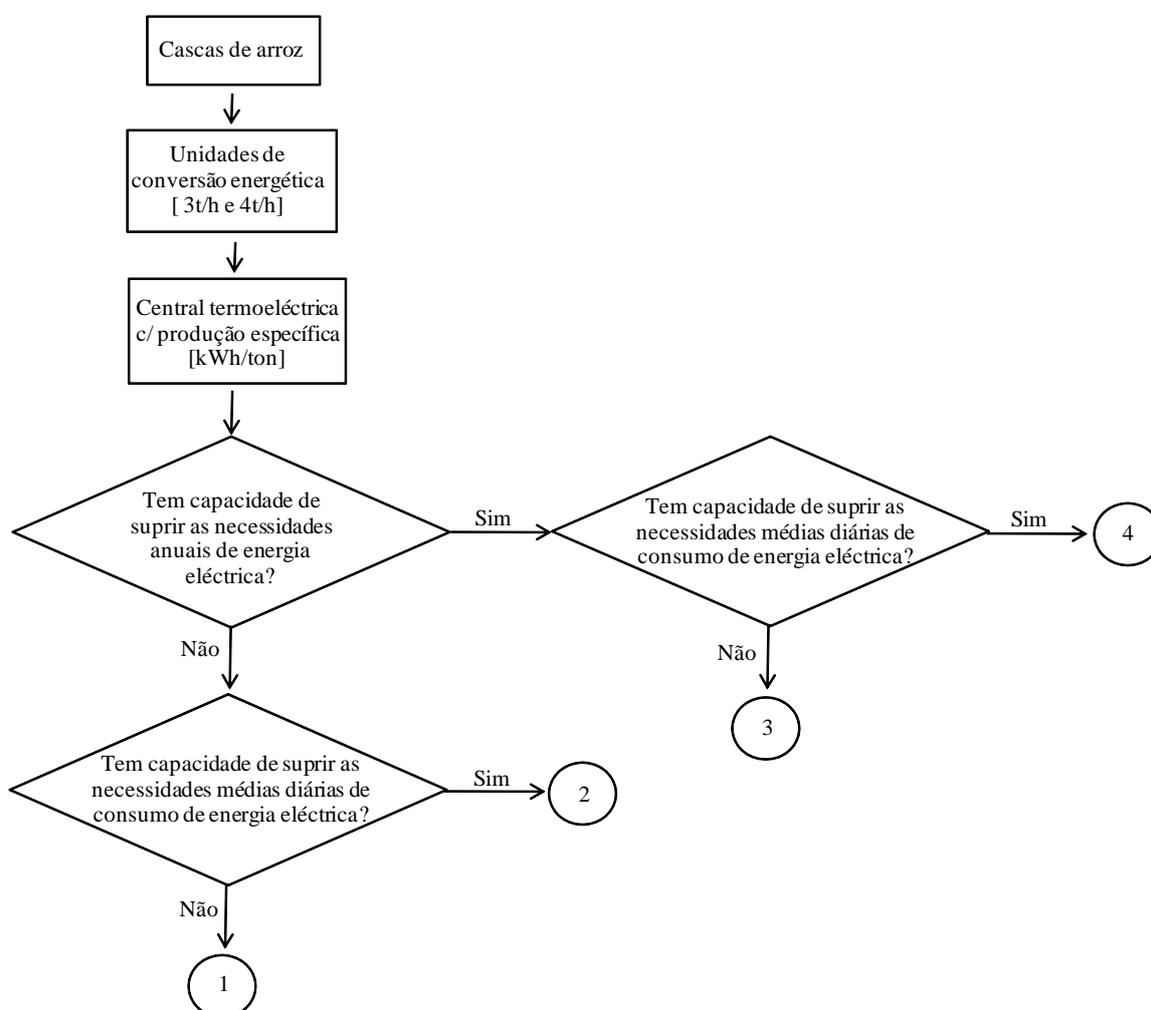


Figura 5.3 - Diversos cenários operacionais inerentes à opção logística apresentada

Cenário 1: a central termoelétrica instalada irá operar diariamente em paralelo com a rede elétrica durante um determinado período enquanto houver cascas de arroz em stock. Nos restantes meses em que se esgotarem os recursos, o abastecimento de energia elétrica é efectuado da forma convencional.

Cenário 2: a central termoelétrica instalada irá operar de forma autónoma durante um determinado número de dias e nos restantes o abastecimento de energia elétrica é efectuado da forma convencional.

Cenário 3: este cenário constitui um caso mais específico visto que a central termoelétrica tem capacidade de satisfazer necessidades de consumo anuais de energia elétrica face à quantidade de cascas gerada. Contudo, devido à capacidade das unidades de conversão energética ser relativamente baixa gera problemas operacionais no sistema de abastecimento de energia elétrica devido a não ser possível responder às necessidades diárias de consumo. Uma das soluções para este caso contempla a aquisição de equipamentos de conversão energética com uma maior capacidade.

Cenário 4: a central termoelétrica instalada, face à quantidade gerada de cascas de arroz, consegue satisfazer as necessidades diárias de consumo durante todo o ano.

Apresentam-se na tabela 5.6 alguns valores genéricos de eficiências dos processos de conversão energética de cascas de arroz, nomeadamente gaseificação, pirólise e densificação.

Tabela 5.6 - Eficiência dos processos de conversão energética das cascas de arroz *in natura*

Sistemas de conversão energética		
Tipo	Eficiência (%)	Fontes
Pirólise	45	76, 77, 78
Gaseificação	47	66, 67
Densificação	≈100	-

Os processos de pirólise e gaseificação, termoquímicos, necessitam de uma fonte de calor para o processo. As irreversibilidades destes sistemas e o consumo de parte dos subprodutos gerados no próprio processo (carvão, bio óleo e gás de síntese) para geração de calor conferem-lhe eficiências relativamente baixas comparativamente com

a densificação que, sendo um processo físico, consome apenas energia eléctrica. Não havendo perda de conteúdo energético na conversão das cascas de arroz em *pellets*, a sua eficiência pode ser de aproximadamente 100% caso sejam desprezadas perdas mássicas durante as várias fases do processo.

5.2.2. Eficiência eléctrica das centrais termoeléctricas convencionais e com cogeração

As unidades fabris analisadas operam nos dias úteis das 09:00-18:00, possuindo um perfil de consumo de energia eléctrica distinto, conforme se apresenta na Figura 5.4.

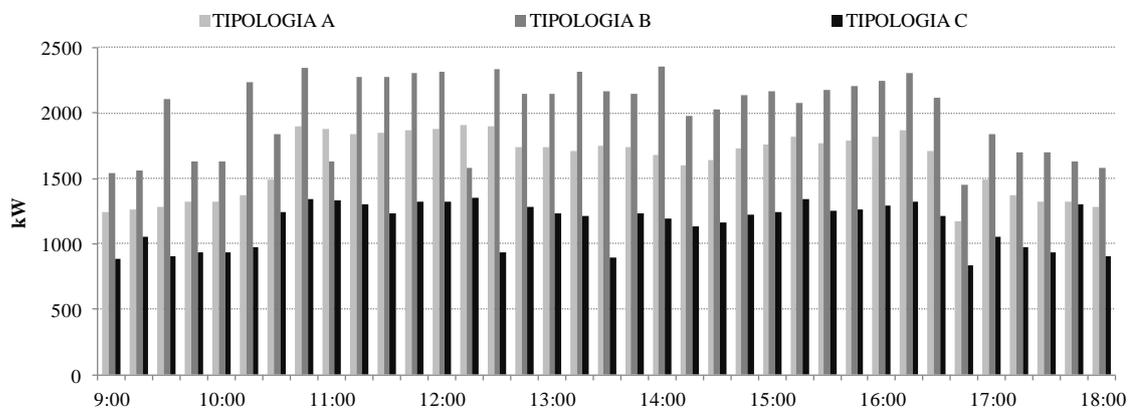


Figura 5.4 - Diagramas de carga diários típicos de cada tipologia de empresa² [2]

Assim, idealmente, cada uma das centrais termoeléctricas que serão alvo de estudo terão de funcionar em concordância com o perfil de consumos típico de cada instalação que irão abastecer, conferindo-lhes um regime de funcionamento intermitente e, conseqüentemente, alterações consecutivas na eficiência eléctrica da central que varia conforme o regime de potência debitado.

² Cada um dos diagramas de carga apresentados representam valores médios das várias medições efectuadas nos quadros gerais de cada unidade fabril analisada.

A exploração de cascas de arroz, qualquer que seja a finalidade, irá apresentar como consequência um aumento do consumo de energia eléctrica e da potência instalada nas unidades fabris correspondentes devido essencialmente à instalação da unidade de densificação, comum a todas as soluções apresentadas. Deste modo, o diagrama de carga típico para cada tipologia irá sofrer algumas alterações que serão pertinentes serem consideradas para o seguimento do estudo em causa (Figura 5.5).

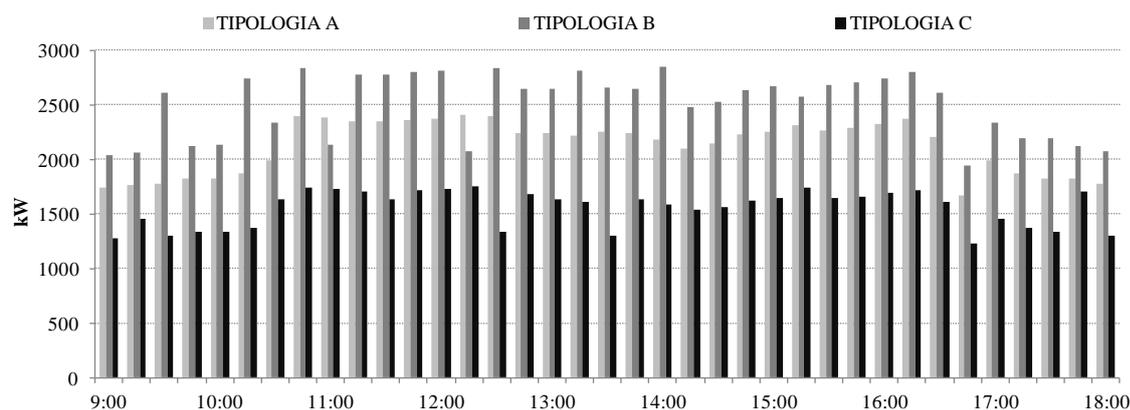


Figura 5.5 - Perfil de consumo típico em cada tipologia após a exploração de biomassa³ [2]

Na Tabela 5.7 apresentam-se as principais alterações que irão surgir em termos de consumo e potência eléctrica nas diferentes tipologias vigentes como consequência da exploração das cascas de arroz.

Tabela 5.7 - Alterações ocorridas em termos de potência e consumo de energia eléctrica⁴ [2]

Tipologias	Consumo de energia eléctrica [kWh/ano]		Potência instalada [kW]		Potência média diária [kW]	
	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
A	3.262.351	4.236.231	1.900	2.400	1.625	2.125
B	3.996.883	4.970.763	2.350	2.850	2.004	2.504
C	2.306.602	3.109.802	1.347	1.747	1.149	1.549

³ Considerou-se que as unidades de densificação irão operar continuamente durante o período de laboração com um débito de potência aproximadamente constante.

⁴ Os valores apresentados dizem respeito a dados recolhidos no ano de 2011 e valores de consumo de energia eléctrica e potência das unidades de densificação fornecidos por parte dos fabricantes, assumindo que funcionarão durante o período de laboração a uma potência ajustada à capacidade de produção.

Com base na potência média diária requerida em cada tipologia de fábrica após a implementação das soluções poderá determinar-se a eficiência eléctrica média das várias centrais termoeléctricas propostas (Tabela 5.8), conforme se encontra explicado no Anexo XVIII.

Tabela 5.8 - Eficiências eléctricas médias dos vários tipos de centrais termoeléctricas para cada tipologia [2]

Tipologias	Eficiência eléctrica das centrais termoeléctricas (%)			
	Convencional e com cogeração			Ciclo combinado
	Turbina a vapor	Turbina a gás	Motor de combustão interna	Turbina a gás + turbina a vapor
A	9,9	26,8	38,9	34,5
B	10,1	27,5	39,2	35,2
C	9,6	25,4	38,2	33,0

5.2.3. Eficiência térmica das centrais termoeléctricas com cogeração

Tal como no caso anterior, com base na potência média diária requerida em cada tipologia de fábrica após a implementação das soluções poderá determinar-se a eficiência térmica das várias centrais termoeléctricas com cogeração propostas (Tabela 5.9), conforme se encontra devidamente explicado no Anexo XIX.

Tabela 5.9 - Eficiências térmicas médias dos vários tipos de centrais termoeléctricas com cogeração para cada tipologia de fábrica⁵ [2]

Tipologias	Eficiência térmica das centrais com cogeração (%)		
	Turbina a vapor	Turbina a gás	Motor de combustão interna
B	69,5	39,1	27,9
C	70,0	41,0	31,8

5.2.4. Eficiência térmica dos equipamentos de combustão

Na indústria nacional arroseira recorre-se ao calor para efectuar os processos de vaporização e secagem a partir de geradores de vapor pirotubulares e secadores do tipo LSU que possuem queimadores a gasóleo e gás natural, respectivamente.

⁵ Os valores apresentados foram obtidos tomando em conta o poder calorífico superior do combustível explorado, incrementando as eficiências térmicas, no entanto não irá apresentar repercussões negativas em termos conclusivos porque a quantidade de calor necessária aos processos, em termos gerais, são satisfeitas com quantidades reduzidas de cascas de arroz, resultando em todos os casos num excedente de calor que não será utilizado.

Caso se pretenda gerar calor directamente a partir das cascas de arroz *in natura*, deve ter-se em conta a eficiência térmica de combustão dos queimadores a *pellets*, gás de síntese e bio óleo e a eficiência térmica dos geradores de vapor e secadores de forma a quantificar-se a quantidade de calor útil que é possível produzir por cada tonelada de casca queimada após a conversão dos equipamentos térmicos para a exploração da casca de arroz.

A eficiência térmica global dos geradores de vapor e secadores após a sua conversão para *pellets*, gás de síntese e bio óleo é em termos médios 75% (ver anexo XX).

5.2.5. Produção de energia eléctrica

Apresentam-se e discutem-se aqui os resultados obtidos na análise da viabilidade técnica efectuada para as diversas soluções propostas para a produção de energia eléctrica em cada uma das tipologias de fábricas correspondentes (Tabela 5.10), cuja metodologia de cálculo se encontra apresentada no anexo XXI.

Apesar de cerca de metade da energia total disponível nos *pellets* ser directamente consumida no processo de gaseificação, as centrais termoeléctricas convencionais com motor de combustão interna a gás e de ciclo combinado são as soluções em que se verifica uma maior produção específica de energia eléctrica para os diversos casos apresentados (Figura 5.6). Este facto deve-se essencialmente às eficiências eléctricas apresentarem valores médios na ordem dos 37%. No caso das fábricas pertencentes à tipologia A, verifica-se que a quantidade gerada de cascas de arroz é suficiente para abastecer anualmente toda a instalação por intermédio destes dois tipos de soluções tecnológicas. Porém, esta situação não se verifica no caso das empresas correspondentes às tipologias B e C visto que a quantidade de cascas que se gera nestas fábricas não é suficiente para suprir as necessidades de consumo face ao regime de funcionamento em que funcionaria a central termoeléctrica. As fábricas pertencentes à tipologia B, apesar do seu regime de funcionamento resultar numa eficiência eléctrica mais elevada face às outras tipologias, apresentam uma quantidade de cascas gerada anualmente que satisfaz as necessidades anuais de consumo de energia eléctrica em 94%. Relativamente às fábricas da tipologia C, o seu regime de funcionamento e a reduzida quantidade de cascas geradas no processo resultam numa produção de energia eléctrica reduzida com o tipo de soluções analisado, permitindo satisfazer apenas 39% das necessidades de consumo de energia eléctrica.

Tabela 5.10 - Resultados obtidos na análise da viabilidade técnica para as soluções propostas – energia eléctrica

Viabilidade técnica das soluções propostas para a produção de energia eléctrica								
Solução	Central termoelectrica	Combustível	Tipologia	Energia eléctrica produzida (kWh/ano)	Abastecimento da instalação (%)	Excedente (t/ano)	Produção Específica (kWh/ton)	Cenário
1	Convencional com turbina a vapor	Pellets	A	2.683.210	63%	0	352	1
			B	2.684.323	54%	0	358	1
			C	690.681	22%	0	341	2
2	Convencional com turbina a vapor	Gás de síntese	A	1.261.109	30%	0	165	1
			B	1.261.632	25%	0	168	1
			C	324.620	10%	0	160	1
3	Convencional com turbina a gás	Gás de síntese	A	3.407.462	80%	0	447	1
			B	3.440.693	69%	0	459	1
			C	855.665	28%	0	423	2
4	Convencional com motor de combustão interna	Gás de síntese	A	4.933.828	100%	197	647	4
			B	4.894.062	98%	0	653	2
			C	1.284.937	41%	0	635	2
5	Convencional com turbina a vapor	Bio óleo	A	1.207.445	29%	0	158	1
			B	1.207.945	24%	0	161	1
			C	310.806	10%	0	154	1
6	Ciclo combinado com turbina a gás e turbina a vapor	Gás de síntese	A	4.380.114	100%	41	574	4
			B	4.402.453	89%	0	587	1
			C	1.111.885	36%	0	550	2

As centrais termoelectricas com turbina a vapor, independentemente do tipo de combustível consumido, apresentam produções específicas baixas comparativamente com as restantes soluções apresentadas devido essencialmente aos seus rendimentos eléctricos apresentarem valores na ordem dos 10%. Das soluções analisadas, este tipo de centrais são a única tecnologia que pode operar com combustíveis sólidos, portanto no caso de se recorrer aos *pellets* como combustível dispensam-se alguns processos

onde existe consumo energético associado (gaseificação ou pirólise) tornando-os a forma de energia mais atractiva para ser explorada neste tipo de centrais comparativamente ao bio óleo e gás de síntese. Contudo, para qualquer um dos combustíveis explorados, nenhuma das fábricas gera uma quantidade suficiente de cascas de arroz para satisfazer todas as necessidades anuais de consumo a partir deste tipo de centrais termoeléctricas. É necessário recorrer a uma quantidade de cascas cerca de quatro vezes superior ao que se gera actualmente na indústria nacional arroseira para ser possível satisfazer todas as necessidades anuais em termos de consumo de energia eléctrica.

As centrais termoeléctricas com turbina a gás, apesar de apresentarem produções específicas apreciáveis como resultado de eficiências eléctricas na ordem dos 27%, apenas possibilitam uma capacidade de abastecimento anual de aproximadamente 60% do consumo de energia eléctrica na indústria nacional arroseira. Seria necessário recorrer a cerca de duas vezes a quantidade de cascas gerada nesta indústria para conseguir atingir-se a autossuficiência em termos de energia eléctrica.

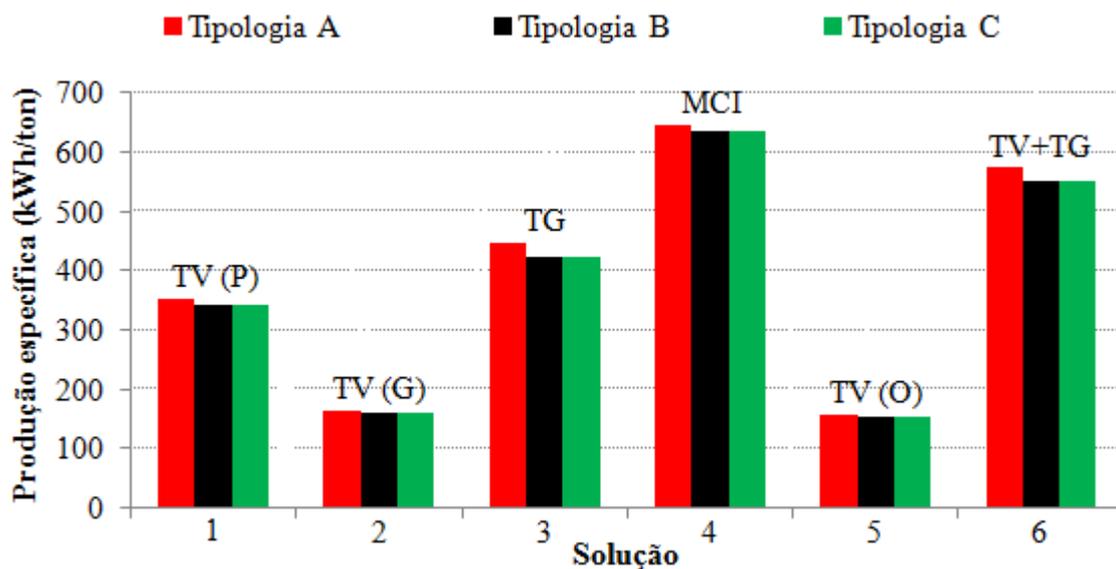


Figura 5.6 - Produção específica de energia eléctrica das diversas soluções tecnológicas apresentadas

5.2.6. Produção de calor

Apresentam-se e discutem-se aqui os resultados obtidos na análise da viabilidade técnica efectuada para as diversas soluções propostas para a produção isolada de calor em cada uma das tipologias de fábricas correspondentes que necessitem de calor no processo (Tabela 5.11), cuja metodologia de cálculo é apresentada no Anexo XXII.

Tabela 5.11 - Resultados obtidos na análise da viabilidade técnica para as soluções propostas - calor

Viabilidade técnica das soluções propostas para a produção de calor							
Solução	Tipo de queimador	Combustível	Tipologia	Energia térmica produzida (GJ/ano)	Abastecimento da instalação (%)	Excedente (t/ano)	Produção Específica (GJ/ton)
1	Queimador a pellets	Pellets	B	71.759	100%	5056	9,6
			C	19.356		857	
2	Queimador a gás	Gás de síntese	B	33.727		2073	4,5
			C	9.097		52	
3	Queimador a óleo	Bio-óleo	B	32.292		1960	4,3
			C	8.710		21	

A partir da Tabela 5.11 pode constatar-se que, independentemente do tipo de combustível utilizado, qualquer uma das soluções analisadas permite fornecer anualmente todo o calor necessário à indústria nacional arroseira. Caso se pretenda gerar calor a partir da queima de *pellets*, obtém-se um excedente de cascas na ordem das 3000 toneladas contrariamente às restantes soluções em que apenas é possível armazenar cerca de um terço dessa quantidade. Este acontecimento deve-se ao facto da queima directa de *pellets* ser um processo com uma produção específica de calor mais elevada relativamente à queima directa de gás de síntese e bio óleo (Figura 5.7), onde se verifica um consumo parcial do próprio combustível nos processos de gaseificação e pirólise, respectivamente. Como consequência, para gerar-se a mesma quantidade de calor será necessário recorrer a cerca de metade das cascas no caso da queima de *pellets* comparativamente com a queima a partir de gás de síntese ou bio óleo, tornando-as portanto soluções menos atrativas sob um ponto de vista técnico.

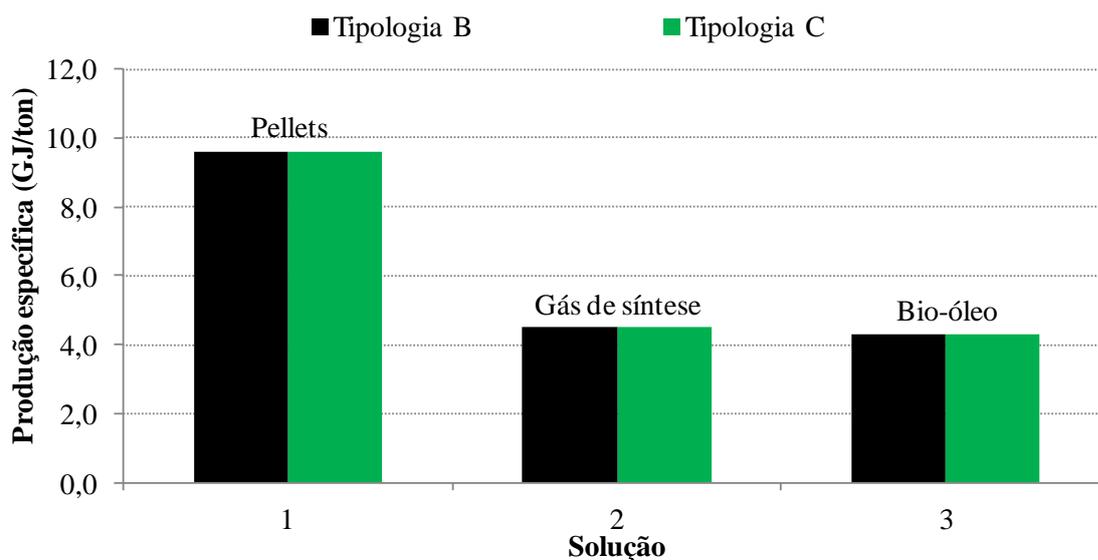


Figura 5.7 - Produção específica de calor das diversas tecnologias apresentadas

5.2.7. Produção de energia eléctrica e calor

Neste caso de estudo apresentam-se duas formas de produzir simultaneamente energia eléctrica e calor numa instalação, nomeadamente a partir de centrais termoeléctricas com cogeração ou a partir de centrais termoeléctricas convencionais com motores de combustão interna para produzir energia eléctrica e queimadores de *pellets* para produzir calor de forma independente.

5.2.7.1. Produção de energia eléctrica e calor com cogeração

Apresentam-se na tabela 5.12 os resultados obtidos da análise da viabilidade técnica efectuada para as diversas soluções propostas para a produção combinada de energia eléctrica e calor com cogeração relativamente a cada uma das tipologias de empresas que necessitem de calor para o processo, cuja metodologia de cálculo é apresentada no Anexo XXIII.

Na indústria nacional arroseira as necessidades de calor para os demais processos correspondem a valores relativamente baixos face à quantidade de calor gerada a partir das várias soluções propostas. Deste modo, a solução combinada que será mais atractiva tecnicamente não será aquela que possui uma produção específica de energia mais alta mas sim a que possui uma eficiência eléctrica mais elevada e uma eficiência térmica tal que possibilite gerar o calor necessário aos demais processos.

Tabela 5.12 - Resultados obtidos na análise da viabilidade técnica para as soluções propostas – energia eléctrica e calor (cogeração)

Viabilidade técnica das soluções propostas para a produção de energia eléctrica e calor								
Solução	Central termoelectrica	Combustível	Tipologia	Energia eléctrica		Calor		Produção Específica (GJ/ton)
				Produção (kWh/ano)	Abastecimento da instalação (%)	Produção (GJ/ano)	Abastecimento da instalação (%)	
1	Turbina a vapor com cogeração	Pellets	B	2.684.323	54%	66.643	100%	10,2
			C	690.681	22%	18.057	100%	10,2
2	Turbina a vapor com cogeração	Gás de síntese	B	1.261.632	25%	8.487	100%	4,8
			C	324.620	10%	8.487	100%	4,8
3	Turbina a gás com cogeração	Gás de síntese	B	3.440.693	69%	17.595	100%	4,0
			C	855.665	28%	4.979	51%	4,0
4	Motor de combustão interna com cogeração	Gás de síntese	B	4.894.062	98%	12.559	100%	4,0
			C	1.284.937	41%	3.856	46%	4,2
5	Turbina a vapor com cogeração	Bio óleo	B	1.207.945	24%	29.908	100%	4,6
			C	310.806	10%	8.125	96%	4,6

Com base na Tabela 5.12 e no que foi mencionado anteriormente, as centrais termoelectricas de cogeração com motor de combustão interna, apesar de não corresponderem à tecnologia com a produção específica mais elevada, são a solução mais atraente do ponto de vista técnico. No caso das fábricas correspondentes à tipologia B, verifica-se que a quantidade gerada de cascas de arroz é suficiente para suprir praticamente todas as necessidades de consumo energético na instalação a partir desta solução tecnológica. Porém, esta situação não se verifica no caso das fábricas correspondentes à tipologia C visto que a quantidade de cascas gerada é insuficiente, sendo necessário possuir aproximadamente o triplo dessa quantidade para ser possível satisfazer todas as necessidades de consumo anual com este tipo de centrais. Face à quantidade de cascas disponível, é possível satisfazer apenas cerca de 41% e 46% do consumo anual de energia eléctrica e gás natural, respectivamente.

As centrais termoelectricas de cogeração com turbina a vapor, independentemente do combustível utilizado, correspondem às soluções em que se verifica uma maior produção específica de energia (Figura 5.8), contudo são uma tecnologia tecnicamente inviável devido essencialmente a apresentarem eficiências eléctricas reduzidas comparativamente com as eficiências térmicas que apresentam valores significativos, resultando na sobreprodução de calor. Assim, para qualquer um dos combustíveis explorados, nenhuma das fábricas gera uma quantidade suficiente de cascas para

satisfazer as necessidades anuais de consumo em termos de energia eléctrica a partir deste tipo de centrais termoeléctricas, sendo possível satisfazer somente 24% do consumo anual em termos de energia eléctrica. Para se atingir a autossuficiência energética, seria necessário recorrer a uma quantidade de cascas cerca de nove vezes superior ao que se gera actualmente neste tipo de fábricas, resultando numa sobreprodução de calor ainda mais acentuada.

As centrais termoeléctricas de cogeração com turbina a gás são a tecnologia em que se verificou uma produção específica mais baixa. No entanto, comparativamente com os casos apresentados no parágrafo anterior, correspondem a uma solução tecnicamente mais atractiva devido essencialmente a apresentarem eficiências eléctricas mais elevadas e eficiências térmicas mais ajustadas com o perfil de consumo verificado. Independentemente disso constituem igualmente uma solução tecnicamente inviável visto que com base na quantidade de cascas gerada neste tipo de fábricas apenas é possível satisfazer cerca de 50% e 75% do consumo de energia eléctrica e gásóleo/gás natural, sendo necessária uma quantidade de cascas cerca de quatro vezes superior ao que se gera actualmente neste tipo de fábricas para atingir-se a autossuficiência energética.

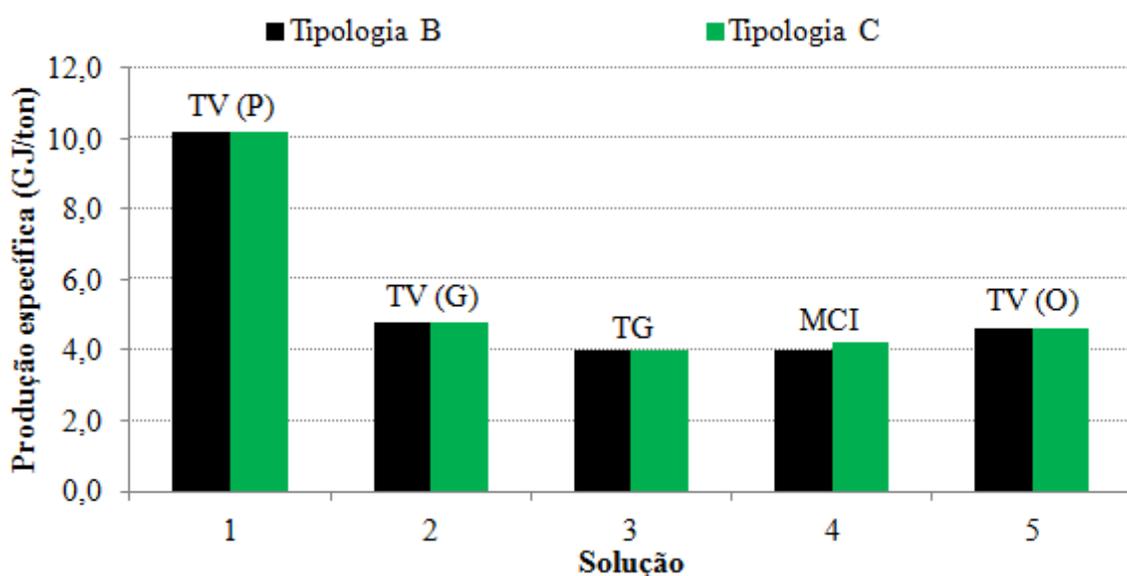


Figura 5.8 - Produção específica de energia das diversas tecnologias apresentadas com cogeração

5.2.7.2. Produção de energia eléctrica e calor de forma convencional

A partir do ponto 5.2.6 concluiu-se que a queima directa de *pellets* corresponde à solução convencional tecnicamente mais viável para a geração de calor pois permite reduzir integralmente o consumo de gasóleo e gás natural nas empresas correspondentes às tipologias B e C com um excedente de 5056 e 857 toneladas de cascas de arroz, respectivamente. Por sua vez, esse excedente de cascas pode ser utilizado nas centrais termoeléctricas convencionais com motor de combustão interna a gás visto corresponderem à tecnologia que apresenta uma maior produção específica de energia eléctrica.

Na Tabela 5.13 apresentam-se os resultados obtidos da análise da viabilidade técnica para a solução proposta para a produção combinada de energia eléctrica e calor para cada uma das tipologias de empresas correspondentes, cuja metodologia de cálculo se apresenta no Anexo XXIV.

Tabela 5.13 - Resultados obtidos na análise da viabilidade técnica para as soluções propostas – energia eléctrica e calor (convencional)

Viabilidade técnica das soluções propostas para a produção de energia eléctrica e calor								
Solução	Metodologia aplicada	Combustível	Tipologia	Energia eléctrica		Calor		Produção Específica (GJ/ton)
				Produção (kWh/ano)	Abastecimento da instalação	Produção (GJ/ano)	Abastecimento da instalação	
1	Queimador a pellets + central termoeléctrica com motor de combustão interna	Pellets e gás de síntese	B	4.396.173	88%	7.305	100%	3,1
			C	724.037	23%	8.436	100%	5,5

Relativamente às empresas correspondentes à tipologia B, verificou-se no ponto 5.2.5 que as centrais termoeléctricas convencionais a gás com motor de combustão interna caso operem unicamente para o fornecimento de energia eléctrica permitem reduzir praticamente todo o consumo de energia eléctrica verificado. Ao recorrer-se a parte das cascas de arroz para produzir separadamente todo o calor necessário no processo de vaporização por intermédio de queimadores a *pellets*, a central termoeléctrica em questão deixa de ter a capacidade de abastecimento verificada, passando a abastecer 88% do consumo anual de energia eléctrica. Deste modo, esta solução combinada é tecnicamente menos atrativa comparativamente com a cogeração com motores de combustão interna a gás que permitem reduzir praticamente todo o consumo energético nas unidades fabris da tipologia B.

No que diz respeito às empresas correspondentes à tipologia C, verificou-se que a central de cogeração com motor de combustão interna permite uma redução no

consumo de energia eléctrica e gás natural em 41% e 46%, respectivamente. Caso se pretenda produzir calor e energia eléctrica de forma independente, é possível fazê-lo a partir da solução em questão, resultando numa redução na íntegra do consumo anual de gás natural e de 23% do consumo de energia eléctrica. Contrariamente ao que se verificou no parágrafo anterior, neste caso a produção específica de energia na solução com cogeração é inferior em 1,3 GJ/ton relativamente à solução apresentada, tornando-a portanto menos atrativa do ponto de vista técnico.

5.3. Análise da viabilidade económica na exploração de cascas de arroz

A implementação de qualquer uma das soluções propostas neste estudo resulta numa série de custos associados que terão de ser analisados de forma a verificar se existem vantagens em termos económicos face à situação presente em que se encontram as fábricas. Nesse sentido, os custos tidos em conta na análise efectuada foram os seguintes:

- Custos de capital (*CAPEX*);
- Custos de operação e manutenção (*OPEX*);
- Custos com energia;
- Custos com potência;

5.3.1. Valor comercial das cascas de arroz

Antes de se analisar cada um dos custos inerentes à implementação de cada uma das soluções apresentadas é importante ter em conta que os industriais de arroz comercializam as cascas de arroz, existindo um lucro associado a este resíduo industrial que não poderá ser desprezado (Tabela 5.14).

Tabela 5.14 - Lucro médio anual inerente à comercialização de cascas de arroz [2]

Tipologia de empresa	Lucro médio anual (€)
A	133.543
B	131.250
C	27.311

5.3.2. Custos de capital (CAPEX)

Estes custos dizem respeito ao investimento que terá de ser efectuado por parte das fábricas na implementação de cada uma das soluções apresentadas, incluindo custos com transporte, instalação e aquisição dos equipamentos, além do capital adicional que terá de ser pago a terceiros devido aos juros de empréstimo concedidos. Na Tabela 5.15 apresentam-se os custos de capital inerentes a cada um dos sistemas apresentados para cada tipologia de empresa.

5.3.3. Custos de operação e manutenção (OPEX)

Após se adquirir um determinado equipamento existem custos relacionados com a sua manutenção, gastos de consumíveis e outras despesas necessárias à operacionalidade e manutenção em funcionamento de todo o sistema. Assim, este tipo de custos inclui a substituição de diversos componentes que atingem o seu fim de vida, a solicitação de serviços externos para prestação de serviços (calibração, equilibragem, manutenção, etc), o consumo de energia dos equipamentos e o salário dos operários que terão de ser contratados para gerir e manter o bom funcionamento de todo o sistema. Na Tabela 5.16 apresentam-se os custos de operação e manutenção inerentes a cada um dos sistemas apresentados para cada tipologia de empresa.

Tabela 5.15 - Custos de capital para cada um dos sistemas apresentados

Custos de capital – CAPEX (€) ⁶											
Tipologias	Unidades de conversão energética			Centrais termoelétricas							Queimador a pellets
	Densificação	Gaseificação	Pirólise	Turbina a vapor		Turbina a gás			Motor de combustão interna		
				Convencional	Cogeração	Convencional	Cogeração	Ciclo combinado	Convencional	Cogeração	
A	180.973	3.365.603	4.578.430	1.393.858	-	2.224.609	-	4.449.219	1.515.041	-	15.479
B				1.567.325	2.278.655	2.542.401	3.394.796	5.084.802	1.791.541	2.361.807	
C				1.769.874	2.256.466	1.738.166	2.363.335	3.476.332	1.107.464	1.455.480	

⁶ A metodologia de cálculo para determinar cada um dos custos apresentados encontra-se explicada no Anexo XXV.

Tabela 5.16 - Custos de operação e manutenção para cada um dos sistemas apresentados

Custos de operação e manutenção – OPEX (€/ano) ⁷											
Tipologias	Unidades de conversão energética			Centrais termoeléctricas ⁸						Queimador a pellets	
	Densificação	Gaseificação	Pirólise	Turbina a vapor		Turbina a gás			Motor de combustão interna		
				Convencional	Cogeração	Convencional	Cogeração	Ciclo combinado	Convencional		Cogeração
A	6.397	56.724	120.275	6.082	-	22.891	-	30.815	39.314	-	1.000
B				6.084		22.295		33.844	38.997		
C				1.565		6.145		13.581	10.239		

⁷ Com base nas referências bibliográficas a que se recorreu, os custos de operação e manutenção das centrais termoeléctricas referem-se ao principal equipamento de cada uma delas visto que corresponde à maior parcela em termos de custos. Assim, assumem-se custos de operação e manutenção iguais para as centrais termoeléctricas convencionais e a cogeração.

⁸ A metodologia de cálculo para determinar cada um dos custos apresentados encontra-se explicada no Anexo XXV.

5.3.4. Custos com energia

Este tipo de custos são variáveis e portanto terá de estimar-se um custo médio de cada forma de energia consumida na indústria arroseira nacional para um determinado período de tempo, nomeadamente a vida útil dos principais equipamentos que constituem as centrais termoeléctricas correspondentes a cada solução apresentada (Tabela 5.17).

Tabela 5.17 - Vida útil dos principais equipamentos utilizados na geração de energia eléctrica e calor [111]

Sistema	Principais equipamentos	Regime de funcionamento	Gama de potências (MW)	Vida útil (anos)
Central termoeléctrica convencional	Turbina a vapor	Intermitente	1-4	20
	Turbina a gás		0-5	10
	Motor de combustão interna		1-10	23
Central termoeléctrica de ciclo combinado ⁹	Turbina a vapor e turbina a gás		10-400	25
Gerador de vapor Secador a ar	Queimador a pellets		1-2	30

A análise da viabilidade económica de cada uma das soluções apresentadas será efectuada para um intervalo de tempo correspondente ao ciclo de vida útil dos seus principais equipamentos. Assim, há necessidade de conhecer para esse período a evolução dos custos com energia eléctrica, gasóleo e gás natural, de forma a determinar-se um valor médio para o custo de cada uma dessas formas de energia (Anexo XXVI). Na Tabela 5.18 encontra-se apresentado um valor médio estimado para o custo de várias formas de energia nos próximos 10 e 20 anos.

⁹ Na análise efectuada irá considerar-se que as centrais termoeléctricas de ciclo combinado têm uma vida útil de 25 anos apesar da potência instalada de nenhuma das instalações encontrar-se no intervalo compreendido entre 10-400 MW, contudo não houve possibilidade de encontrar valores para gamas de potência mais baixas.

Tabela 5.18 - Previsão do custo médio de diversas formas de energia em diversos intervalos de tempo [1, 3, 4, 112, 113]

Custo médio das várias formas de energia	Intervalo de tempo		
	2012	2012-2022	2012-2032
Energia eléctrica (€/kWh)	0,110	0,118	0,1244
Gasóleo de aquecimento(€/l)	1,230	1,275	1,320
Gás natural (€/kWh)	0,044	0,045	0,047

Nas Tabelas 5.19 e 5.20 apresentam-se os custos com energia resultantes da implementação de cada uma das soluções apresentadas em cada uma das tipologias de empresa (Anexo XXVII).

Tabela 5.19 - Custos com energia eléctrica resultantes da implementação das soluções preconizadas

Custos com energia eléctrica ¹⁰ (€/ano)								
Solução	Combustível	Central termoeléctrica			Equipamento principal	Tipologia		
		Convencional	Cogeração	Ciclo combinado		A	B	C
1	Pellets	●	●		Turbina a vapor	193.196	284.433	300.939
2	Gás de síntese	●	●		Turbina a vapor	370.105	461.416	346.477
3		●	●		Turbina a gás	98.043	181.007	266.664
4		●	●		Motor de combustão interna	0	9.542	227.013
5		Bio óleo	●	●		Turbina a vapor	376.781	468.095
6	Gás de síntese			●	Turbina a gás + turbina a vapor	0	70.698	248.541
14	Pellets e gás de síntese	●			Motor de combustão interna e queimador de pellets	N/A	71.479	296.789

¹⁰ Os custos com energia eléctrica aquando da implementação de centrais termoeléctricas convencionais e com cogeração são iguais visto que a produção específica de energia eléctrica é a mesma.

Tabela 5.20 - Custos com gasóleo e gás natural resultantes da implementação das soluções preconizadas

Custos com gasóleo e gás natural ¹¹ (€/ano)					
Solução	Combustível	Central termoelectrica	Equipamento principal	Tipologia	
		Cogeração		B	C
1	Pellets	●	Turbina a vapor	0	0
2	Gás de síntese	●	Turbina a vapor	0	0
3		●	Turbina a gás	0	43.792
4		●	Motor de combustão interna	0	59.927
5	Bio óleo	●	Turbina a vapor	0	4.063
7	Pellets		Queimador de pellets	0	0
8	Gás de síntese		Queimador de gás	0	0
9	Bio óleo		Queimador de óleos pesados	0	0
14	Pellets e gás de síntese	●	Motor de combustão interna e queimador de pellets	0	0

¹¹ Os valores referentes aos custos com gasóleo e gás natural dizem respeito às fábricas correspondentes à tipologia B e C, respectivamente.

5.3.5. Custos com potência

O fornecedor de energia eléctrica cobra ao consumidor custos com potência, nomeadamente custos com potência contratada* e potência em horas de ponta*. Torna-se importante analisar este tipo de custos visto que todas as soluções apresentadas correspondem à instalação de uma unidade de densificação e, por conseguinte, a potência instalada e o consumo em horas de ponta de toda a fábrica aumenta.

Neste estudo irá assumir-se que sempre que existam situações em que a solução implementada não permita corresponder às necessidades anuais e diárias de consumo de energia eléctrica (Cenário 1), os custos com a potência contratada irão aumentar e os custos com potência em horas de ponta deixarão de existir visto que as centrais termoeléctricas irão cobrir esses períodos horários, sempre que possível. Nos casos em que apenas é possível satisfazer as necessidades diárias de energia eléctrica durante alguns meses do ano (Cenário 2), os custos com potência irão diminuir relativamente à situação inicial visto que apenas serão cobrados nos meses em que não é possível produzir energia eléctrica devido à inexistência de cascas de arroz. Por fim, soluções que permitam satisfazer as necessidades diárias e anuais de energia eléctrica resultam na isenção de custos com potência (Cenário 4).

Na Tabela 5.21 apresentam-se os custos com potência resultantes da implementação de cada uma das soluções apresentadas em cada uma das tipologias de empresa (Anexo XXVIII).

Tabela 5.21 - Custos com potência após a implementação de cada uma das soluções apresentadas

Custos com potência ¹² (€/ano)								
Solução	Combustível	Central termoelectrica			Equipamento principal	Tipologia		
		Convencional	Cogeração	Ciclo combinado		A	B	C
1	Pellets	●			Turbina a vapor	39.082	46.409	16.451
2	Gás de síntese	●			Turbina a vapor	39.082	46.409	21.935
3		●			Turbina a gás	39.082	46.409	16.451
4		●			Motor de combustão interna	0	3.867	12.795
5		Bio óleo	●			Turbina a vapor	39.082	46.409
6	Gás de síntese			●	Turbina a gás + turbina a vapor	0	46.409	14.623
10	Pellets		●		Turbina a vapor	-	46.409	16.451
11	Gás de síntese		●		Turbina a vapor	-	46.409	21.935
12			●		Turbina a gás	-	46.409	16.451
13			●		Motor de combustão interna	-	3.867	12.795
14	Pellets e gás de síntese	●			Motor de combustão interna e queimador de pellets	-	3.867	16.451

¹² Para uma mesma tipologia de empresa os custos com potência após a implementação das soluções apresentadas para centrais termoelectricas convencionais e com cogeração são iguais visto que a capacidade de abastecimento em termos de energia eléctrica mantém-se inalterada.

5.3.6. Produção de energia eléctrica

Na Tabela 5.22 apresentam-se os resultados obtidos da análise da viabilidade económica efectuada para as diversas soluções propostas para a produção de energia eléctrica em cada uma das tipologias de empresas correspondentes, cuja metodologia de cálculo é apresentada no anexo XXIX.

Tabela 5.22 - Resultados obtidos na análise da viabilidade económica para as soluções propostas – energia eléctrica

Viabilidade económica das soluções propostas para a produção de energia eléctrica									
Solução	Central termoelectrica	Combustível	Tipologia	CAPEX (€)	Encargos com energia eléctrica inicialmente (€/ano)	Encargos com a implementação da solução (€/ano)	Economia obtida anualmente (€/ano)	Pay-back (anos)	Facturação total no investimento (€)
1	Convencional com turbina a vapor	Pellets	A	1.574.831	303.234	248.177	55.056	29	-473.706
			B	1.748.298	404.230	346.746	57.483	30	-598.634
			C	1.950.847	281.565	326.233	-44.668	-	-2.844.202
2	Convencional com turbina a vapor	Gás de síntese	A	4.940.434	303.234	476.774	-173.540	-	-8.411.244
			B	5.113.901	404.230	576.414	-172.185	-	-8.557.597
			C	5.316.449	281.565	433.682	-152.117	-	-8.358.781
3	Convencional com turbina a gás	Gás de síntese	A	5.771.185	283.333	223.137	60.196	96	-5.169.221
			B	6.088.977	379.849	312.832	67.016	91	-5.418.815
			C	5.284.742	267.495	352.381	-84.886	-	-6.133.601
4	Convencional com motor de combustão interna	Gás de síntese	A	5.061.617	303.233	98.988	204.246	25	-363.959
			B	5.338.117	404.230	115.528	288.702	18	1.302.032
			C	4.654.040	281.565	313.168	-31.603	-	-5.380.907
5	Convencional com turbina a vapor	Bio óleo	A	6.153.261	303.234	546.811	-243.577	-	-11.024.807
			B	6.326.728	404.230	645.454	-241.224	-	-11.151.214
			C	4.014.150	281.565	417.421	-135.856	-	-6.731.266
6	Ciclo combinado com turbina a gás e turbina a vapor	Gás de síntese	A	7.995.795	303.234	93.226	210.008	38	-2.745.594
			B	8.631.378	404.230	214.072	190.158	45	-3.877.436
			C	7.022.908	281.565	339.866	-58.301	-	-8.480.421

As centrais termoelectricas convencionais com turbina a vapor, independentemente do tipo de combustível utilizado, correspondem a soluções economicamente pouco atrativas para a produção de energia eléctrica na indústria nacional arroseira. No caso de serem utilizados *pellets* como combustível haverá uma redução significativa nos custos

associados devido a não ser necessário instalar unidades de conversão energética adicionais para a produção de gás de síntese ou bio óleo. No entanto, face à quantidade de cascas gerada, a eficiência eléctrica reduzida neste tipo de centrais permite apenas satisfazer aproximadamente metade das necessidades de consumo em termos de energia eléctrica na indústria nacional arroseira, resultando em custos com essa forma de energia de aproximadamente 260.000 €/ano devido à necessidade de consumo na própria rede. Assim, a implementação desta solução apresenta um custo associado apenas 7% inferior face aos encargos iniciais com energia eléctrica, tornando-a pouco atrativa visto que a economia anual obtida não é suficiente para justificar o investimento efectuado, resultando num prejuízo médio na ordem dos 1,3 M€. Por sua vez, se for pretendido utilizar gás de síntese ou bio óleo como combustível neste tipo de centrais, além dos custos associados aumentarem devido à instalação de unidades de conversão energética, a produção de energia eléctrica é de tal forma baixa que tem de se recorrer a cerca de 3 MWh/ano desta forma de energia à rede, resultando em custos adicionais na ordem dos 400.000 €/ano. Face ao exposto, a implementação de centrais termoeléctricas com este tipo de alimentação resulta num custo associado cerca de 64% superior aos encargos iniciais com energia eléctrica, inviabilizando economicamente o investimento efectuado para valores na ordem dos 9 M€.

As centrais convencionais com turbina a gás, apesar de permitirem satisfazer cerca de 60% das necessidades anuais de consumo de energia eléctrica na indústria nacional arroseira, a sua implementação é apenas cerca de 5% mais económica face ao recorrimto de energia eléctrica na rede, resultando numa economia anual obtida insuficiente para justificar o investimento efectuado devido fundamentalmente ao ciclo de vida destas centrais ser curto e os seus custos de capital elevados. Como consequência, a implementação desta solução resulta num prejuízo médio na ordem dos 5,5 M€.

Comparativamente com o caso apresentado anteriormente, as centrais convencionais de ciclo combinado possuem eficiências eléctricas mais elevadas, permitindo uma redução significativa dos encargos anuais com energia eléctrica. Como consequência, a sua implementação é cerca de 35% mais económica relativamente ao recorrimto de energia eléctrica na rede. No entanto, devido aos seus custos de capital serem extremamente elevados, inviabilizam economicamente esta solução para qualquer tipologia de fábrica, resultando num prejuízo médio na ordem dos 2,7 M€.

As centrais com motor de combustão interna correspondem à tecnologia que possui uma maior eficiência eléctrica, permitindo reduzir cerca de 80% do consumo de energia eléctrica na indústria nacional arroseira. Comparativamente com a grande maioria das soluções apresentadas, este tipo de centrais possui custos de capital baixos, existindo situações em que a sua implementação é economicamente viável, tal como se verifica para as fábricas correspondentes à tipologia B. Neste tipo de fábricas o consumo de energia eléctrica é elevado comparativamente com as restantes, logo todas as cascas poderão ser aproveitadas para produzir a maioria da energia eléctrica necessária ao processo sem formação de excedentes. No caso das fábricas da tipologia A, existe sobreprodução de cascas, logo é possível satisfazer todas as necessidades anuais de consumo de energia eléctrica com um excedente de cascas considerável. É economicamente mais vantajoso produzir energia eléctrica a partir de cascas de arroz do que comercializa-la devido ao preço de venda da energia eléctrica ser elevado. Deste modo, como nas fábricas da tipologia A não é possível explorar todas as cascas devido ao baixo consumo de energia eléctrica verificado, a economia obtida não é suficiente para justificar o investimento efectuado, resultando num prejuízo na ordem dos 300.000€. No caso das fábricas correspondentes à tipologia B, verifica-se um encargo médio anual de aproximadamente 400.000€ com energia eléctrica que consegue ser praticamente suprido por todo o *stock* de cascas, resultando numa economia obtida suficiente para justificar o investimento. No caso das fábricas correspondentes à tipologia C a implementação desta solução é economicamente pouco atrativa devido essencialmente a não haver quantidade suficiente de cascas para suprir as necessidades de consumo anual, resultando num prejuízo de 5,4 M€.

5.3.7. Produção de calor

Na Tabela 5.23 apresentam-se os resultados obtidos da análise da viabilidade económica efectuada para as diversas soluções propostas para a produção isolada de calor relativamente a cada uma das tipologias de empresas correspondentes, cuja metodologia de cálculo é apresentada no anexo XXX.

Tabela 5.23 - Resultados obtidos na análise da viabilidade económica para as soluções propostas - calor

Viabilidade económica das soluções propostas para a produção de calor									
Solução	Equipamento	Combustível	Tipologia	CAPEX (€)	Encargos com energia inicialmente (€/ano)	Encargos com a implementação da solução (€/ano)	Economia obtida anualmente (€/ano)	Pay-back (anos)	Facturação total no investimento (€)
1	Queimador a pellets	Pellets	B	196.452	146.746	-33.458	180.204	1	3.423.876
			C	196.452	83.062	59.938	23.124	8	266.038
2	Queimador a gás	Gás de síntese	B	3.562.055	148.198	123.659	24.540	145	-3.071.257
			C	3.562.055	83.062	167.284	-84.222	-	-5.246.497
3	Queimador a óleo	Bio-óleo	B	4.774.882	148.198	259.603	-111.405	-	-7.002.975
			C	2.259.756	83.062	152.295	-69.233	-	-3.644.414

A geração de calor a partir da queima directa de gás de síntese e bio óleo é economicamente menos vantajosa face à queima directa de *pellets* devido ao facto de haver necessidade de recorrer a um maior número de equipamentos para se atingir o mesmo objectivo, resultando num aumento significativo dos encargos inerentes à implementação dessas soluções (custos de capital e custos de operação e manutenção). Adicionalmente, as produções específicas verificadas nestas soluções comparativamente com a queima directa de *pellets* são reduzidas e, conseqüentemente, para se gerar a mesma quantidade de calor terá de recorrer-se a quantidades superiores de cascas de arroz, incrementando o consumo de energia eléctrica da unidade de densificação e diminuindo a facturação inerente à comercialização do excedente de cascas geradas a partir de cada uma das soluções apresentadas.

Face ao exposto, os custos para satisfazer todas as necessidades de calor na indústria nacional arroseira a partir da queima directa de gás de síntese e bio óleo são cerca de 52% superiores face aos custos iniciais com gasóleo e gás natural, inviabilizando qualquer uma das soluções apresentadas em que tenha de recorrer-se a estas duas formas de energia, onde o investimento efectuado poderá resultar em prejuízos na ordem dos 5 M€. Por conseguinte, a queima directa de *pellets* é uma solução que apresenta custos associados reduzidos, correspondendo a aproximadamente 11% dos custos iniciais com gasóleo e gás natural. Assim, a implementação desta solução na indústria nacional arroseira é economicamente viável, possibilitando um retorno médio de investimento de aproximadamente 5 anos e uma facturação de aproximadamente 2 M€.

5.3.8. Produção de energia eléctrica e calor com cogeração

Apresentam-se, na Tabela 5.24, os resultados obtidos da análise da viabilidade económica efectuada para as diversas soluções propostas para a produção combinada de energia eléctrica e calor com cogeração relativamente a cada uma das tipologias de empresas correspondentes, cuja metodologia de cálculo é apresentada no Anexo XXXI.

Tabela 5.24 - Resultados obtidos na análise da viabilidade económica para as soluções propostas – energia eléctrica e calor (cogeração)

Viabilidade económica das soluções propostas para a produção energia eléctrica e calor									
Solução	Central termoeléctrica com cogeração	Combustível	Tipologia	CAPEX (€)	Encargos totais com energia inicialmente (€/ano)	Encargos com a implementação da solução (€/ano)	Economia obtida anualmente (€/ano)	Pay-back (anos)	Facturação total no investimento (€)
1	Turbina a vapor	Pellets	B	2.459.628	682.225	346.746	335.479	7	4.369.227
			C	2.441.240	391.938	326.367	65.571	37	-1.129.828
2	Turbina a vapor	Gás de síntese	B	5.825.231	683.678	576.414	107.264	54	-3.679.957
			C	5.877.533	391.938	433.180	-41.242	-	-6.702.367
3	Turbina a gás	Gás de síntese	B	6.941.372	650.557	312.832	337.725	21	-3.564.125
			C	5.984.402	374.353	397.499	-23.146	-	-6.215.861
4	Motor de combustão interna	Gás de síntese	B	5.908.382	683.678	115.528	568.151	10	7.159.082
			C	5.076.547	391.938	374.421	17.517	-	-4.673.660
5	Turbina a vapor	Bio-óleo	B	7.038.058	683.678	645.454	38.224	184	-6.273.574
			C	4.504.544	391.938	419.791	-27.853	-	-5.061.598

A implementação de qualquer uma das soluções apresentadas é economicamente inviável para o caso das fábricas correspondentes à tipologia C devido fundamentalmente à quantidade de cascas gerada no processo ser reduzida e como consequência continuam a existir encargos com energia significativos. Deste modo, os custos inerentes à implementação da maior parte das soluções apresentadas são superiores aos encargos iniciais com energia eléctrica e gás natural, inviabilizando economicamente qualquer uma das soluções apresentadas para esta tipologia de fábricas. No caso das soluções cujos custos de implementação são inferiores aos custos iniciais com energia, a economia obtida anualmente não é suficiente para justificar o investimento durante o seu ciclo de vida, inviabilizando também qualquer uma dessas soluções.

De seguida, irá proceder-se à discussão dos resultados obtidos referente às fábricas correspondentes à tipologia B.

As centrais termoeléctricas a cogeração com turbina a vapor, apesar de serem a tecnologia com uma maior produção específica de energia, correspondem a uma sobreprodução de calor para a maioria dos casos e um défice na produção de energia

eléctrica. A sua implementação resulta em encargos com energia eléctrica significativos para além dos custos inerentes à própria solução. Caso se pretenda gerar energia eléctrica e calor a partir de uma central termoeléctrica deste tipo alimentada a *pellets* verifica-se que os custos inerentes à implementação da solução são cerca de 50% dos encargos iniciais com energia eléctrica e gasóleo. Devido aos custos de capital desta solução serem extremamente baixos comparativamente com as restantes soluções analisadas, torna a sua implementação economicamente viável, havendo um retorno do investimento de aproximadamente 7 anos e uma facturação de cerca de 4,2 M€. Se for pretendido implementar centrais termoeléctricas deste tipo, mas alimentadas a gás de síntese e bio óleo, os encargos inerentes à sua implementação irão ser cerca de 91% dos custos iniciais com energia eléctrica e gasóleo e os custos de capital, comparativamente com a solução a *pellets*, correspondem a um aumento de cerca de 38% justificado pela aquisição das unidades de conversão energética. Deste modo, a implementação de qualquer uma destas soluções é economicamente inviável, resultando num prejuízo de cerca de 5 M€.

As centrais termoeléctricas a cogeração com turbina a gás permitem reduzir todo o consumo de gasóleo e cerca de 70% do consumo de energia eléctrica. Apesar dos encargos inerentes a esta solução serem cerca de 50% dos custos com energia eléctrica e gasóleo, a sua implementação resulta num prejuízo de cerca de 3,5 M€ devido fundamentalmente à vida útil destes equipamentos ser curta e os custos de capital elevados.

As centrais termoeléctricas a cogeração com motor de combustão interna, face às restantes soluções, apesar de não possuírem a maior produção específica de energia correspondem à solução que apresenta um melhor balanço entre a eficiência eléctrica e térmica face às necessidades de consumo presentes nas fábricas da tipologia B. Deste modo, a implementação desta solução permite suprir praticamente todas as necessidades de consumo nessas fábricas, reduzindo integralmente os encargos iniciais com energia eléctrica e gasóleo. Caso se pretenda gerar energia eléctrica e calor a partir de uma central termoeléctrica deste tipo verifica-se que os encargos após a sua implementação são cerca de 17% dos custos iniciais com energia eléctrica e gasóleo. Apesar dos custos de capital desta solução serem elevados, os encargos inerentes a esta solução bastante reduzidos tornam a sua implementação economicamente viável, havendo um retorno do investimento em aproximadamente 10 anos e uma facturação de cerca de 7,1 M€.

5.3.9. Produção de energia eléctrica e calor de forma convencional

Na Tabela 5.25 apresentam-se os resultados obtidos da análise da viabilidade económica efectuada para as diversas soluções propostas para a produção individual de energia eléctrica e calor de forma convencional relativamente a cada uma das tipologias de empresas correspondentes, cuja metodologia de cálculo é apresentada no Anexo XXXII.

Tabela 5.25 - Resultados obtidos na análise da viabilidade económica para as soluções propostas – energia eléctrica e calor (convencional)

Viabilidade económica das soluções propostas para a produção energia eléctrica e calor									
Solução	Equipamentos	Combustível	Tipologia	CAPEX (€)	Encargos totais com energia inicialmente (€/ano)	Encargos com a implementação da solução (€/ano)	Economia obtida anualmente (€/ano)	Pay-back (anos)	Facturação total no investimento (€)
1	Queimador a pellets + central termoelectrica com motor de combustão interna	Pellets e gás de síntese	B	5.353.596	683.678	173.498	510.181	10	6.380.556
			C	4.669.519	391.703	383.130	8.573	545	-4.472.340

A junção de duas tecnologias com produções específicas de energia elevadas para produzir energia eléctrica e calor correspondem a uma solução economicamente viável e inviável para as fábricas da tipologia B e C, respectivamente. Independentemente das produções específicas de energia serem elevadas, caso não existam quantidades apreciáveis de cascas de arroz não é possível satisfazer as necessidades de consumo, incrementando os encargos com a implementação desta solução devido ao recorrimto de energia eléctrica e calor da forma convencional para compensar as quantidades que não são produzidas de forma alternativa. Esta situação verifica-se nas fábricas da tipologia C onde os custos inerentes à implementação desta solução são apenas 3% mais baixos relativamente aos encargos iniciais com energia eléctrica e gás natural. Como consequência, a economia anual obtida a partir da solução apresentada é insuficiente para justificar o investimento efectuado, traduzindo-se num prejuízo na ordem dos 4,5 M€. Contrariamente a este caso, os encargos inerentes à implementação desta solução nas fábricas da tipologia B são cerca de 75% mais baixos relativamente aos custos iniciais com energia nestas fábricas, visto que a quantidade de cascas gerada é suficiente para suprir praticamente todas as necessidades de consumo. Como consequência, pode obter-se uma economia que é suficiente para pagar o investimento em cerca de 10 anos possibilitando obter uma facturação de aproximadamente 6,4 M€.

Capítulo 6

Conclusões Gerais e Trabalhos Futuros

Este capítulo tem como principais objectivos apresentar as conquistas do trabalho desenvolvido nesta dissertação, sintetizar as suas conclusões e propor uma lista de sugestões e recomendações de perspectivas de trabalho futuro.

6.1. Conclusões Gerais

Entre os diversos subprodutos gerados na indústria nacional arroseira, as cascas de arroz são os que apresentam maior potencial de exploração como biocombustível visto que em 2011 se gerou uma quantidade de 25 milhares de toneladas.

O poder calorífico inferior, das diferentes amostras de casca de arroz recolhidas e analisadas, é de aproximadamente 3047 kcal/kg sendo o teor de humidade de 14%. No entanto, este subproduto apresenta características físico-químicas que o impedem de ser explorado *in natura*, tendo obrigatoriamente de recorrer-se a processos de conversão energética para efectuar o seu ajustamento com os diversos equipamentos de produção de energia. As prensas de extrusão e os reactores químicos de leito fixo concorrente são os equipamentos mais adequados para efectuar o processo de densificação e gaseificação/pirólise, respectivamente, obtendo-se dessa forma três formas de energia em diferentes estados de matéria (*pellets*, gás de síntese e bio óleo).

Em Portugal, a indústria arroseira é totalmente dependente da energia eléctrica, gasóleo e gás natural para o processamento do cereal, processo de vaporização e secagem, respectivamente, podendo dividir-se as demais unidades fabris em três grupos:

- Tipologia A (consumo de energia eléctrica para o processamento do cereal);
- Tipologia B (consumo de energia eléctrica e gasóleo para o processamento e vaporização do cereal);

- Tipologia C (consumo de energia eléctrica e gás natural para o processamento e secagem do cereal).

Para cada tipologia de fábrica analisaram-se diversas soluções para a produção isolada e combinada de energia eléctrica e calor a partir de centrais termoeléctricas convencionais, de cogeração e ciclo combinado equipadas com turbinas a vapor, turbinas a gás e motores de combustão interna, tal como queimadores a *pellets*, gás de síntese e bio óleo.

Através da análise de viabilidade técnico-económica que foi efectuada para cada uma das soluções apresentadas podem tirar-se as seguintes conclusões para as unidades nacionais:

- Qualquer fábrica de arroz que recorra aos processos de secagem ou vaporização poderá substituir os queimadores pré-existentes por queimadores a *pellets* para geração de calor, obtendo uma redução dos encargos com gasóleo ou gás natural na ordem dos 1,8 M€.

- As fábricas pertencentes à tipologia A não conduzem a soluções economicamente atrativas para a produção de energia eléctrica devido fundamentalmente ao facto de apresentarem um consumo de energia eléctrica reduzido (3,3 GWh/ano) face à quantidade de cascas que se geram (7631 ton/ano);

- De igual modo as soluções analisadas para a tipologia C também não são consideradas economicamente atrativas para produção de energia eléctrica a partir de cascas de arroz devido à quantidade reduzida de cascas produzidas (2023 ton/ano). Do mesmo modo a produção combinada de energia eléctrica e calor a partir de cascas de arroz não se apresenta como uma solução viável;

- As fábricas com maior potencial para a exploração de cascas de arroz em Portugal são as que pertencem à tipologia B;

- As centrais termoeléctricas convencionais com motor de combustão interna são a única tecnologia viável para a produção isolada de energia eléctrica nas fábricas da

tipologia B, permitindo reduzir-lhes os encargos com essa forma de energia em cerca de 1,3 M€;

- As centrais de cogeração com motor de combustão interna ou turbina a vapor são as únicas tecnologias viáveis para a produção combinada de energia eléctrica e calor nas fábricas da tipologia B, permitindo reduzir-lhes os encargos com energia em cerca de 7,2 M€ e 4,4 M€, respectivamente. É também possível produzir energia eléctrica e calor de forma rentável a partir da combinação de uma central convencional com motor de combustão interna e um queimador a *pellets*, resultando numa redução dos encargos com energia da ordem dos 6,4 M€.

6.2. Perspectivas de Trabalho Futuro

A elaboração desta dissertação representa um trabalho em curso e não uma meta alcançada. Consequentemente, existem diversas áreas que poderão vir a ser desenvolvidas essencialmente por engenheiros químicos, mecânicos e do ambiente que tenham interesse em algum dos temas que se propõem, nomeadamente:

- O potencial das palhas do cereal do arroz;
- As emissões gasosas;
- Os resíduos sólidos da combustão.

No presente estudo não se analisou o potencial das palhas do cereal do arroz como biomassa devido essencialmente a este subproduto ser gerado em quantidades muito reduzidas nas fábricas de processamento do arroz e a investigação efectuada se debruçar em biomassas homogéneas. Porém, gera-se uma quantidade apreciável de palhas nos arrozais que são utilizadas pelos orizicultores para diversas finalidades fora do âmbito energético. Poderá, assim, ser objecto de estudo a viabilidade técnico-económica da exploração das cascas de arroz juntamente das palhas geradas nos arrozais essencialmente no universo de fábricas em que um dos principais desafios é a quantidade limitada de cascas gerada.

A exploração das cascas de arroz como biocombustível apresenta repercussões em termos de emissões gasosas que deverão ser objecto de estudo de forma a verificar se as emissões dos diversos compostos químicos se encontram dentro dos limites legalmente aceites.

Ainda no âmbito da combustão deste biocombustível verificou-se, experimentalmente, que se geram quantidades apreciáveis de cinzas que serão devidamente removidas nos aparelhos de combustão dos demais equipamentos onde se processa a queima dos *pellets* de casca de arroz. Verificou-se, ainda, que as cinzas resultantes da queima deste biocombustível contêm alto teor de sílica, tornando-o um resíduo valorizado. Contudo essa cinza apenas terá valor económico se for de alta qualidade, que é mensurada pela sua superfície específica, tamanho e pureza da partícula. Assim, deverá ser objecto de estudo a análise da qualidade das cinzas geradas na queima dos *pellets* de arroz de forma a verificar se é técnica e economicamente viável proceder à exploração da sílica que poderá vir a ter interesse em diversas aplicações que a ela recorrem.

Referências Bibliográficas

- [1] Direcção Geral de Energia e Geologia – Divisão de Planeamento e Estatística [2012] [Consult. 11 Jan. 2012]. Disponível em <http://www.dgeg.pt/>.
- [2] VICENTE, Diogo – Recolha de informação representativa do sector nacional arrozeiro. Departamento de Investigação e Desenvolvimento, ISQ (2012).
- [3] CAPROS, P. ; MANTZOS, L. ; PAPANDREOU, N and TASIOS. N – European Energy and Transport, Trends to 2030. Belgium : 2008. ISBN: 978-92-79-0720-6.
- [4] Jornal O Público – Economia [2012] [Consult. 20 Fev. 2012]. Disponível em <http://www.publico.pt/economia/noticia/jorge-vasconcelos-electricidade-aumentara-20-a-30-ate-2030-1534551>.
- [5] FAOSTAT – Food and Agriculture Organization of the United Nations [2012] [Consult. 11 Jan. 2012]. Disponível em <http://www.faostat.fao.org/site/339/default.aspx/>.
- [6] INE – Portugal Agrícola 1980-2006. Lisboa : Instituto Nacional de Estatística, 2007. ISBN: 978-972-673-893-0.
- [7] ANDRADE, Serafim ; JORDÃO, António – A cultura do arroz. Direcção Regional de Agricultura e Pescas do Centro, Divisão de Produção Agrícola.
- [8] NOVARROZ – A produção de arroz em Portugal [Consult. 18 Fev. 2012]. Disponível em <http://novarroz.pt/mundo-do-arroz/historia-do-arroz/a-producao-de-arroz-em-portugal/>.
- [9] ANIA – Associação Nacional dos Industriais de Arroz [2010] [Consult. 4 Jan. 2012]. Disponível em <http://www.ania.pt/>.

- [10] BRITES, Carla ; GUERREIRO, Margarida ; MODESTO, Maria – Arroz Carolino: uma Jóia da nossa gastronomia. Salvaterra de Magos : Cotarroz, 2006.
- [11] PIO, Carlos – Relações internacionais: Economia Política e Globalização. Geneva: Springer, 2007. ISBN: 978-0-387-70929-1.
- [12] VENTURA, José – Estudos sobre economia política. Lisboa: 1868.
- [13] RATTO, Luiz – Comércio: Um mundo de negócios. Rio de Janeiro : Senac, 2008. ISBN: 978-85-7458-235-1.
- [14] GANS, Joshua [et al.] – Principles of Economics. Melbourne : Cengage, 2012. ISBN: 978-01-7019-172-2.
- [15] SILVA, M.V. – Arroz. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1969.
- [16] HOUSTON, D.F – Rice: chemistry and technology. Minnesota : American Association of Cereal Chemists, 1972.
- [17] GODON, Bernard ; WILLM, Claude – Les Industries de Première Transformation des cereals. Paris : Apria, 1990. ISBN: 2-85206-610-6.
- [18] ANGLADETTE, André – El arroz. Barcelona : Blume, 1969.
- [19] WIMBERLY, James – Paddy rice postharvest industry in developing countries. Los Baños : International Rice Research Institute, 1983. ISBN: 971-104-075-1.
- [20] KENT, N.L – Tecnology of cereals. Oxford : Pergamon Press, 1971.
- [21] MATZ, Samuel – Cereal technology. Connecticut : The AVI Publishing Company, 1970. ISBN: 0-87055-071-3.
- [22] FLYNN, G ; CLARK, P.A – An Industrial Profile of Rice Milling. London : Crown, 1980. ISBN: 0-85954-132-0.
- [23] ATEN, A ; FAUNCE, A.D ; RAY, Luther – Matériel pour l´usage du riz. Rome : FAO publications, 1953.

- [24] WHITING, David ; ROLL, Michael ; VICKERMAN, Larry – Plant physiology: Photosynthesis, Respiration and Transpiration. Colorado State University, 2009.
- [25] BARBER, S ; BARBER, C – Rice Bran: An under-utilized raw material. New York : United Nations Publication, 1985. ISBN: 92-1-106199-7.
- [26] BLACK, Michael ; BEWLEY, J ; HALMER, Peter – The encyclopedia of seeds: science, technology and uses. London : CABI, 2006. ISBN: 978-0-85199-723-0.
- [27] MATZ, Samuel – Cereal Science. Connecticut : The AVI Publishing Company, 1969. ISBN: 87055-061-6.
- [28] FUKUSHI, Kensuke [et al.] – Sustainability in food and water: An Asian perspective. Tokyo : Springer, 2010. ISBN: 978-90-481-9913-6.
- [29] TETER, Norman – Paddy drying manual. Rome : FAO publications, 1987. ISBN: 92-5-102603-3.
- [30] Buhler [Consult. 19 Abr. 2012]. Disponível em <http://www.buhlergroup.com>.
- [31] GARIBOLDI, F – Rice milling equipment – operation and maintenance. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1988. ISBN: 92-5-101095-1.
- [32] VÁZQUEZ, E. ; HENDRIKS, Ch ; JANSSEN, G. – International RILEM Conference on the Use of Recycled Materials in Buildings and Structures. Barcelona : RILEM, 2004. ISBN: 2-912143-52-7.
- [33] Klostermühle Heiligenrode [Consult. 26 Mai. 2012]. Disponível em <http://www.muehle-heiligenrode.de/bmtrieur.htm>.
- [34] LIM, J. S [et al.] – A Review on utilization of biomass from rice industry as a source of renewable energy. Malaysia : Elsevier, 2012.
- [35] KHANAL, Samir [et al.] – Bioenergy and Biofuel from Biowastes and Biomass. Virginia : Asce, 2010. ISBN: 978-0-7844-1089-9.

- [36] MAHESHWARI, R ; CHATURVEDI, Pradeep – Bio-energy for Rural Energisation. New Delhi : Concept Publishing Company, 1997. ISBN: 81-7022-670-8.
- [37] SANJAY, Fellow – Thermochemical conversion of biomass. Energy–Environment Technology Division, 2007.
- [38] ZHU, Xifeng [et al.] – Biomass Pyrolysis and Its Potential for China. University of Science and Tecnology of China.
- [39] BHARADWAJ, Anshu [et al.] – Pyrolysis of Rice Husk. Carnegie Mellon University, 2008.
- [40] Rice Knowledge Bank [Consult. 27 Abr. 2012] Disponível em <http://www.knowledgebank.irri.org/> >.
- [41] FERNANDES, Daniela – Estudo da estabilidade térmica de blendas de álcool vinílico e lignina modificada. Universidade Estadual de Maringá, 2005.
- [42] KLASS, Donald – Renewable Energy, Fuels, and Chemicals. San Diego : Academic Press, 1998. ISBN: 978-0-12-410950-6.
- [43] GRAMMELIS, Panagiotis – Solid Biofuels for Energy. New York : Springer, 2011. ISBN: 978-1-84996-392-3.
- [44] KYRITSIS, S – 1st World Conference on Biomass for Energy and Industry. London : James&James, 2001. ISBN: 1-902916-15-8.
- [45] GUPTA, Ram ; DEMIRBAS, Ayhan – Gasoline, Diesel and Ethanol Biofuels from grasses and plants. New York : Cambridge press, 2010. ISBN: 978-0-521-76399-8.
- [46] DEMIRBAS, Ayhan – Green Energy and Tecnology. New York : Springer, 2010. ISBN: 978-1-84882-720-2.
- [47] BROWN, Robert – Thermochemical Processing of Biomass. Chichester : Wiley, 2011.

- [48] RIBEIRO, Ricardo – Investigação Experimental e Integração de um Sistema de Geração de Energia Eléctrica por Gaseificação de Biomassa para Comunidades Isoladas. Universidade de Brasília, 2007.
- [49] GROVER, P. ; MCKIBBIN, R. ; BARBES, G – Biomass Briquetting: Technology and Practices. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1996.
- [50] NOGUEIRA, L. – Dendroenergia: Fundamentos e Aplicações. Brasília: ANEEL, 2000.
- [51] KOTHARI, D. ; SINGAL, K ; RANJAN, Rakesh – Renewable Energy Sources and Emerging Technologies. New Delhi : PHI, 2009. ISBN: 978-81-203-3357-4.
- [52] HEDON – Household Energy Network [2012] [Consult. 24 Mar. 2012]. Disponível em <http://doc.utwente.nl/61525/1/Hulscher91biomass.pdf>.
- [52] HEDON – Household Energy Network [2012] [Consult. 24 Mar. 2012]. Disponível em <http://doc.utwente.nl/61525/1/Hulscher91biomass.pdf>.
- [53] ROCHA, José – Pré Tratamento da Biomassa. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).
- [54] LIPPEL – Produtos para Biomassa [2012] [Consult. 17 Jul. 2012]. Disponível em <http://www.lippel.com.br/> >.
- [55] Manfredini & Schianchi [2012] [Consult. 19 Jul. 2012]. Disponível em <http://www.manfredinieschianchi.com/301-12-4PO-moinhos-de-martelos-slammer.htm>>.
- [56] UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul [Consult. 19 Jul. 2012]. Disponível em http://www.ufrgs.br/alimentus/feira/optransf/opt_moagem.htm.
- [57] VANTEC [Consult. 11 Jun. 2012]. Disponível em <http://www.vantec.ind.br/>>.
- [58] BKALLIED INDUSTRIES [2010] [Consult. 19 Jul. 2012]. Disponível em <http://www.bkallied.com/verticalpellet.html>>.

- [59] RAJVANSHI, Anil – Biomass Gasification. Nimbkar Agricultural Research Institute, 1986.
- [60] ALVES, Sebastião – Pirólise e Gasificação de Biomassa. Instituto Superior Técnico, 1983.
- [61] ABREU, Yolanda ; OLIVEIRA, Marco ; GUERRA, Sinclair – Energia, Economia, Rotas tecnológicas. Málaga : Eumed, 2010. ISBN: 978-84-693-6489-5.
- [62] LORA, Electo ; ANDRADE, Rubenildo ; ARADAS, Maria – Geração Eléctrica em Pequena Escala a partir da Gaseificação de Biomassa. Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI).
- [63] QUAACK, Peter ; KNOEF, Harrie ; STASSEN, Hubert – A Review of Combustion and Gasification Technologies. Washington : The world bank, 1999.
- [64] RODRIGUES, Rodolfo – Modelagem e Simulação de um Gaseificador em Leito Fixo para o Tratamento Térmico de Resíduos Sólidos da Indústria Calçadista. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008.
- [65] BRITO, Paulo ; RODRIGUES, Luiz ; OLIVEIRA, Anabela – Aproveitamento energético de Biomassa. Instituto Politécnico de Portalegre.
- [66] SUN, Run – Cereal Straw as a Resource for Sustainable Biomaterials and Biofuels. Chennai : Elsevier, 2010. ISBN: 978-0-444-53234-3.
- [67] BEOHAR, Hina [et al.] – Parametric Study of Fixed Bed Biomass Gasifier: A Review. International Journal of Thermal Technologies, Vol.2, No.1, 2012.
- [68] FIGUEIREDO, Fabrízio – Avaliação de uma unidade autônoma de produção de energia eléctrica composta por sistema de gaseificação concorrente e grupo gerador com capacidade de 50 kVA. Universidade Estadual de Londrina, 2012.
- [69] IRRITALIA [Consult. 19 Jul. 2012]. Disponível em <http://www.irritalia.com/>.
- [70] SLF – Shangai Luckris Filter Company [2008] [Consult. 19 Jul. 2012]. Disponível em <http://luckrisfilter.com/>.

- [71] CROCKER, Mark - Thermochemical Conversion of Biomass to Liquid Fuels and Chemicals. Bristol : Royal Society of Chemistry, 2010. ISBN: 978-18-497-3035-8.
- [72] ABREU, Yolanda [et al.] – Energia Sociedade e Meio Ambiente. Málaga : Eumed, 2010. ISBN: 978-84-693-3774-5.
- [73] ALTMAN, Arie ; HASEGAWA, Paul – Plant Biotechnology and Agriculture. San Diego : Academic Press, 2012. ISBN: 978-0-12-381466-1.
- [74] INSTITUTE, Worldwatch – Biofuels for Transport. London : Routledge, 2012. ISBN: 978-1-84407-422-8.
- [75] SÁNCHEZ, Caio ; DEL CAMPO, Eduardo – Tecnologia da Gaseificação. Universidade Estadual de Campinas, 2004.
- [76] ZHU, Xifeng – Biomass Fast Pyrolysis for Bio-oil. University of Science and Tecnology of China.
- [77] TSAI, W. ; LEE, M. ; CHANG, Y. – Fast Pyrolysis of Rice Husk: Product Yields and Compositions. Chia Nan University of Pharmacy and Science, Taiwan.
- [78] ISLAM, Mohammad ; ANI, Farid – Liquid Oil Fluidized Bed Pyrolysis of Rice Husk Waste and Its Characterization. Univesiti Teknologi Malaysia.
- [79] LUENGO, Carlos ; FELFI, Felix; BEZZON, Guilherme – Pirólise e Torrefacção de Biomassa. Fundação de Amparo á Pesquisa do Estado de São Paulo.
- [80] CAETANO, João – Estudo do Aproveitamento Energético da Biomassa: Pirólise do Arundo Donax. Universidade da Beira Interior, 2003.
- [81] ALMEIDA, Marlon – Bio óleo a partir da pirólise rápida, térmica ou catalítica, da palha da cana-de-açúcar e seu co-processamento com gasóleo em craqueamento catalítico. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008.
- [82] GOMES, Marcel – Produção de Bioóleo Através do Processo Termoquímico de Pirólise. Faculdade de Tecnologia de Araçatuba, 2010.

- [83] FIGUEIREDO, Aneliése – Pirólise Termoquímica de Pós de Fibra de Côco em um reactor de cilindro rotativo para produção de bio óleo. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2011.
- [84] NATARAJAN, E ; GANAPATHY, Sundaram – Pyrolysis of Rice Husk in a Fixed Bed Reactor. World Academy of Science, Engineering and Technology, 2009.
- [85] ALMEIDA, Suelen – Pirólise Rápida de Casca de Arroz: Estudo de Parâmetros e Caracterização de Produtos. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.
- [86] DINIZ, Juraci – Poder calorífico da casca de arroz, caroço de pêssego, serragem de eucalipto e de seus produtos de pirólise. Universidade Federal de Santa Maria, 2004.
- [87] RNCAN – Ressources Naturelles Canada [2012] [Consult. 28 Ago. 2012]. Disponível em <http://www.rncan.gc.ca/elements-naturels/2010-10/bioenergie/455>.
- [88] GÓMEZ, Edgardo [et al.] – Projecto de Pirólise Rápida Continua de Biomassa com Ar em Reactor de Leito Fluidizado Atmosférico. Universidade Estadual de Campinas, 2003.
- [89] AREVALO, RUTH – Diseño de un sistema de compactacion de biomassa de Cascarrilla de Arroz y Serrin, en la Produccion de Bloques Sólidos Combustibles. Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, 2009.
- [90] YUSOF, I. [et al.] – Characterization of Rice Husk for Cyclone Gasifier. Journal of Applied Sciences, 8.
- [91] MAYER, Flávio ; Hoffmann, Ronaldo ; Ruppenthal, Janis – Gestão Energética, Econômica e Ambiental do Resíduo Casca de Arroz em Pequenas e Médias Agroindústrias de Arroz. Universidade Federal de Santa Maria, 2006.
- [92] Environmental Protection Agency of United States of America – Biomass Combined Heat and Power Catalog of Technologies. 2007.
- [93] ÇENGEL, Yunus ; BOLES, Michael – Termodinâmica. Nevada: McGraw-Hill, 2011. ISBN: 972-773-097-3.

- [94] LOO, Sjaak ; KOOPEJAN, Jaap – The handbook of Biomass Combustion and Co-firing. London: Earthscan, 2008. ISBN: 978-1-84407-249-1.
- [95] GORLA, Rama ; KHAN, Aijaz – Turbomachinery: Design and Theory. New York: Dekker, 2003. ISBN: 0-8247-0980-2.
- [96] EDUCOGEN – A guide to cogeneration [2012] [Consult. 16 Mai. 2012]. Disponível em http://www.energymanagertraining.com/CHPMaterial/12-V-EDUCOGEN_Cogen_Guide.pdf.
- [97] EPA – Catalog of CHP Technologies [2012] [Consult. 13 Jun. 2012]. Disponível em http://www.epa.gov/chp/documents/catalog_chptech_full.pdf.
- [98] SHARMA, B – Fuels and Petroleum Processing. Meerut: Goel, 1998.
- [99] DRBAL, Lawrence [et al.] – Power Plant Engineering. Springer, 1995. ISBN: 978-0-41206-401-2.
- [100] RUDRAMOORTHY, R – Thermal Engineering. New Delhi: McGraw-Hill, 2003. ISBN: 0-07-049498-3.
- [101] SIVASANKAR, B – Engineering Chemistry. New Delhi: McGraw-Hill, 2008. ISBN: 978-0-07-066932-5.
- [102] SIVAPRAKASAM, Vedavalli – Engineering Chemistry. New Delhi: Laxmi, 2007.
- [103] RAJADURAI, Selwin – Thermodynamics and Thermal Engineering. New Delhi: New age international, 2003. ISBN: 81-224-1493-1.
- [104] RAJU, K – Industrial Energy Conservation Techniques. New Delhi: Atlantic, 2007. ISBN: 81-269-0774-6.
- [105] RAJPUT, R – Engineering Thermodynamics: fourth edition. New Delhi: Laxmi, 2010.
- [106] SRINIVAS, J – Comprehensive Handbook of Mechanical Engineering. New Delhi: Laxmi, 2005. ISBN: 978-8170085805.
- [107] SENAPATI, M – Advanced Engineering Chemistry. New Delhi: Laxmi, 2006.
- [108] BALSARAF, V ; PAWAR, A ; MANE, P – Applied Chemistry : Volume 2. New Delhi: International Publishing House, 2010. ISBN: 978-93-80557-855-2.

- [109] KRISHNAMURTHY, N ; VALLINAYAGAM, P ; MADHAVAN, D – Engineering Chemistry. New Delhi: PHI, 2008. ISBN: 978-81-203-3666-7.
- [110] SHARMA, B – Analytical Chemistry. New Delhi: KRISHNA Prakashan Media, 2006. ISBN: 81-8283-022-2.
- [111] Energi Styrelsen – Technology Data For Energy Plants. Norway, 2012. ISBN: 978-87-7844-931-3.
- [112] EDP – Tarifário de Energia Eléctrica em Média Tensão [2012] [Consult. 6 Abr. 2012]. Disponível em <http://www.edpsu.pt/pt/particulares/tarifasehorarios/Pages/TarifaMT.aspx>.
- [113] GALP – Tarifário de Gás Natural [2012] [Consult. 6 Abr. 2012]. Disponível em <http://www.galpenergia.com/PT/ProdutosServicos/GasNatural/Mercado-Regulado/Tarifario/Paginas/Empresas.aspx>.
- [114] MARIA FRANQUET BERNIS, Josep.– Variedades e mejora del arroz. Cataluña : CopyRapid , 2004. ISBN: 84-930364-1-2.
- [115] JULIANO, B.O – El arroz en la nutrición humana. Roma : 1994. ISBN: 92-5-303149-2.
- [116] HUKÉ, Robert E. and HUKÉ, Eleanor H. – Rice then and now. Michigan, 1990. ISBN: 971-220-003-5.
- [117] ZRONIK, John – The biography of rice. New York : Crabtree, 1972. ISBN: 13-978-0-7787-2482-7.
- [118] YOSHIDA, Shouichi – Fundamentals of rice crop science. Los Baños : IRRI publications; 1981. ISBN: 971-104-052-2.
- [119] GUIMARÃES, Cleber Moraes ; FAGERIA, Nand Kumar ; FILHO, Morel Pereira Barbosa – Como a planta de arroz se desenvolve. Santo António de Goiás : Arquivo do Agrônomo nº13, 2002.
- [120] CHANG, Te-Tzu ; BARDENAS, Eliseo A. e DEL ROSARIO, Arnulfo C. – The morphology and varietal characteristics of the rice plant. Los Baños : IRRI publications, 1965.
- [121] BONAVENTURE, Léon – A cultura da cherimoya e de seu híbrido a atemóia. São Paulo : Nobel, 1999. ISBN: 85-213-1094-3.

- [122] DE DATTA, Surajit – Principles and Practices of Rice Production. Los Baños : The International Rice Research Institute, 1981. ISBN: 80-28941.
- [123] Klink, Carlos – Quanto mais quente melhor? Desafiando a sociedade civil a entender as mudanças climáticas. São Paulo : Peirópolis, 2007. ISBN: 978-85-7596-097-4.
- [124] USA Rice Federation – Rice Nutrition Information [2012] [Consult. 23 Mar. 2012]. Disponível em http://www.usarice.com/index.php?option=com_content&view=article%id=1727&itemid=650#links/.
- [125] JU, Yi-Hsu ; VALI, S.R – Rice bran oil as a potential resource for biodiesel: A review. Journal of Scientific & Industrial Research, Vol. 64.
- [126] SOAVE, Dayse [et al.] – Teor de amilose em genótipos de arroz. Campinas : 1995.
- [127] FIGUEIREDO, Joaquim ; GUERREIRO, Margarida – O Arroz.
- [128] RSC – Royal Society of Chemistry [2004] [Consult. 23 Fev. 2012]. Disponível em <http://www.rsc.org/Education/Teachers/Resources/cfb/carbohydrates.htm/>.
- [129] RAO, M – Rheology of fluid and semisolid foods: principles and applications. Geneva : Springer, 2007. ISBN: 978-0-387-70929-1.
- [130] ANDRIGUETTO, José – Nutrição Animal. São Paulo : AMPUB, 1981. ISBN: 85-213-0171-5.
- [131] MANSARAY, K ; GHALY, A – Physical and thermochemical properties of rice husk. Technical University of Nova Scotia, 1997.
- [132] MOHANKA, Reena ; SEN, Ananya ; SINGH, M. – Bioresources and human environment. New Delhi : APH, 2009. ISBN: 978-81-313-438-9.
- [133] KALIA, S. ; KAITH, B ; KAUR, I – Cellulose Fibers: Bio and Nano Polymer Composites. New York : Springer, 2011. ISBN: 978-3-642-17369-1.
- [134] SOBRAL, H – Vegetable Plants and Their Fibres as Building Materials. Cambridge : University Press, 1990. ISBN: 0-412-39250.
- [135] Cerealista Pasi [2013] [Consult. 23 Out. 2013]. Disponível em <http://www.arrozkika.com.br/produtos.php?id=4>.

- [136] BOTTINI, Renata Lucia – Arroz: História, Variedades, Receitas. São Paulo : Senac, 2008. ISBN: 978-85-7359-747-9.
- [137] Lusosem [2010] [Consult. 22 Ago. 2012]. Disponível em http://www.lusosem.pt/arroz_variedades.html.
- [138] SA.PI.SE [Consult. 22 Ago. 2012]. Disponível em <http://www.sapise.it/index.php?|=en&p=3>.
- [139] HAIR [et al.] – Análise Multivariada de Dados. São Paulo : Bookman, 1998. ISBN: 0-13-017706-7.
- [140] SAMOBYL, Robert – Controle Estatístico de Qualidade. Rio de Janeiro : Elsevier, 2009. ISBN: 978-85-352-3220-2.
- [141] GOLDSTEIN, Larry [et al.] – Gas-Fired Distributed Energy Resource Technology Characterizations. Colorado : NREL, 2003.
- [142] FCR – Conversos de Taxas de Câmbio [Consult. 13 Mai. 2012]. Disponível em <http://www.freecurrencyrates.com/pt/exchange-rate-history/EUR-USD/2003>.
- [143] PEREIRA, Alexandre e POUPA, Carlos – Como escrever uma tese, monografia ou livro científico. Lisboa : Sílabo, 2008. ISBN: 978-972-618-511-6.
- [144] SILVA, Avelino [et al.] – Sabores da cozinha contemporânea. São Paulo : Melhoramentos, 2005. ISBN: 85-06-04571-1.
- [145] ISLAM, saiful [et al.] – Bio-oil from Pyrolysis of Rice Husk. Bangladesh : 2011.
- [146] BRENES, Michael [et al.] – Biomass and Bioenergy. New York: Nova Publishers, 2006. ISBN: 1-59454-865.
- [147] SCHLITTLER, Luiz [et al.] – Gaseificação de Biomassa. Diálogos e Ciência: Revista da Rede de Ensino FTC, 2009.
- [148] ROZAINEE, M. [et al.] – Effect of Feeding Methods on the Rice Husk Ash Quality in a Fluidised Bed Combustor. Universiti Teknologi Malaysia, 2010.

Glossário

Abrasão: desgaste originado por atrito ou fricção.

Arroz branqueado: diz respeito ao grão de arroz sem a casca e o farelo.

Arroz em integral ou em película: constitui o grão de arroz que é obtido após o processo de descasque e, portanto, com o farelo.

Arroz paddy: diz respeito ao arroz provido de casca que é obtido após a debulha.

Autoclave: equipamento hermeticamente estanque em que se aquece um determinado líquido de forma a obter altas pressões e temperaturas que podem ser utilizadas para diversos processos termoquímicos.

Bio óleo: é um biocombustível que se encontra no estado líquido, possui tonalidade negra e é obtido por intermédio do processo de pirólise, no qual a biomassa é submetida a altas temperaturas num ambiente desprovido de oxigénio.

Biomassa: este termo designa o total de matéria orgânica, morta ou viva, existente nos organismos animais ou vegetais de uma determinada comunidade.

Bomba hidráulica: é uma máquina que fornece energia a um líquido com a finalidade de transportá-lo de um ponto para o outro. Normalmente recebem energia mecânica e transformam-na em energia de pressão e cinética, ou ambas.

Bráctea: são estruturas foliáceas associadas às inflorescências das angiospermas. Têm origem foliar e a função original de proteger a inflorescência ou as flores em desenvolvimento.

Briquete: pequeno bloco de forma pré-definida resultante da compactação do pó de um determinado aglutinante que é geralmente utilizado como combustível.

Cambota: componente mecânico geralmente utilizado em motores de combustão interna que converte uma força num momento.

Casca de arroz *in natura*: constitui a casca de arroz tal e qual como se apresenta no seu estado natural quando envolve o grão.

Celulose: é um polímero de cadeia longa composto por um só monómero, classificado como polissacarídeo ou carboidrato.

Central termoelectrica: consiste numa instalação para a produção de energia eléctrica mediante a transformação de energia de combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos.

Coleóptilo: é a primeira estrutura que cresce numa nova planta, um elemento tubuloso e oco que recobre e protege o caulículo. O coleóptilo cresce até certa altura e depois cessa o crescimento. O epicótilo, que vem crescendo por dentro, acaba por rasgar o coleóptilo e então surgem as primeiras folhas da nova planta.

Colmo: é um tipo de caule encontrado nas gramíneas, constituído por nós e entrenós que são bem visíveis, podendo ser ocos ou cheios.

Compressor: é um equipamento concebido para aumentar a pressão de um fluido no estado gasoso e, como consequência, origina o aumento da sua temperatura.

Condensador: equipamento que tem a função de fazer passar um fluido no estado de vapor para o estado líquido.

Debulha: processo que consiste em remover os grãos de arroz paddy da espiga da planta do arroz.

Deiscência: é a abertura natural dos órgãos vegetais quando estes atingem a sua maturação, os quais se dizem então deiscentes.

Endosperma: é um tecido vegetal, de natureza triploide, que se encontra nas sementes de muitas angiospermas, e também nas gimnospermas. É formado pela união de dois núcleos polares do óvulo com um dos núcleos do gameta masculino.

Entrenós: constitui a parte lisa, sólida (quando nova) ou oca (quando madura) do colmo de dimensão variada compreendida entre dois nós.

Escória: resíduo originado da fusão de certos materiais, geralmente da hulha ou de outros metais.

Estilete: diz respeito o prolongamento do ovário (parte inferior) até o estigma (parte superior) nas flores.

Farelo: constitui a parte periférica dos grãos dos cereais depois de separada após o processo de moagem, contendo a maior percentagem de vitaminas.

Fermentação: é um processo anaeróbio de transformação de uma substância em outra, produzida a partir de microorganismos, tais como bactérias e fungos, chamados nestes casos de fermentos.

Força Centrifuga: corresponde a uma força aparente que se manifesta nos corpos em rotação e cujo efeito é o afastamento dos corpos do centro de rotação.

Gás de síntese: é uma mistura combustível de gases, produzida a partir de processos de gaseificação, ou seja de combustão incompleta de combustíveis sólidos.

Gás inerte: é qualquer um dos gases que não é reactivo em circunstâncias normais.

Hemicelulose: é um polissacarídeo ramificado que pode ser formado por um único tipo de monossacarídeo ou por dois ou mais tipos diferentes.

Hidrocarboneto: é um composto químico constituído essencialmente por átomos de carbono e de hidrogénio unidos tetraedricamente por ligação covalente assim como todos os compostos orgânicos.

Intempéries: corresponde a qualquer extremo de condições climáticas tal como vento forte, temporal, seca, calor tórrido, etc.

Lignina: é uma molécula tridimensional amorfa observada nas plantas terrestres, em associação com a celulose na parede celular, de natureza polimérica e tridimensional, com a finalidade de conferir rigidez, impermeabilidade e resistência contra ataques biológicos aos tecidos vegetais.

Nós: constitui a parte sólida de um colmo ou de uma ramificação da panícula. A partir dos nós do colmo podem surgir folhas, rebentos ou raízes adventícias. A partir dos nós da panícula poderão surgir ramos ou espigas.

Orizicultura: corresponde ao cultivo de arroz em lavouras.

PAC: é um sistema de subsídios à agricultura e programas de desenvolvimento em áreas afins, parte do primeiro dos três Pilares da União Europeia, designado como Comunidades europeias. Foi criada em 1962, tendo como objetivos principais assegurar o abastecimento regular de géneros alimentícios e garantir aos agricultores um rendimento em conformidade com os seus desempenhos.

Paludismo: grave doença parasitária provocada por esporozoários inoculados no homem por um mosquito, e também conhecida por malária.

Pellet: corresponde a um combustível orgânico de forma cilíndrica produzido através de biomassa densificada proveniente de serrim, resíduos de madeira ou outros materiais naturais “pelletizáveis”.

Pilão: peça, geralmente de madeira, de extremidade arredondada que serve para esmagar ou triturar diversos tipos de conteúdos de um almofariz.

Pistão: peça cilíndrica normalmente feita em alumínio ou liga de alumínio, que se move longitudinalmente no interior do cilindro de motores de combustão interna.

Planta anual: é todo o tipo de planta que normalmente germina, floresce e morre num período inferior a 1 ano. Como exemplos de plantas anuais tem-se o milho, o arroz, o melão, a ervilha, entre outras.

Plastificação da lignina: termo utilizado para expressar a mudança de fase da lignina do estado líquido para o estado sólido.

Poder calorífico inferior: representa o calor libertado pela combustão estando toda a água resultante no estado gasoso.

Poder calorífico superior: representa o calor libertado pela combustão estando toda a água resultante no estado líquido.

Ponto de fusão: designa a temperatura ao qual uma substância passa do estado sólido para o estado líquido. Esta temperatura é a mesma quando a substância se solidifica, isto é, passa do estado líquido para o estado sólido.

Potência contratada: potência que o distribuidor coloca em termos contratuais à disposição do cliente. Nos fornecimentos em MAT, AT, MT e BTE a potência contratada corresponde à máxima potência activa média em kW, registada em qualquer intervalo ininterrupto de 15 minutos, durante os últimos 12 meses.

Potência em horas de ponta: quociente entre a energia activa fornecida em horas de ponta e o número de horas de ponta no período a que a factura respeita.

Processo isobárico: é uma transformação termodinâmica na qual a pressão permanece constante em um sistema fechado, sistema este que permite trocas de energia, mas não de matéria, entre o sistema e a sua vizinhança.

Radicula: é a primeira parte da semente a emergir durante a germinação.

Razão estequiométrica: corresponde à mistura perfeita de um determinado combustível com o ar.

Reacção endotérmica: é uma reacção química cuja entalpia dos seus produtos é maior que a de seus reagentes, isto é, ela absorve energia na forma de calor.

Reacção exotérmica: é uma reacção química cuja energia é transferida de um meio interior para o meio exterior, assim aquecendo o meio ambiente.

Sêmea: farinha obtida aquando de um processo abrasivo sobre o farelo de um cereal.

Silo: é um depósito agrícola geralmente destinado ao armazenamento de produtos agrícolas geralmente depositados no seu interior sem estarem ensacados.

Trinca de arroz: grãos de arroz branqueado partidos como resultado das operações de processamento do cereal, geralmente comercializado para alimentação animal.

Turbina: máquina construída para captar e converter energia mecânica e térmica contida num fluido em trabalho.

Válvula: dispositivo mecânico concebido para controlar o escoamento de um determinado fluido numa tubagem ou recipiente.

Velocidade periférica: deslocamento em função do tempo de um determinado ponto ou conjunto de pontos numa trajectória circular.

ANEXOS

Anexo I – Conceitos introdutórios sobre o cereal do arroz

A função deste Anexo é a de introduzir o leitor à temática da dissertação em epígrafe, de forma a adquirir alguns conhecimentos que poderão ser úteis para a compreensão do que será abordado posteriormente.

Não será efectuada uma análise exaustiva dos temas abordados visto que se pretende que sejam de fácil compreensão e, dessa forma, não conduzindo o leitor para informações de pouca utilidade para o objectivo que se pretende transmitir na elaboração desta dissertação.

I.1. A Origem do Arroz e da Orizicultura

A origem do arroz é um tema que tem sido debatido durante muito tempo, mas este cereal é tão antigo que naturalmente gera alguma discordância por parte dos inúmeros autores que se debruçam sobre este tema. No entanto, grande parte das opiniões converge no mesmo sentido, reconhecendo-se que a origem do arroz deverá estar situada na zona do Sudeste Asiático visto que a maioria dos manuscritos religiosos Hindus e Budistas mencionam directamente ou indirectamente este cereal, enquanto os manuscritos religiosos de outros povos não lhe fazem referência. Como é do conhecimento geral, o Sudeste Asiático compreende inúmeros países, sendo o próximo passo tentar compreender em qual desses países surgiu o aparecimento do arroz [24, 114-117].

Os documentos mais antigos a fazer referência a este cereal são chineses (3000 A.C.) e a falta de documentação nos restantes países leva a acreditar que o arroz é proveniente da China. Contudo, nos manuscritos Chineses (3000 A.C.) faz-se referência à importância do arroz como base da alimentação das populações indígenas da Índia [24, 116].

Na verdade, a Índia em comparação com os outros países do Sudeste Asiático é o único país que reúne as condições geográficas e climáticas favoráveis à cultura deste cereal, possuindo além disso o maior número de variedades espontâneas [24, 116].

Pode então concluir-se que, anteriormente a qualquer país do Sudeste Asiático desenvolver técnicas de cultivo deste cereal, na Índia o arroz já era cultivado por parte das populações locais, aproveitando as condições que a natureza lhes oferecia sem outras preocupações que não fossem as de sementeira e colheita [24, 116].

I.2. Difusão da Cultura do Arroz

De acordo com a abordagem efectuada anteriormente, a origem do arroz deu-se na Índia e possivelmente a sua cultura foi inicialmente difundida para a Pérsia e China. A partir destes dois países, a cultura do arroz foi sendo naturalmente difundida para países mais próximos, como a Arábia, Turquia, Mesopotâmia e Coreia, entre outros [15, 115,116].

Este cereal apenas ficou a ser conhecido no continente Europeu após a expedição de Alexandre Magno à Índia, como se depreende claramente das notícias referidas por autores gregos e romanos contemporâneos. No entanto a cultura do arroz apenas foi introduzida mais tarde no continente Europeu, nomeadamente no século VIII [24].

Os Árabes tiveram uma grande importância na difusão da cultura do arroz no continente Africano e Europeu, podendo afirmar-se que em Portugal a difusão da cultura deste cereal se deve aos Árabes, sendo uma prova disso o próprio nome do cereal derivando directamente da palavra árabe *roz* (*al roz*), formada por evolução fonética do vocábulo persa *orz* [24].

Durante a época dos descobrimentos Portugal deu a conhecer ao resto do mundo a cultura do arroz, havendo actualmente mais de 100 países de diferentes continentes em que se cultiva este cereal [24].

I.3. Morfologia interna e externa da planta do arroz

Conhecendo-se o local de origem do cultivo deste cereal e a forma como se difundiu torna-se importante dar a conhecer um pouco sobre a sua morfologia interna e externa.

O arroz, *Oryza Sativa L.*, é uma planta anual* (Figura A-I.1) pertencente à importante família das gramíneas e, como tal, é formada por raízes, caule, folhas e panículas [24, 117-122].

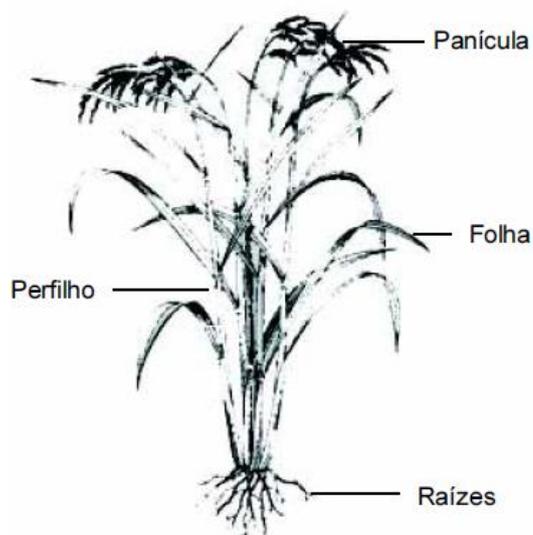


Figura A-I.1 - A planta de arroz [119]

Grosso modo, o principal objectivo da planta do arroz consiste em produzir o fruto, de forma a possibilitar a continuidade da espécie. As suas raízes, caules e folhas são os órgãos responsáveis para que isso possa ocorrer [121].

- Raízes da planta do arroz:

A função das raízes, além de permitir a fixação da planta no substracto, consiste em captar água e os nutrientes necessários ao seu desenvolvimento de forma a proporcionar as condições necessárias à sua reprodução [121].

O sistema radicular* da planta do arroz (Figura A-I.2) é formado por três tipos de raízes, nomeadamente raízes seminais ou embriogénicas, raízes mesocótilas e raízes adventícias [24, 117-119].

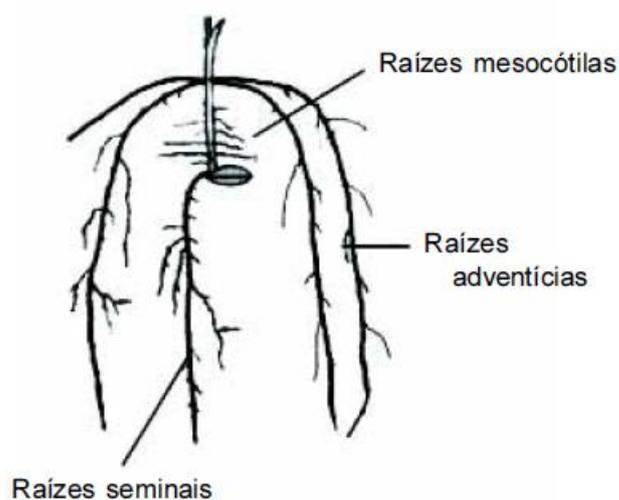


Figura A-I.2 - Diferentes tipos de raízes da planta do arroz [119]

Em condições normais, na fase de germinação as raízes seminais são as primeiras a surgirem, desenvolvendo-se a partir do embrião, no entanto após esse período são substituídas por parte das raízes adventícias, que se originam a partir dos nós* inferiores dos colmos*. Em condições especiais (utilização de indutores químicos de crescimento por exemplo) poderão desenvolver-se raízes mesocótilas, que emergem entre o nó do coleóptilo* e a base da radícula [118-120].

As raízes que se desenvolvem directamente a partir dos nós do colmo principal são denominadas por raízes primárias e à medida que se vão desenvolvendo originam raízes secundárias e assim sucessivamente [118, 119].

O aspecto físico das raízes não é imutável ao longo da sua vida útil. As raízes mais novas apresentam uma tonalidade branca, são espessas, turgescentes e francamente ramificadas [24, 118]. À medida que vão envelhecendo, poderão apresentar uma tonalidade amarela, castanha ou preta [118], tornando-se mais longas, ramificando-se e apresentando-se flácidas e delgadas [24, 118]. A cor, a grossura e o desenvolvimento das ramificações das raízes da planta do arroz dependem de inúmeros factores tais como as características físico-químicas do solo, a idade da planta, as condições climatéricas e o método de cultivo [118, 119].

Por fim, as raízes são protegidas nas suas extremidades por uma massa de células denominada por coifa que possui uma forma semelhante à de um dedal, facilitando dessa forma a penetração da raiz no solo sem que ocorra a sua degradação [24, 119].

- Caule da planta do arroz:

No seguimento do que foi dito anteriormente, as raízes têm o papel de captar os nutrientes necessários ao desenvolvimento da planta do arroz. Por conseguinte, o caule é o órgão responsável por parte do transporte e distribuição desses nutrientes ao longo de toda a planta, tendo igualmente uma função estrutural visto que suporta os ramos, as folhas e os frutos da planta do arroz [121].

O caule do arroz (Figura A-I.3) é um colmo porque apresenta nós bem definidos e entrenós*, sendo constituído por um colmo principal e um número variável de colmos primários e secundários, ou perfilhos [24, 118-120, 122]. A quantidade de colmos é bastante variável de planta para planta, dependendo do seu grau de afilhamento [24].

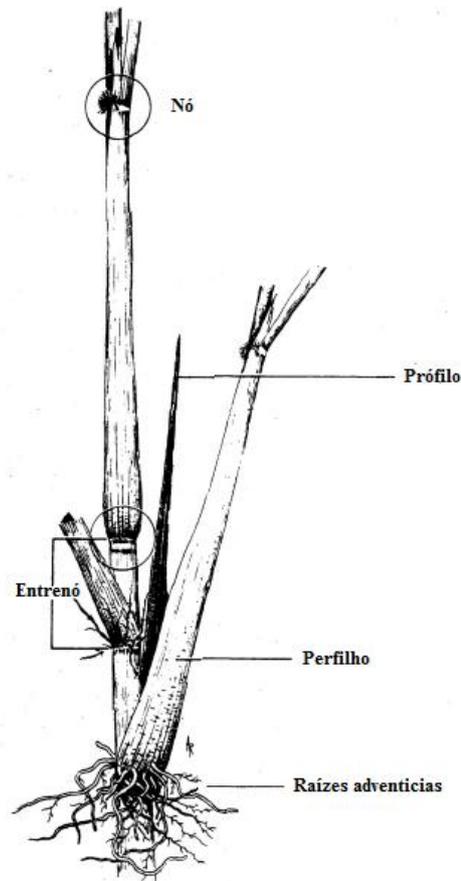


Figura A-I.3 - Planta de arroz com colmo principal, secundário, nós e entrenós [120]

Segundo a maioria dos autores, um colmo pode ser definido de acordo com o seu comprimento, diâmetro, tonalidade e inclinação vertical.

Relativamente à altura do colmo pode adotar-se a seguinte classificação: baixa (menos de 60 cm), mediana (de 60 a 85 cm), alta (de 86 a 110 cm) e muito alta (mais de 110 cm) [24]. Os entrenós são os responsáveis pela altura quase total da planta, decrescendo em comprimento da extremidade para a base da planta [118-120].

No que diz respeito ao diâmetro do colmo (2 a 6 mm) [118, 119], o seu tamanho varia com a sua posição, tipo de caule e condições ambientais, sendo a seguinte classificação normalmente atribuída: finos, medianos e grossos [24]. O diâmetro do colmo decresce da base da planta para a sua extremidade [118- 120].

Os colmos, conforme o ângulo que fazem com a vertical, podem ser erectos, subgeniculados e geniculados.

Quanto à coloração, os colmos apresentam-se geralmente verdes, verdes estriados de vermelho e verdes estriados de roxo [24].

Por fim, o número de nós por colmo varia geralmente entre 3 a 8 [118, 119], podendo apresentar-se mais ou menos inchados e glabros, variando a sua cor do amarelo palha esverdeado ao vermelho, violáceo e negro [24].

- Folha da planta do arroz:

Anteriormente fez-se referência aos órgãos responsáveis por parte da captação e distribuição de água e nutrientes essenciais ao desenvolvimento da planta do arroz. Neste momento resta saber qual o órgão da planta que recebe a água e os nutrientes, sendo ele a folha.

As folhas são um órgão da planta do arroz imprescindível para o seu desenvolvimento, apresentando três funções: respiração, transpiração e fotossíntese [24, 121, 123].

A presença de açúcares é muito importante para que a planta de arroz se desenvolva e origine o fruto, no entanto não se encontram disponíveis no ar atmosférico nem nos solos. Para que haja a formação de açúcares terão de ocorrer obrigatoriamente os processos de transpiração, fotossíntese e respiração, respectivamente.

No processo de transpiração, a folha ao perder algum vapor de água gera uma diferença de pressão no interior da planta, resultando no movimento ascendente da água da raiz até à folha [24, 121, 123].

O ar atmosférico possui dióxido de carbono e portanto a folha da planta ao captar este gás em conjunto com a água obtida por transpiração e a luz solar gera, por fotossíntese, oxigénio e açúcares [24, 121, 123].

Por fim, havendo disponibilidade de açúcares na planta, todas as suas células utilizam algum desse açúcar para gerar energia por intermédio do processo de respiração e havendo energia disponível na planta, existem condições necessárias para que ela se desenvolva naturalmente e produza frutos de forma a garantir a continuidade da espécie [24, 121, 123].

Após efectuar-se uma explicação muito simples sobre as principais funções das folhas das plantas de arroz, acha-se pertinente abordar alguns aspectos morfológicos.

Todas as folhas da planta do arroz surgem de forma alternada a partir dos nós do colmo, atribuindo-se a designação de folha bandeira à última folha. A única excepção dá-se ao nível da primeira folha que surge a partir do coleóptilo, designada por prófilo [24, 121, 123].

Geralmente originam-se entre dez a dezoito folhas a partir do colmo principal dependendo do ciclo a cultivar [118] e por intermédio da contagem do número de folhas pode determinar-se a idade fisiológica da planta do arroz [118, 119]. Normalmente a coloração das folhas varia do verde-claro ou amarelado ao verde-escuro existindo porém algumas variedades que apresentam as folhas com uma tonalidade roxa [24].

A Figura A-I.4 ilustra um exemplo da contagem das folhas numa planta de arroz.

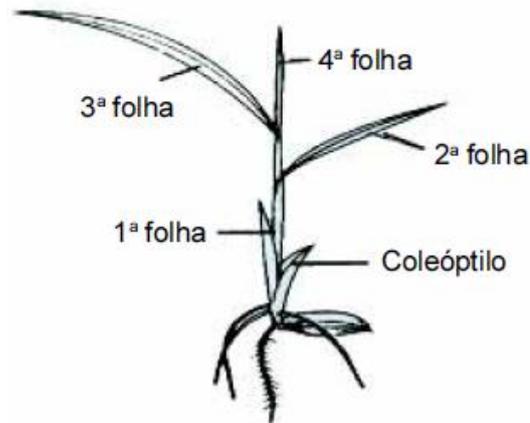


Figura A-I.4 - Contagem das folhas nas plantas de arroz [119]

A porção da folha que envolve o colmo denomina-se bainha e a pendente é a lâmina. Na junção dessas duas partes situa-se o colar, do qual emergem dois pequenos apêndices em forma de orelha, sendo por essa razão denominados de aurículas, e uma estrutura membranosa em forma de língua, denominada lígula [118-120].

Na Figura A-I.5 pode visualizar-se a morfologia externa da folha do arroz.

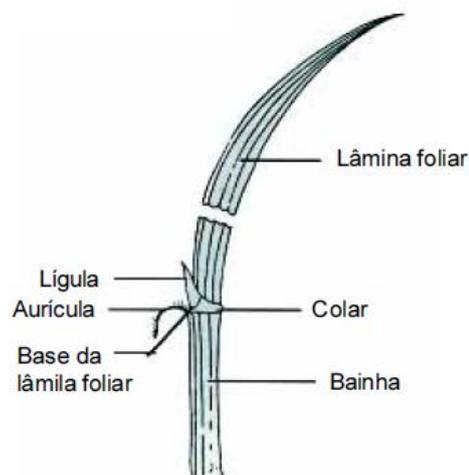


Figura A-I.5 - Morfologia foliar [119]

- Flores e frutos da planta do arroz:

À medida que a planta de arroz se desenvolve começam a surgir as primeiras flores a partir do último entrenó do caule (Figura A-I.6), atribuindo-se ao conjunto de flores a designação de panícula [118].



Figura A-I.6 - Panícula da planta de arroz [115]

De forma a tornar possível o processo de fecundação e originar o grão de arroz, a sua flor é constituída por uma parte feminina, masculina e lodículas, envolvidas por um par de brácteas* (lema e pálea) [118-120]. Apresentam-se na Figura A-I.7 as partes constituintes da flor do arroz.

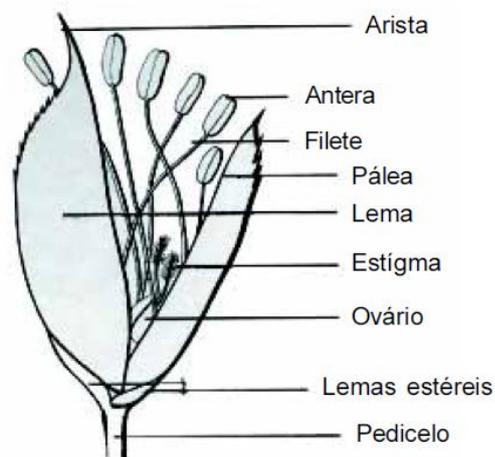


Figura A-I.7 - Estrutura da espiqueta do arroz [119]

A parte feminina da flor do arroz é constituída por estigma, estilete* e ovário. O estigma é plumoso, onde os grãos de pólen são depositados e o ovário é bastante desenvolvido, apresentando dois estiletos [118-120].

A parte masculina é constituída por antera e filete. A antera contém os grãos de pólen e o filete é a estrutura que liga a antera à base da flor [118-120].

As lodículas são estruturas ovais e pouco desenvolvidas que se situam na base do ovário [118-120].

Quando a flor está apta a ser fecundada, as lodículas incham e induzem a abertura do par de brácteas. No intervalo de tempo em que ocorre este processo, os filetes alongam-se rapidamente pressionando as anteras contra a parte superior das brácteas, originando-se a deiscência* dos grãos de pólen. Como consequência, estes caem sobre o estigma, penetram no estilete, atingem o ovário e realiza-se a fecundação. Após ocorrer a fecundação forma-se o grão de arroz [118, 119].

I.4. Grão de Arroz

O grão de arroz (Figura A-I.8) é constituído pela cariopse e uma camada protectora, a casca. Por conseguinte, a cariopse é constituída pelo embrião, o endosperma* e o farelo* (pericarpo, tegumento, nucela e capa de aleurona) [119, 120, 122].

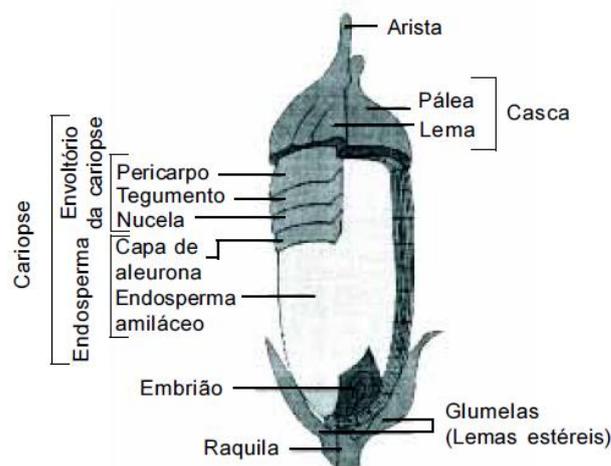


Figura A-I.8 - Estrutura do grão de arroz [119]

Os nutrientes não se encontram uniformemente distribuídos nas diferentes fracções do grão de arroz. As camadas externas apresentam maiores concentrações de proteínas, lipídios, fibras, minerais e vitaminas, enquanto o centro é rico em amido. Desta forma, o

polimento do grão de arroz apresenta como consequência uma redução no teor de nutrientes, com exceção do amido, originando as diferenças que existem entre o arroz integral, o arroz branqueado e o arroz vaporizado [24].

Na Tabela A-I.1 apresenta-se alguma informação nutritiva de cada um dos estados de processamento do arroz mencionados anteriormente.

Tabela A-I.1 - Informação nutritiva relativamente aos diferentes tipos de processamento de arroz [124]

	Arroz Integral	Arroz branqueado	Arroz vaporizado
Água (%)	10,4	11,6	9,7
Calorias (kcal/100g)	370,0	365,0	374,0
Proteínas (g/100g)	7,9	7,1	8,1
Gordura (g/100g)	2,9	0,7	1,0
Carboidratos: Total (g/100g)	77,2	80,0	80,4
Fibras (g/100g)	3,5	1,3	2,2
Cálcio (g/100g)	23,0	28,0	55,0
Ferro (g/100g)	1,5	4,3	5,3
Fósforo (g/100g)	333,0	115,0	156,0
Sódio (g/100g)	7,0	5,0	3,0
Potássio (g/100g)	223,0	115,0	187,0
Vitamina B1 (g/100g)	0,4	0,6	0,7
Vitamina B2 (g/100g)	0,1	0,1	0,1
Vitamina B3 (g/100g)	5,1	4,2	5,1
Vitamina B9 (g/100g)	20,0	231,0	257,0
Vitamina E (g/100g)	1,2	0,1	0,0

- Embrião:

O embrião ou gérmen localiza-se na face ventral do grão e contém as estruturas essenciais para a produção de uma nova planta. É rico em proteínas e lípidos, representando cerca de 2 a 3% [125] da massa total do grão [119, 120, 122].

- Endosperma:

O endosperma (Figura A-I.9) constitui a maior parte do grão de arroz, representando cerca de 70 a 72% da massa total do grão [125]. É constituído essencialmente por amido, açúcares, proteínas e gorduras, sendo 80% referentes a amido [126].



Figura A-I.9 - Endosperma de uma variedade de arroz [2]

O amido é formado por dois polímeros, a amilose e a amilopectina, cuja estrutura molecular se encontra representada nas Figuras A-I.10 e A-I.11, respectivamente [126, 127].

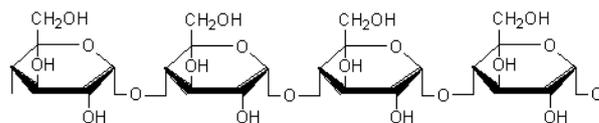


Figura A-I.10 - Estrutura molecular da amilose [128]

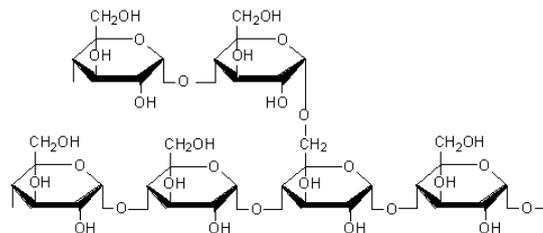


Figura A-I.11 - Estrutura molecular da amilopectina [128]

Para temperaturas entre 50 °C e 68 °C as ligações de hidrogénio entre as moléculas de amilose e amilopectina enfraquecem e a estrutura do amido fica mais susceptível a absorver água (gelatinização do amido) [129]. É isto que sucede no processo de cozimento do arroz, verificando-se o aumento do volume dos seus grãos como consequência da absorção de água [127].

No decorrer do processo de cozimento verifica-se um aumento da viscosidade da água visto que por um lado parte dela fica retida nos grãos de arroz e por outro lado,

aumentando o volume de cada grão, parte dessa água fica retida nos espaços existentes entre eles, dificultando a sua circulação.

Quando se termina o processo de cozimento, ocorre um realinhamento dos polímeros do amido e, especialmente da amilose, observando-se um aumento da rigidez dos grãos de arroz, ou seja, origina-se um género de recristalinização. Este fenómeno denomina-se por retrogradação do amido [127].

Em conclusão, quanto maior for a percentagem de amilose num determinado tipo de grão de arroz, maior será a retrogradação do amido e, por conseguinte, maior será a sua capacidade de recristalinizar-se.

A explicação que foi dada será útil no sentido de compreender as principais características que distinguem os diferentes tipos de arroz comercializados em Portugal.

- Farelo:

O farelo (Figura A-I.12) é constituído pelos tegumentos que envolvem o grão, representando cerca de 7 a 8% [125] da sua massa total [119, 120, 122]. Contém 11 a 13% de proteína bruta [130] e 10 a 15% de gordura [130], com aproximadamente 11,5% de fibra [130], sendo portanto bastante valorizado na alimentação animal.



Figura A-I.12 - Farelo de arroz encastrado nas redes de uma polidora [2]

- Casca:

A casca (Figura A-I.13) é constituída por dois invólucros duros (*lemma* e *palea*), com bordas cortantes [130], representando em média 20% da massa total do grão [16, 20]. Cerca de 15-24% do seu peso corresponde a cinzas [39, 131], possui uma massa volúmica baixa compreendida entre 70 a 114 kg/m³ [40, 131] e é essencialmente um material lignocelulósico, constituído por cerca de 50% de celulose, 30% de lignina e 20% de sílica [32]. Como tal, possui um baixo valor nutritivo [130] e um poder calorífico superior compreendido entre 2637 e 3869 kcal/kg [32, 40, 51, 132-134], dependendo das variedades de arroz e do local onde são cultivadas.



Figura A-I.13 - Cascas de arroz [135]

I.5. Tipos e variedades de arroz

Existem no mundo milhares de variedades de arroz, com diferentes características e sabores. No entanto todas elas derivam, directa ou indirectamente, de três subespécies básicas: a indica, a japónica e a javânica [136].

A espécie indica é cultivada em climas quentes, sendo originária da Índia. O grão de arroz é longo e fino, sendo rico em amilose e, como tal, após a cozedura, os grãos apresentam-se soltos, o que permite que em algumas civilizações este cereal seja consumido com as próprias mãos [136].

A espécie japónica é cultivada em climas frios, sendo originária da China. O grão de arroz é curto e arredondado, sendo pobre em amilose. Ao contrário do caso anterior,

após a cozedura, o grão de arroz apresenta-se aglutinado, permitindo que em algumas civilizações este tipo de cereal possa ser consumido com *hashi* [136].

Por fim, a espécie javânica é cultivada na Indonésia, tendo uma percentagem de amilose intermédia entre as duas espécies mencionadas anteriormente e, como tal, o grão de arroz após a cozedura não se aglutina tanto quanto na espécie japónica, mas certamente mais face à espécie indica [136].

As empresas nacionais transformadoras de arroz comercializam arroz em três estados de processamento diferentes, nomeadamente integral, vaporizado e branqueado. O arroz branqueado comparativamente com o arroz vaporizado e integral representa uma parcela muito mais significativa no mercado nacional de arroz, no entanto o arroz vaporizado tem vindo a adquirir uma adesão cada vez maior [2].

Cada um destes estados de arroz é o resultado do processamento industrial de diversos tipos de arroz, nomeadamente o arroz carolino, agulha, *basmati e thai* que poderão ser provenientes de fornecedores nacionais e/ou internacionais [2]. Dos tipos de arroz mencionados, os que apresentam maior representatividade no mercado nacional são o arroz carolino e agulha, maioritariamente cultivados em Portugal.

Na Tabela A-1.2 apresentam-se alguns dados descritivos das principais variedades de carolinos e agulhas comercializados em Portugal.

Tabela A-1.2 - Dados descritivos sobre cada tipo de arroz [137, 138]

Tipo	Carolino			Agulha
Variedade	Albatros	Ariete	Euro	Gladio
Comprimento (mm)	6,0	7,0	6,1	7,6
Largura (mm)	2,1	2,8	2,2	2,1
Peso de 1000 grãos (g)	26,3	29,0	19,0	25,8
Espécie	Japónica			Indica
Conteúdo de amilose (%)	17,9	19,0	14,9	26,8
Rendimento Industrial	Elevado	Elevado	Elevado	Muito alto

Anexo II - Tratamento dos dados da produção de arroz em casca por continentes

Tabela A-II.1 - Tratamento dos dados da produção de arroz em casca por continentes [5]

Ano	Produção de Arroz, Paddy (ton)					Mundo
	Africa	América	Ásia	Europa	Oceânia	
1961	4.309.840	10.571.101	198.778.123	1.844.996	142.566	215.646.626
1962	5.581.664	11.495.453	207.411.014	1.804.893	163.281	226.456.305
1963	5.814.128	11.732.424	227.561.200	1.847.579	163.794	247.119.125
1964	5.834.832	12.737.221	242.167.427	2.023.740	165.751	262.928.971
1965	5.473.416	14.363.855	232.172.854	1.875.436	174.113	254.059.674
1966	5.558.500	13.027.040	240.229.325	2.163.240	203.143	261.181.248
1967	6.620.027	14.441.506	253.587.216	2.500.193	237.409	277.386.351
1968	6.971.161	14.918.997	263.978.527	2.506.471	249.136	288.624.292
1969	7.136.714	14.458.181	270.809.240	2.892.682	287.533	295.584.350
1970	7.286.522	15.706.660	290.101.286	2.977.167	274.057	316.345.692
1971	7.364.212	14.714.575	292.171.674	3.138.332	323.644	317.712.437
1972	7.302.579	14.852.721	281.748.559	3.117.864	268.278	307.290.001
1973	7.349.175	16.050.692	307.598.912	3.602.921	327.108	334.928.808
1974	7.688.918	17.371.536	302.816.387	3.665.101	428.720	331.970.662
1975	8.099.752	19.869.601	324.808.040	3.772.679	412.983	356.963.055
1976	7.835.909	20.584.632	315.387.255	3.495.403	443.184	347.746.383
1977	7.980.652	19.705.815	337.703.799	3.535.309	555.565	369.481.140
1978	8.194.104	19.628.353	353.101.071	3.770.710	514.544	385.208.782
1979	8.488.762	20.323.765	341.465.683	4.251.721	721.907	375.251.838
1980	8.607.638	23.072.840	360.104.905	4.437.148	645.867	396.868.398
1981	8.574.390	24.100.330	372.523.794	4.083.400	791.250	410.073.164
1982	8.956.677	24.502.478	383.409.836	4.188.879	888.435	421.946.305
1983	9.103.279	19.361.836	414.839.148	4.163.588	546.331	448.014.182
1984	9.129.759	23.245.895	427.797.305	4.503.327	664.078	465.340.364
1985	9.618.908	23.127.641	429.945.147	4.571.864	898.218	468.161.778
1986	10.109.481	23.670.527	429.490.571	4.686.319	718.409	468.675.307
1987	10.485.407	24.465.468	421.334.179	4.581.697	573.167	461.439.918
1988	10.721.487	27.114.547	444.019.290	4.809.053	793.837	487.458.214
1989	13.083.906	26.857.858	469.268.585	4.374.179	837.517	514.422.045
1990	12.697.109	22.655.617	477.692.981	4.570.432	952.124	518.568.263
1991	13.721.270	24.660.976	475.212.188	4.289.456	817.452	518.701.342
1992	14.006.080	26.917.311	483.376.504	3.122.774	1.146.213	528.568.882
1993	14.551.426	25.782.834	486.888.140	2.799.572	978.865	531.000.837
1994	14.176.713	29.151.143	491.682.219	2.810.138	1.101.739	538.921.952
1995	14.923.061	29.196.960	499.453.419	2.699.700	1.157.360	547.430.500
1996	15.948.931	27.098.096	521.697.123	3.199.651	970.237	568.914.038
1997	16.452.015	27.895.927	528.067.103	3.167.092	1.407.418	576.989.555
1998	15.811.326	26.666.532	532.206.227	3.169.973	1.337.962	579.192.020
1999	17.363.041	33.829.641	555.096.923	3.247.423	1.411.065	610.948.093
2000	17.476.517	32.032.396	545.546.464	3.180.912	1.119.166	599.355.455
2001	16.657.516	32.219.697	546.140.610	3.149.865	1.660.576	599.828.264
2002	17.602.354	32.047.652	517.319.269	3.209.725	1.207.791	571.386.791
2003	18.496.948	32.011.366	532.845.911	3.257.863	456.452	587.068.540
2004	19.035.065	37.163.495	547.752.629	3.468.163	570.862	607.990.214
2005	20.289.760	36.281.844	574.110.509	3.350.841	357.964	634.390.918
2006	22.015.795	33.919.011	580.847.840	3.404.913	1.019.862	641.207.421
2007	21.010.503	33.480.938	598.878.157	3.598.668	181.549	657.149.815
2008	24.251.842	36.046.477	625.233.901	3.477.790	33.282	689.043.292
2009	23.278.124	38.430.947	618.883.512	4.105.047	82.229	684.779.859
2010	22.851.921	37.170.221	607.337.398	4.443.164	218.492	672.021.196
Produção Média (1961-2010)	12.037.982	23.814.653	415.651.988	3.418.181	632.050	455.554.853
	2,6%	5,2%	91,2%	0,8%	0,1%	100%

Metodologia de cálculo

1º Os dados foram recolhidos [5] e inseridos manualmente no programa informático *Microsoft Excel*;

2º A partir da função *MÉDIA* o programa calcula automaticamente o valor médio para o intervalo de valores selecionados. Efectuou-se este procedimento para as seis colunas de 51 valores referentes à produção de arroz *paddy* anual, obtendo-se um valor médio para o intervalo de tempo de 50 anos;

3º A representatividade percentual em termos de produção de cada continente foi obtida da seguinte forma:

Exemplo para o continente Asiático

$$Representatividade (\%) = \frac{Produção\ média_{Asia}}{Produção\ média_{Total}} \times 100 = \frac{415651988}{455554853} \times 100 = 91,2\%$$

Os valores obtidos para os restantes continentes foram determinados da mesma forma.

Anexo III - Tratamento dos dados da área de cultivo de arroz por continentes

Tabela A-III.1 - Tratamento dos dados da área de cultivo do arroz por continente [5]

Ano	Área cultivada (ha)					Mundo
	Africa	America	Asia	Europa	Oceania	
1961	2.776.898	5.149.226	106.957.686	447.815	33.522	115.365.147
1962	3.099.578	5.498.248	110.387.581	433.319	33.683	119.452.409
1963	3.042.008	5.783.552	110.827.159	464.155	35.002	120.151.876
1964	3.187.304	6.356.244	114.951.222	526.531	34.793	125.056.094
1965	3.133.330	6.857.083	114.257.030	547.766	33.661	124.828.870
1966	3.235.822	6.340.525	115.489.410	579.674	35.083	125.680.514
1967	3.548.387	6.631.137	116.692.618	626.240	39.264	127.537.646
1968	3.667.191	6.941.052	117.940.104	675.549	41.096	129.264.992
1969	3.646.513	7.045.120	119.680.662	720.160	45.093	131.137.548
1970	3.790.938	7.363.990	120.918.684	747.357	52.264	132.873.233
1971	3.909.812	7.062.540	122.704.315	785.676	51.627	134.513.970
1972	3.848.668	6.789.203	120.689.520	820.218	50.377	132.197.986
1973	3.974.546	7.335.279	124.344.785	864.072	53.934	136.572.616
1974	4.060.236	7.528.065	124.330.585	891.763	77.283	136.887.932
1975	4.271.794	8.497.056	127.999.016	874.456	87.031	141.729.353
1976	4.299.686	9.528.749	127.048.145	897.722	85.918	141.860.220
1977	4.482.554	8.869.854	129.267.094	940.561	103.810	143.663.873
1978	4.526.421	8.753.374	129.143.825	976.663	103.351	143.503.634
1979	4.760.259	8.651.358	126.590.116	993.369	122.929	141.118.031
1980	4.705.868	9.547.434	128.995.495	1.034.057	129.496	144.412.350
1981	4.803.619	9.790.722	129.353.863	980.596	118.418	145.047.218
1982	4.940.008	9.558.813	125.925.757	1.009.677	140.009	141.574.264
1983	4.838.990	7.985.350	128.925.546	991.275	88.835	142.829.996
1984	4.871.221	8.673.610	129.495.094	1.070.302	132.280	144.242.507
1985	4.959.781	7.998.628	129.582.092	1.063.391	136.003	143.739.895
1986	5.168.521	8.606.785	129.541.414	1.033.794	120.281	144.470.795
1987	5.213.577	9.135.515	125.794.001	1.072.756	108.537	141.324.386
1988	5.603.794	9.311.476	130.260.806	1.107.301	119.211	146.402.588
1989	6.501.519	8.672.309	132.576.634	1.071.817	110.547	148.932.826
1990	6.034.413	7.318.009	132.426.516	1.063.346	117.796	146.960.080
1991	6.592.711	7.421.799	131.587.355	1.016.998	101.855	146.720.718
1992	6.689.928	8.313.835	131.547.323	685.582	138.144	147.374.812
1993	6.644.376	7.834.586	131.229.104	648.141	135.106	146.491.313
1994	6.907.534	8.254.165	131.381.066	604.046	141.242	147.288.053
1995	6.994.436	8.182.501	133.734.515	545.869	136.900	149.594.221
1996	7.055.839	7.069.506	135.384.597	627.595	158.965	150.296.502
1997	7.461.499	6.959.168	135.915.164	605.575	175.539	151.116.945
1998	7.537.377	7.017.112	136.417.855	575.982	149.917	151.698.243
1999	7.509.021	8.117.286	140.429.194	592.305	159.091	156.806.897
2000	7.561.781	7.607.226	138.145.013	605.977	139.907	154.059.904
2001	7.553.085	7.158.027	136.480.667	568.520	183.956	151.944.255
2002	7.824.460	7.048.263	132.046.979	555.989	150.207	147.625.898
2003	7.996.704	7.107.787	132.769.144	580.937	53.415	148.507.987
2004	8.328.834	7.912.453	133.657.394	580.656	73.775	150.553.112
2005	8.696.381	8.023.817	137.588.079	577.098	59.067	154.944.442
2006	9.131.574	6.833.980	138.587.355	591.227	105.897	155.250.033
2007	8.463.815	6.689.437	139.205.283	600.490	26.954	154.985.979
2008	9.004.329	6.900.445	141.144.106	597.241	8.753	157.654.874
2009	9.368.566	7.384.403	140.941.816	668.970	13.899	158.377.654
2010	9.050.325	7.308.591	136.550.538	717.728	23.400	153.650.582
Área Média (1961-2010)	5.705.517	7.654.494	128.356.786	757.166	91.542	142.565.505
	4,0%	5,4%	90,0%	0,5%	0,1%	100,0%

Anexo IV - Tratamento dos dados relativamente à produtividade do cultivo de arroz por continentes

Tabela A-IV.1 - Tratamento dos dados da produtividade de cultivo do arroz por continentes

Ano	Produtividade (kg/ha)				
	Continentes				
	Africa	América	Asia	Europa	Oceânia
1961	1.552	2.053	1.858	4.120	4.253
1962	1.801	2.091	1.879	4.165	4.848
1963	1.911	2.029	2.053	3.981	4.680
1964	1.831	2.004	2.107	3.844	4.764
1965	1.747	2.095	2.032	3.424	5.173
1966	1.718	2.055	2.080	3.732	5.790
1967	1.866	2.178	2.173	3.992	6.046
1968	1.901	2.149	2.238	3.710	6.062
1969	1.957	2.052	2.263	4.017	6.376
1970	1.922	2.133	2.399	3.984	5.244
1971	1.884	2.083	2.381	3.994	6.269
1972	1.897	2.188	2.334	3.801	5.325
1973	1.849	2.188	2.474	4.170	6.065
1974	1.894	2.308	2.436	4.110	5.547
1975	1.896	2.338	2.538	4.314	4.745
1976	1.822	2.160	2.482	3.894	5.158
1977	1.780	2.222	2.612	3.759	5.352
1978	1.810	2.242	2.734	3.861	4.979
1979	1.783	2.349	2.697	4.280	5.873
1980	1.829	2.417	2.792	4.291	4.988
1981	1.785	2.462	2.880	4.164	6.682
1982	1.813	2.563	3.045	4.149	6.346
1983	1.881	2.425	3.218	4.200	6.150
1984	1.874	2.680	3.304	4.208	5.020
1985	1.939	2.891	3.318	4.299	6.604
1986	1.956	2.750	3.315	4.533	5.973
1987	2.011	2.678	3.349	4.271	5.281
1988	1.913	2.912	3.409	4.343	6.659
1989	2.012	3.097	3.540	4.081	7.576
1990	2.104	3.096	3.607	4.298	8.083
1991	2.081	3.323	3.611	4.218	8.026
1992	2.094	3.238	3.675	4.555	8.297
1993	2.190	3.291	3.710	4.319	7.245
1994	2.052	3.532	3.742	4.652	7.800
1995	2.134	3.568	3.735	4.946	8.454
1996	2.260	3.833	3.853	5.098	6.103
1997	2.205	4.009	3.885	5.230	8.018
1998	2.098	3.800	3.901	5.504	8.925
1999	2.312	4.168	3.953	5.483	8.870
2000	2.311	4.211	3.949	5.249	7.999
2001	2.205	4.501	4.002	5.540	9.027
2002	2.250	4.547	3.918	5.773	8.041
2003	2.313	4.504	4.013	5.608	8.545
2004	2.285	4.697	4.098	5.973	7.738
2005	2.333	4.522	4.173	5.806	6.060
2006	2.411	4.963	4.191	5.759	9.631
2007	2.482	5.005	4.302	5.993	6.736
2008	2.693	5.224	4.430	5.823	3.802
2009	2.485	5.204	4.391	6.136	5.916
2010	2.525	5.086	4.448	6.191	9.337
Produtividade Média (1961-2010)	2.033	3.122	3.191	4.597	6.530

Metodologia de cálculo

1º A produtividade do cultivo de arroz pode ser determinada da seguinte forma:

$$\textit{Produtividade (kg/Ha)} = \frac{\textit{Produção (kg)}}{\textit{Área de cultivo (Ha)}}$$

2º A partir dos dados referentes à produção e área de cultivo que foram obtidos para o intervalo de cinquenta anos efectuou-se a sua divisão a partir do programa *Microsoft Excel*, respeitando a expressão de cálculo anterior.

3º A forma como se determinaram as produtividades médias anuais para cada um dos continentes foi efectuada da mesma forma relativamente ao passo 2 do Anexo II.

Anexo V - Tratamento dos dados relativamente à produção de arroz na europa (1961-1991)

Tabela A-V.1 - Tratamento dos dados referentes à produção de arroz em casca nos países europeus [5, 6]

Ano	Produção de Arroz, Paddy (ton)														
	Principais países Europeus produtores de arroz														Europa
	Albania	Bulgaria	França	Grécia	Hungria	Itália	Portugal	Romênia	Rússia	Espanha	Rep.Macedónia	Ucrânia	Jugoslávia	USSR	
1961	4.603	36.490	133.690	81.247	38.182	699.800	177.384	31.000	0	393.500	0	0	19.600	229.500	1.844.996
1962	5.683	39.037	130.230	68.388	36.355	663.000	173.500	20.100	0	392.400	0	0	23.200	253.000	1.804.893
1963	9.135	42.316	117.390	76.861	48.104	564.300	166.273	51.300	0	398.600	0	0	23.300	350.000	1.847.579
1964	8.173	31.460	121.900	106.759	34.888	624.000	181.400	53.800	0	398.060	0	0	25.300	438.000	2.023.740
1965	10.225	33.490	97.830	104.461	21.423	508.900	136.557	45.816	0	349.634	0	0	24.600	542.500	1.875.436
1966	10.524	48.358	102.340	80.138	30.955	621.000	154.025	55.500	0	375.400	0	0	23.000	662.000	2.163.240
1967	11.254	57.120	116.990	93.425	43.094	744.700	146.035	68.497	0	365.878	0	0	20.200	833.000	2.500.193
1968	12.807	38.929	84.810	102.468	41.119	648.100	149.023	60.281	0	362.134	0	0	17.800	989.000	2.506.471
1969	14.276	58.157	95.390	101.404	50.058	861.900	175.805	68.372	0	410.500	0	0	27.820	1.029.000	2.892.682
1970	14.924	66.171	90.680	78.757	44.639	818.500	194.677	65.177	0	381.642	0	0	32.000	1.190.000	2.977.167
1971	10.760	66.988	76.510	70.494	67.306	892.300	161.574	66.500	0	360.900	0	0	36.000	1.329.000	3.138.332
1972	12.000	60.294	41.450	74.000	61.420	751.000	163.900	45.000	0	345.800	0	0	31.000	1.532.000	3.117.864
1973	15.168	61.896	69.330	84.458	68.711	1.027.300	167.558	50.000	0	386.500	0	0	32.000	1.640.000	3.602.921
1974	12.000	57.969	49.250	105.000	55.782	1.025.700	129.500	53.000	0	366.900	0	0	31.000	1.779.000	3.665.101
1975	13.500	67.700	42.400	102.000	68.543	991.500	132.736	68.500	0	378.700	0	0	37.100	1.870.000	3.772.679
1976	14.000	41.213	30.400	69.000	32.269	884.700	97.235	37.400	0	406.200	0	0	22.986	1.860.000	3.495.403
1977	14.400	67.735	24.110	94.000	35.491	682.400	95.000	46.600	0	379.200	0	0	36.373	2.060.000	3.535.309
1978	14.800	61.115	36.790	95.000	23.313	947.200	134.906	57.900	0	401.244	0	0	34.442	1.964.000	3.770.710
1979	15.520	73.385	30.000	86.700	41.146	1.107.200	145.270	60.100	0	427.000	0	0	34.400	2.231.000	4.251.721
1980	13.000	67.382	25.300	80.100	23.906	967.700	151.860	38.700	0	433.200	0	0	42.000	2.594.000	4.437.148
1981	13.900	73.514	20.100	85.900	39.202	893.300	109.784	47.700	0	444.000	0	0	42.000	2.314.000	4.083.400
1982	11.900	74.890	27.100	82.500	48.390	1.007.800	140.699	45.700	0	401.900	0	0	42.000	2.306.000	4.188.879
1983	13.000	74.309	38.000	86.300	46.869	1.021.300	107.010	82.800	0	224.000	0	0	40.000	2.430.000	4.163.588
1984	12.600	61.113	35.600	95.000	33.097	1.008.800	131.534	110.000	0	440.400	0	0	36.183	2.539.000	4.503.327
1985	12.000	54.570	61.560	103.765	38.061	1.122.700	143.772	137.000	0	462.253	0	0	36.183	2.400.000	4.571.864
1986	11.000	62.407	60.020	121.000	46.530	1.137.200	146.618	152.600	0	496.318	0	0	47.626	2.405.000	4.686.319
1987	10.600	52.993	59.500	137.000	39.733	1.064.300	141.702	115.500	0	483.269	0	0	49.100	2.428.000	4.581.697
1988	8.830	45.558	74.896	125.000	47.404	1.093.300	143.357	131.600	0	506.600	0	0	35.508	2.597.000	4.809.053
1989	8.450	42.723	105.825	106.202	28.434	1.245.900	144.269	70.200	0	341.700	0	0	27.476	2.253.000	4.374.179
1990	7.000	25.188	121.300	99.000	39.356	1.290.700	156.072	66.500	0	571.330	0	0	27.586	2.166.400	4.570.432
1991	2.283	20.833	113.900	89.000	20.426	1.235.600	170.477	31.400	0	581.836	0	0	37.501	1.986.200	4.289.456
Prod. Méd (1961-1991)	11.236	53.719	72.084	93.075	41.749	908.132	147.404	65.630	0	408.613	0	0	32.106	1.651.600	3.485.348
	0,3%	1,5%	2,1%	2,7%	1,2%	26,1%	4,2%	1,9%	0,0%	11,7%	0,0%	0,0%	0,9%	47,4%	100,0%

Anexo VI - Tratamento dos dados relativamente à produção de arroz na europa (1991-2010)

Tabela A-VI.1 - Tratamento dos dados referentes à produção de arroz em casca nos países europeus [5, 6]

Ano	Produção de Arroz, Paddy (ton)														Europa
	Principais países europeus produtores de arroz														
	Albânia	Bulgária	França	Grécia	Hungria	Itália	Portugal	Roménia	Rússia	Espanha	Rep.Macedónia	Ucrânia	Jugoslávia	USSR	
1992	960	14.499	125.400	106.000	15.041	1.271.580	109.704	38.900	753.630	552.600	42.698	91.762	0	0	3.122.774
1993	585	10.842	127.700	149.000	12.851	1.305.100	69.000	36.448	687.520	323.093	9.433	68.000	0	0	2.799.572
1994	0	3.076	124.000	142.000	15.059	1.360.520	131.741	15.229	523.200	407.600	8.713	79.000	0	0	2.810.138
1995	0	4.984	122.400	211.599	13.300	1.320.850	124.554	24.066	461.900	329.500	6.447	80.100	0	0	2.699.700
1996	0	8.832	115.100	222.000	7.009	1.424.000	172.230	23.100	389.060	734.000	22.274	82.046	0	0	3.199.651
1997	0	11.333	120.800	217.000	7.303	1.442.420	164.189	10.669	328.190	775.588	24.600	65.000	0	0	3.167.092
1998	0	10.277	107.300	189.000	7.647	1.393.520	161.774	5.142	412.750	796.300	22.663	63.600	0	0	3.169.973
1999	0	7.000	110.256	170.000	7.487	1.427.100	151.650	3.800	444.000	845.100	17.430	63.600	0	0	3.247.423
2000	0	16.784	115.958	140.000	11.255	1.229.770	142.611	3.600	585.750	827.051	18.433	89.700	0	0	3.180.912
2001	0	18.706	102.810	150.192	7.707	1.272.950	145.932	1.500	497.120	876.148	7.900	68.900	0	0	3.149.865
2002	0	17.955	105.227	166.000	9.768	1.371.100	145.905	600	489.990	818.920	8.860	75.400	0	0	3.209.725
2003	0	23.659	106.723	163.000	11.194	1.402.350	147.802	253	450.840	855.000	13.042	84.000	0	0	3.257.863
2004	0	28.116	115.110	188.417	9.595	1.523.440	149.255	4.963	471.060	883.131	14.676	80.400	0	0	3.468.163
2005	0	20.163	102.306	167.247	9.441	1.412.960	120.179	14.251	574.610	824.114	12.570	93.000	0	0	3.350.841
2006	0	20.008	94.782	179.166	7.801	1.419.130	147.196	18.420	680.610	724.351	13.949	99.500	0	0	3.404.913
2007	0	30.576	87.700	195.340	9.916	1.540.090	156.203	27.518	704.544	723.426	15.355	108.000	0	0	3.598.668
2008	0	38.645	111.523	208.800	9.985	1.388.900	150.680	48.917	738.300	665.200	16.140	100.700	0	0	3.477.790
2009	0	43.441	138.035	205.000	11.722	1.500.000	161.761	72.418	912.970	899.400	17.400	142.900	0	0	4.105.047
2010	0	56.000	118.500	229.500	8.200	1.638.400	170.216	61.588	1.060.660	926.400	25.700	148.000	0	0	4.443.164
Prod. Méd. (1991-2010)	81	20.258	113.244	178.908	10.120	1.402.325	143.294	21.652	587.721	725.627	16.752	88.611	0	0	3.308.593
	0,00%	0,61%	3,42%	5,41%	0,31%	42,38%	4,33%	0,65%	17,76%	21,93%	0,51%	2,68%	0,00%	0,00%	100,00%

Anexo VII - Análise comportamental da área de cultivo de arroz em Portugal no período de 1961-2010

Considera-se pertinente efectuar este estudo de forma a permitir uma análise comportamental da área de cultivo portuguesa para o período referido.

Assim sendo, em primeiro lugar obtiveram-se os dados a partir de [5, 6] e efectuou-se o seu tratamento a partir do programa *Microsoft Excel*, resultando num gráfico bidimensional (onde o eixo das ordenadas corresponde à área de cultivo e o eixo das abcissas corresponde ao período temporal da recolha de dados) apresentado na figura que se segue.

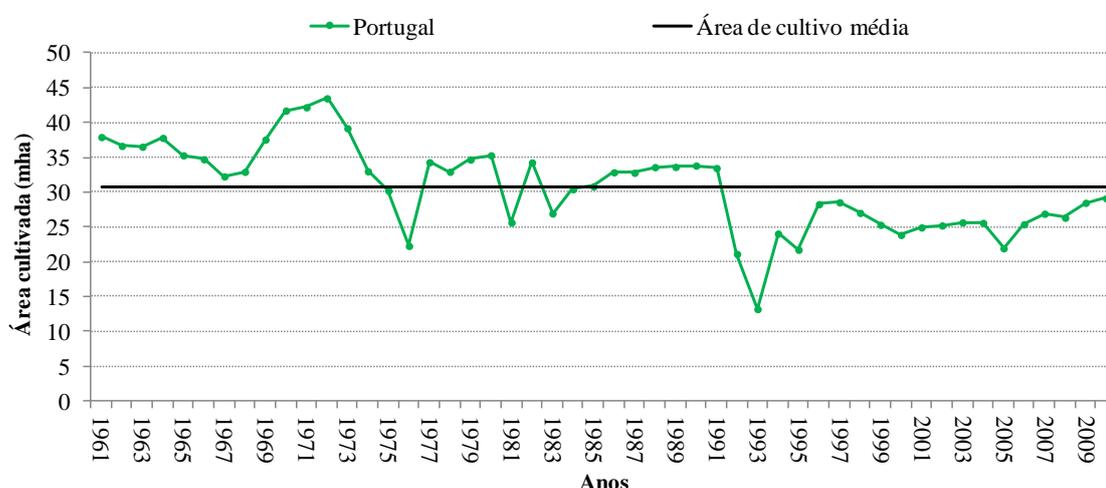


Figura A-VII.1 – Área de cultivo de arroz em Portugal entre 1961-2010

Tendo-se como objectivo analisar o gráfico obtido, se não for efectuada nenhuma modelação matemática pode apenas verificar-se que a área de cultivo de arroz apresenta um comportamento variável, havendo períodos relativamente curtos no aumento e diminuição da área de cultivo que não permitem definir um comportamento tendencial.

No sentido de permitir analisar o comportamento variável da área de cultivo do arroz no período referido optou-se por efectuar, com o auxílio do *Microsoft Excel*, uma aproximação dos valores obtidos a uma curva monótona do tipo polinómio de 6º grau a partir do método dos mínimos quadrados, obtendo-se o polinómio representado na figura que se segue.

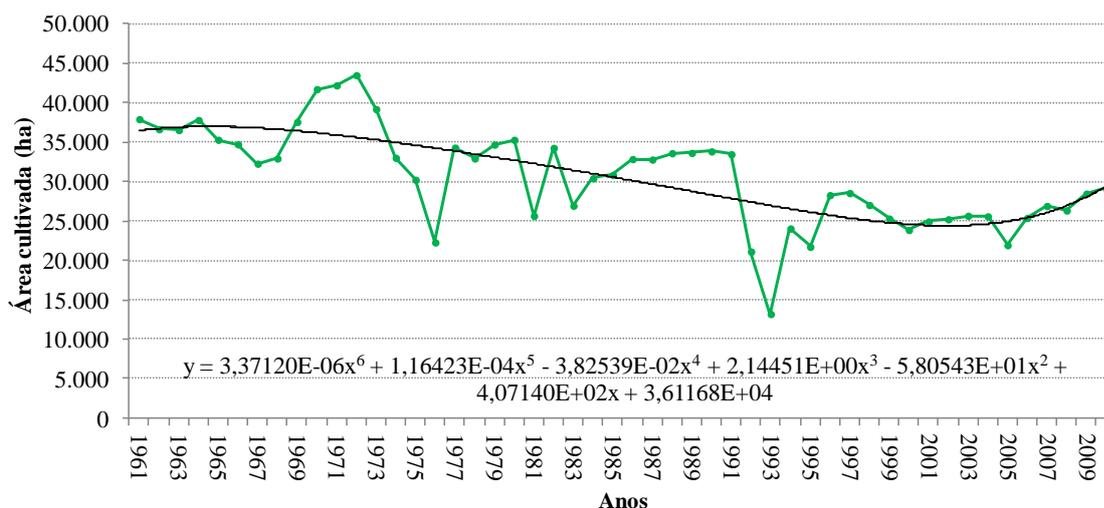


Figura A-VII.2 – Aproximação dos pontos obtidos a um polinómio de 6º grau

Pode, assim, verificar-se que existem períodos em que se dá um aumento ou uma diminuição da área cultivada de arroz. No entanto para determinar os períodos em que isso sucede torna-se necessário obter o valor máximo e mínimo do polinómio obtido:

$$y = (3,37120 \times 10^{-6})x^6 + (1,16423 \times 10^{-4})x^5 - (3,82539 \times 10^{-2})x^4 + 2,14451x^3 - 58,0543x^2 + 407,140x + 36117$$

Os valores obtidos para os 50 pontos são apresentados na tabela que se segue.

Tabela A-VII. 1 – Variação da área de cultivo em função do polinómio de 6º grau obtido

x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
1961	36117	1972	35890	1983	31832	1994	26943	2005	24599
1962	36468	1973	35594	1984	31406	1995	26514	2006	24909
1963	36716	1974	35277	1985	30974	1996	26103	2007	25379
1964	36871	1975	34941	1986	30537	1997	25716	2008	26033
1965	36944	1976	34590	1987	30093	1998	25360	2009	26897
1966	36946	1977	34225	1988	29646	1999	25042	2010	28000
1967	36885	1978	33848	1989	29194	2000	24773		
1968	36768	1979	33462	1990	28740	2001	24565		
1969	36605	1980	33066	1991	28285	2002	24428		
1970	36400	1981	32662	1992	27832	2003	24377		
1971	36160	1982	32250	1993	27383	2004	24428		

Pode, então, concluir-se que nos últimos 50 anos houve um decréscimo da área de cultivo de arroz entre 1966-2003 e dois períodos de crescimento entre 1961-1965 e 2004-2010.

A forma como se quantificaram percentualmente estes períodos de crescimento e decréscimo da área de cultivo de arroz foi a seguinte:

$$\% \text{ crescimento (1961 - 1966)} = \frac{y(1966)-y(1961)}{y(1961)} \times 100 = \frac{36946-36117}{36117} \times 100 = 2,3\%$$

$$\% \text{ crescimento (2003 - 2010)} = \frac{y(2010)-y(2003)}{y(2003)} \times 100 = \frac{28000-24377}{24377} \times 100 = 15\%$$

$$\% \text{ decréscimo (1967 - 2002)} = \frac{y(2002)-y(1967)}{y(1967)} \times 100 = \frac{24428-36885}{36885} \times 100 = 34\%$$

É importante salientar que para esta situação em particular poder-se-ia aproximar os pontos a um polinómio de grau inferior, no entanto obter-se-ia uma análise menos precisa. Considerou-se pertinente aproximar os pontos obtidos a um polinómio cuja precisão nos resultados obtidos fosse satisfatória face ao objectivo pretendido, ou seja, poderiam ter-se aproximado os pontos a um polinómio de grau superior a 6, no entanto o aumento da precisão obtida não se justificaria para o objectivo pretendido nesta análise.

Anexo VIII - Análise comportamental da produção de arroz em Portugal no período de 1961-2010

O procedimento efectuado para este caso é semelhante ao que se efectuou no Anexo VII.

Em primeiro lugar obtiveram-se os dados a partir das fontes mencionadas e efectuou-se o seu tratamento a partir do programa *Microsoft Excel*, resultando num gráfico bidimensional, onde o eixo das ordenadas corresponde à produção de arroz e o eixo das abcissas corresponde ao período temporal da recolha de dados, tal como representado na figura que se segue.

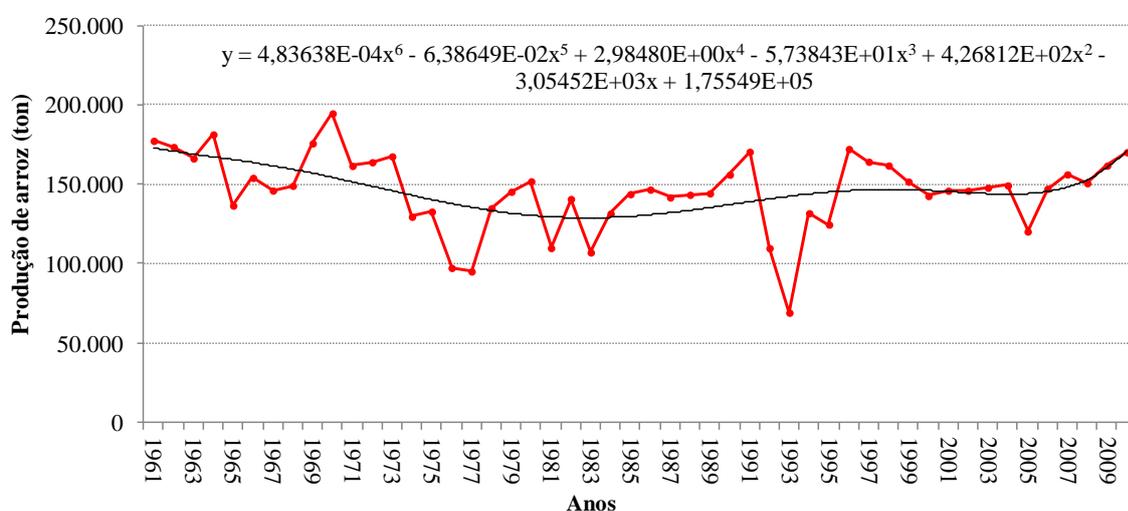


Figura A-VIII.1 - Aproximação dos pontos obtidos a um polinómio de 6º grau

À semelhança do caso anterior, a partir do polinómio obtido consegue verificar-se que existem períodos em que se dá um aumento e diminuição da produção de arroz. No entanto para se determinarem os períodos em que isso sucede torna-se necessário obter o valor máximo e mínimo do polinómio obtido:

$$y = (4,83638 \times 10^{-4})x^6 - (6,38649 \times 10^{-2})x^5 + 2,98480x^4 - 57,3843x^3 + 426,812x^2 - 3054,52x + 175549$$

Os valores obtidos para os 50 pontos apresentam-se na tabela que se segue.

Tabela A-VIII. 1 - Variação da produção de arroz em função do polinómio de 6º grau obtido

X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
1961	175549	1972	151487	1983	128804	1994	142291	2005	143622
1962	172867	1973	148641	1984	128693	1995	143750	2006	143937
1963	170734	1974	145769	1985	128981	1996	144950	2007	145253
1964	168904	1975	142936	1986	129646	1997	145839	2008	148018
1965	167188	1976	140209	1987	130652	1998	146384	2009	152771
1966	165447	1977	137653	1988	131953	1999	146574	2010	160145
1967	163586	1978	135330	1989	133490	2000	146422		
1968	161548	1979	133294	1990	135200	2001	145976		
1969	159308	1980	131593	1991	137011	2002	145319		
1970	156866	1981	130262	1992	138848	2003	144580		
1971	154246	1982	129328	1993	140633	2004	143936		

Pode, então, concluir-se que nos últimos 50 anos houve dois períodos de decréscimo da produção de arroz, entre 1961-1986 e 2000-2006, e dois períodos de crescimento entre 1987-1999 e 2007-2010.

A forma como se quantificaram percentualmente estes períodos de crescimento e decréscimo da área de cultivo de arroz foi a seguinte:

$$\% \text{ decréscimo (1961 - 1986)} = \frac{y(1986)-y(1961)}{y(1961)} \times 100 = \frac{129646-175549}{175549} \times 100 = 26\%$$

$$\% \text{ decréscimo (2000 - 2006)} = \frac{y(2006)-y(2000)}{y(2000)} \times 100 = \frac{143937-146422}{146422} \times 100 = 1\%$$

$$\% \text{ crescimento (1987 - 1999)} = \frac{y(1999)-y(1987)}{y(1987)} \times 100 = \frac{146574-130652}{130652} \times 100 = 12\%$$

$$\% \text{ crescimento (2007 - 2010)} = \frac{y(2010)-y(2007)}{y(2007)} \times 100 = \frac{160145-145253}{145253} \times 100 = 10\%$$

Anexo IX- Análise comportamental da produtividade de arroz em Portugal no período de 1961-2010

O procedimento efectuado para este caso é semelhante ao que se efectuou no Anexo VII e Anexo VIII.

Em primeiro lugar obtiveram-se os dados a partir de [5, 6] e efectuou-se o seu tratamento a partir do *software Microsoft Excel*, resultando num gráfico bidimensional, onde o eixo das ordenadas corresponde à produtividade de arroz e o eixo das abcissas corresponde ao período temporal da recolha de dados (Figura A-IX.1).

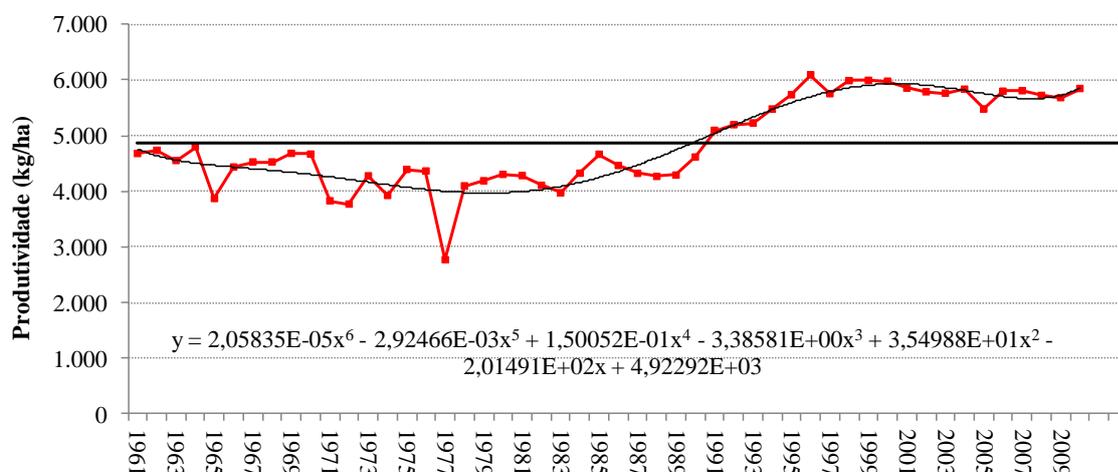


Figura A-IX.1 – Produtividade de cultivo de arroz em Portugal entre 1961-2010

À semelhança do caso anterior, a partir do polinómio obtido consegue verificar-se que existem períodos em que se dá um aumento ou diminuição da produtividade do cultivo de arroz. No entanto para se determinarem os períodos em que isso sucede torna-se necessário obter o valor máximo e mínimo do polinómio obtido:

$$y = (4,83638 \times 10^{-4})x^6 - (6,38649 \times 10^{-2})x^5 + 2,98480x^4 - 57,3843x^3 + 426,812x^2 - 3054,52x + 175549$$

Os valores obtidos para os 50 pontos encontram-se apresentados na tabela que se segue.

Tabela A-IX.1 - Variação da produtividade de arroz em função do polinómio de 6º grau obtido

x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
1961	4923	1972	4258	1983	4037	1994	5175	2005	5881
1962	4754	1973	4211	1984	4081	1995	5309	2006	5842
1963	4637	1974	4163	1985	4140	1996	5435	2007	5793
1964	4558	1975	4116	1986	4214	1997	5552	2008	5742
1965	4504	1976	4071	1987	4301	1998	5656	2009	5696
1966	4465	1977	4031	1988	4402	1999	5745	2010	5668
1967	4433	1978	3999	1989	4514	2000	5817		
1968	4404	1979	3977	1990	4637	2001	5869		
1969	4374	1980	3968	1991	4766	2002	5902		
1970	4339	1981	3973	1992	4901	2003	5914		
1971	4301	1982	3994	1993	5039	2004	5906		

Pode, então, concluir-se que nos últimos 50 anos se verificou um período de aumento da produtividade entre 1980-2004 e nos períodos de 1961-1979 e 2005-2010 se verificou uma diminuição na produtividade.

A forma como se quantificaram percentualmente estes períodos de aumento e diminuição da produtividade no cultivo do arroz foi a seguinte:

$$\% \text{ Decréscimo da produtividade (1961 - 1979)} = \frac{y(1979) - y(1961)}{y(1961)} \times 100 =$$

$$\frac{3977 - 4923}{4923} \times 100 = 26\%$$

$$\% \text{ Decréscimo da produtividade (2005 - 2010)} = \frac{y(2010) - y(2005)}{y(2005)} \times 100 =$$

$$\frac{5668 - 5881}{5881} \times 100 = 4\%$$

$$\% \text{ Aumento da produtividade (1980 - 2004)} = \frac{y(2004) - y(1980)}{y(1980)} \times 100 =$$

$$\frac{5906 - 3968}{3968} \times 100 = 49\%$$

Anexo X - Utilização do método dos mínimos quadrados para analisar a dependência existente entre a produção de arroz e a respectiva área cultivada

À primeira vista é difícil prever a dependência existente entre a produção de arroz e a respectiva área de cultivo, pelo que terá de ser efectuado a partir da ferramenta informática *Microsoft Excel* o método dos mínimos quadrados entre estas duas variáveis, de forma a determinar-se o factor de correlação respectivo e, consequentemente, a dependência entre ambas. Quanto mais próximo da unidade for o valor do coeficiente de correlação linear, mais fielmente a recta prevê o valor da produção, para qualquer valor referente á área cultivada [139, 140].

A relação entre a produção de arroz e a área cultivada em território nacional pode ser aproximada, com uma maior ou menor fiabilidade, por uma função linear do tipo:

$$P = m \times A + P_0 \quad , \quad (X.1)$$

onde o valor referente a **A** representa a área cultivada, **P** representa o valor relativo á produção de arroz e P_0 representa o valor referente à produção de arroz que não depende da área de cultivo. O declive da recta **m** é um parâmetro fundamental da equação visto que representa o coeficiente de afectação da área de cultivo relativamente à produção.

Na figura seguinte apresentam-se os pontos “Produção de arroz vs Área cultivada” e a recta obtida através do método dos mínimos quadrados, baseada nos 50 pontos correspondentes aos 50 anos.

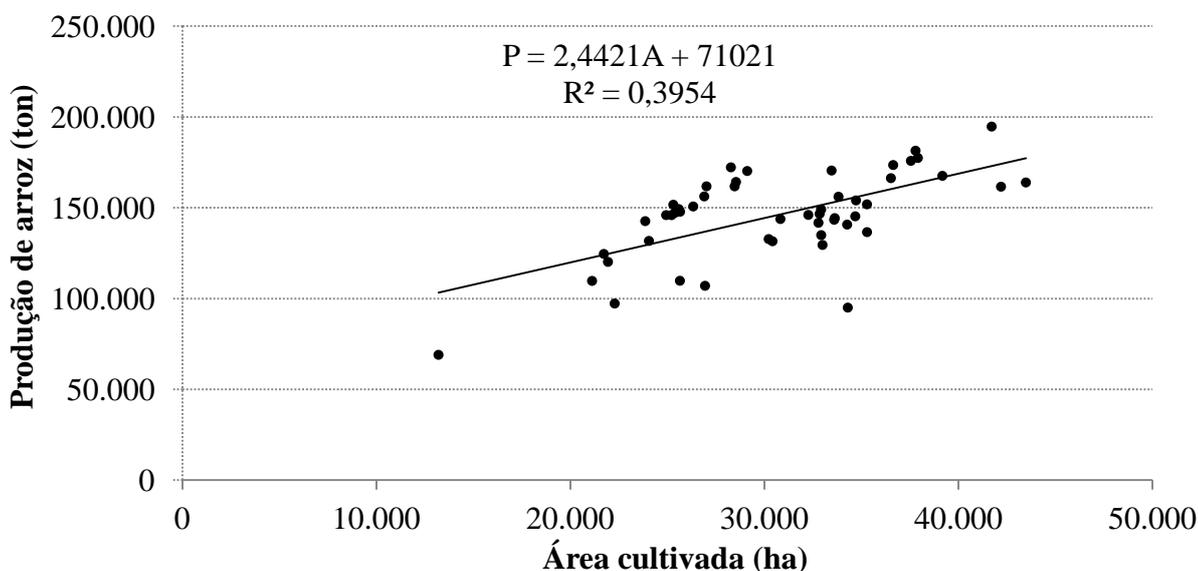


Figura A-X.1 – Aproximação dos pontos obtidos a uma função linear

A partir do factor de correlação obtido ($r=0,63$) pode concluir-se que a produção de arroz não depende apenas da área de cultivo, existindo outros factores responsáveis por um aumento ou diminuição da produção.

Anexo XI - Análise elementar de cascas de arroz da variedade *Euro*



[Autenticação] Instituto de Soldadura e Qualidade
2012.07.09 10:59
Aprovação electrónica
Documento certificado por LABQUI

LABQUI

Laboratório de Química e Ambiente
Acreditação IPAC n.º L0077-1 com endereço em Oeiras



Boletim de Análise

ISQ - Investigação e Desenvolvimento

Av. Prof. Dr. Cavaco Silva, 33 - Apartado 119
2781-951 EC Oeiras

Ref. LABQUI: 13567/12

BOL-LAB-0399/12-1.13567/12 Boletim Definitivo - Revisão 0

Identificação: Casca de Arroz

Divulgação: Confidencial

Tipo de amostra: Residuo

Recepção: 18-05-2012

Início da análise: 30-05-2012

Fim da análise: 30-05-2012

Emissão do boletim: 09-07-2012

Amostragem: Da responsabilidade do cliente

Tipo:

Início: —

Fim: —

Observações:

Ensaio / Norma	Resultado	Unidades	Limite de lei	VMR
Matéria Seca <i>EN 12880:2000</i>	90	% m/m	—	—
Cinzas [a] <i>Método Interno</i>	18	% m/m matéria seca	—	—
Enxofre [a] <i>PD.LABQUI-5.4/ R02: EdA, Rev.03</i>	$7,6 \times 10^2$	mg S/kg	—	—
Azoto [a] <i>PD.LABQUI-5.4/ R02: EdA, Rev.03</i>	$4,5 \times 10^3$	mg N/kg	—	—
Carbono [a] <i>PD.LABQUI-5.4/ R02: EdA, Rev.03</i>	$3,9 \times 10^5$	mg C/kg	—	—
Hidrogénio [a] <i>PD.LABQUI-5.4/ R02: EdA, Rev.03</i>	$4,8 \times 10^4$	mg H/kg	—	—

Observações:

Este boletim não pode ser reproduzido, excepto integralmente, sem autorização por escrito do ISQ. Os resultados deste boletim referem-se apenas aos produtos submetidos a ensaio, não constituindo aprovação ou reprovação dos produtos ensaiados.

VMA - Valor Máximo Admissível; VLE - Valor Limite de Emissão; VMR - Valor Máximo Recomendado; LQ - Limite de Quantificação.
O ensaio assinalado com [a] não está incluído no âmbito da acreditação.

[b] - Ensaio subcontratado acreditado (no âmbito da acreditação do subcontratado).

[c] - Ensaio subcontratado não incluído no âmbito da acreditação do subcontratado.

Limites de lei segundo: —

Responsável pela emissão de resultados

Carla Caetano
Responsável Técnica

'EN' indica European Normalization, 'PD.LABQUI *' indica método interno do laboratório baseado nos doc. normativos se indicados.

Página 1 de 1

instituto de soldadura
e qualidade

labqui@isq.pt

www.isq.pt

Lisboa: Av. Prof. Cavaco Silva, 33 - Taguspark - 2740-120 Oeiras Portugal
Tels.: +351 214 229 065/214 229 420 Fax: +351 214 228 104

Porto: R. do Mirante, 258 4415-491 Grijó Portugal
Tels.: +351 227 471 910/50 Fax: +351 227 471 919/227 455 778

LABQUI/Mod. 67/05

Figura A-XI. 1 – Boletim de Análise das cascas de arroz correspondentes à variedade Euro [2]

Anexo XII- Análise elementar de cascas de arroz da variedade *Ariete*



[Autenticação] Instituto de Soldadura e Qualidade
2012.08.06 12:26
Aprovação electrónica
Documento certificado por LABQUI

LABQUI

Laboratório de Química e Ambiente
Acreditação IPAC n.º L0077-1 com endereço em Deiras



Boletim de Análise

ISQ - Investigação e Desenvolvimento

Av. Prof. Dr. Cavaco Silva, 33 - Apartado 119
2781-951 EC Deiras

Ref. LABQUI: 14081/12

BOL-LAB-0399/12-1.14081/12 Boletim Definitivo - Revisão 0

Identificação: Casca de Arroz - ARIETE (Líder dos Carolinos)

Divulgação: Confidencial

Tipo de amostra: Resíduo

Recepção: 11-07-2012

Início da análise: 11-07-2012

Fim da análise: 30-07-2012

Emissão do boletim: 06-08-2012

Amostragem: Da responsabilidade do cliente

Tipo:

Início: —

Fim: —

Observações:

Ensaio / Norma	Resultado	Unidades	Limite de lei	VMR
Silica [a] <i>Método Interno</i>	11	% SiO ₂	—	—
Matéria Seca <i>EN 12680:2000</i>	91	% m/m	—	—
Cinzas [a] <i>Método Interno</i>	13	% matéria seca	—	—
Enxofre [a] <i>PO.LLABQUI-5.4/ RQ2: Ed.A, Rev.03</i>	1,0 x 10 ³	mg S/kg	—	—
Azoto [a] <i>PO.LLABQUI-5.4/ RQ2: Ed.A, Rev.03</i>	4,1 x 10 ³	mg N/kg	—	—
Carbono [a] <i>PO.LLABQUI-5.4/ RQ2: Ed.A, Rev.03</i>	3,8 x 10 ⁵	mg C/kg	—	—
Hidrogénio [a] <i>PO.LLABQUI-5.4/ RQ2: Ed.A, Rev.03</i>	5,3 x 10 ⁴	mg H/kg	—	—

Observações:

Este boletim não pode ser reproduzido, excepto integralmente, sem autorização por escrito do ISQ. Os resultados deste boletim referem-se apenas aos produtos submetidos a ensaio, não constituindo aprovação ou reprovação dos produtos ensaiados.

VMA - Valor Máximo Admissível; VLE - Valor Limite de Emissão; VMR - Valor Máximo Recomendado; LG - Limite de Quantificação.

O ensaio assinalado com [a] não está incluído no âmbito da acreditação.

[b] - Ensaio subcontratado acreditado (no âmbito da acreditação do subcontratado).

[c] - Ensaio subcontratado não incluído no âmbito da acreditação do subcontratado.

Limites de lei segundo: —

Responsável pela emissão de resultados

Carla Caetano
Responsável Técnica

'EN' indica European Normalization, 'PO.LLABQUI **' indica método interno do laboratório baseado nos doc. normativos ea indicados.

Página 1 de 1

Instituto de soldadura
e qualidade

Lisboa: Av. Prof. Cavaco Silva, 33 - Taguspark - 2740-120 Deiras Portugal
Tel.: +351 214 229 085/214 229 420 Fax: +351 214 229 104

labqui@isq.pt

www.isq.pt

Porto: R. do Mirante, 250 4415-451 Grijó Portugal
Tel.: +351 227 471 910/50 Fax: +351 227 471 919/227 455 778

LABQUI/Mod. 87/05

Figura A-XII. 1 - Boletim de Análise das cascas de arroz correspondentes à variedade Ariete [2]

Anexo XIII- Análise elementar de cascas de arroz da variedade *Albatroz*



LABQUI ONLINE
2013.11.13 11:46

LABQUI

Laboratório de Química e Ambiente
Acreditação IPAC n.º L0077-1 com endereço em Deiras



Boletim de Análise

ISQ - Investigação e Desenvolvimento

Av. Prof. Dr. Cavaco Silva, 33 - Apartado 119
2781-951 EC Oeiras

Ref. LABQUI: 16359/12

BOL-LAB-0399/12-1.16359/12 Boletim Definitivo - Revisão 0

Identificação: Albatroz

Divulgação: Confidencial

Tipo de amostra: Resíduo

Recepção: 22-08-2012

Início da análise: 24-08-2012

Fim da análise: 31-08-2012

Emissão do boletim: 11-09-2012

Amostragem: Da responsabilidade do cliente

Tipo: Pontual

Início: —

Fim: —

Observações:

Ensaio / Norma	Resultado	Unidades	Limite de lei	VMR
Silica [a] <i>Método Interno</i>	12	% SiO ₂	—	—
Matéria Seca <i>EN 12880:2000</i>	92	% m/m	—	—
Cinzas [a] <i>Método Interno</i>	14	%	—	—
Enxofre [a] <i>PO.L.LABQUI-5.4/ RD2: Ed.A, Rev.03</i>	9,0 x 10 ²	mg S/kg	—	—
Azoto [a] <i>PO.L.LABQUI-5.4/ RD2: Ed.A, Rev.03</i>	5,1 x 10 ³	mg N/kg	—	—
Carbono [a] <i>PO.L.LABQUI-5.4/ RD2: Ed.A, Rev.03</i>	3,4 x 10 ⁵	mg C/kg	—	—
Hidrogénio [a] <i>PO.L.LABQUI-5.4/ RD2: Ed.A, Rev.03</i>	5,2 x 10 ⁴	mg H/kg	—	—

Observações:

Este boletim não pode ser reproduzido, excepto integralmente, sem autorização por escrito do ISQ. Os resultados deste boletim referem-se apenas aos produtos submetidos a ensaio, não constituindo aprovação ou reprovação dos produtos ensaiados.

VMA - Valor Máximo Admissível; VLE - Valor Limite de Emissão; VMR - Valor Máximo Recomendado; LQ - Limite de Quantificação.
O ensaio assinalado com [a] não está incluído no âmbito da acreditação.

[b] - Ensaio subcontratado acreditado (no âmbito da acreditação do subcontratado).

[c] - Ensaio subcontratado não incluído no âmbito da acreditação do subcontratado.

Limites de lei segundo: —

Responsável pela emissão de resultados

Carla Caetano
Responsável Técnica

'EN' indica European Normalization, 'PO.L-LABQUI **' indica método interno do laboratório baseado, se indicado, no(s) documento(s) normativo(s).

Página 1 de 1

instituto de soldadura
e qualidade

labqui@isq.pt

www.isq.pt

Lisboa: Av. Prof. Cavaco Silva, 33 - Taguspark - 2740-120 Oeiras - Portugal
Tels.: +351 214 229 085/214 229 420 Fax: +351 214 229 104

Porto: R. do Mirante, 258 - 4415-451 Grijó - Portugal
Tels.: +351 227 471 810/50 Fax: +351 227 471 818/227 455 778

LABQUI/Mod. 87/05

Figura A-XIII.1 - Boletim de Análise das cascas de arroz correspondentes à variedade *Albatroz* [2]

Anexo XIV- Análise elementar de cascas de arroz da variedade *Gládio*



[Autenticação] Instituto de Soldadura e Qualidade
2012.08.06 12:27
Aprovação electrónica
Documento certificado por LABQUI

LABQUI

Laboratório de Química e Ambiente
Acreditação IPAC n.º L0077-1 com endereço em Oeiras



Boletim de Análise

ISQ - Investigação e Desenvolvimento

Av. Prof. Dr. Cavaco Silva, 33 - Apartado 119
2781-951 EC Oeiras

Ref. LABQUI: 14082/12

BOL-LAB-0399/12-1.14082/12 Boletim Definitivo - Revisão 0

Identificação: Casca de Arroz - Celádio (N.º 1 dos Agulhas)

Divulgação: Confidencial

Tipo de amostra: Resíduo

Recepção: 11-07-2012

Início da análise: 11-07-2012

Fim da análise: 30-07-2012

Emissão do boletim: 06-08-2012

Amostragem: Da responsabilidade do cliente

Tipo:

Início: —

Fim: —

Observações:

Ensaio / Norma	Resultado	Unidades	Limite de lei	VMR
Silica [a] <i>Método Interno</i>	11	% SiO ₂	—	—
Matéria Seca <i>EN 12880:2000</i>	91	% m/m	—	—
Cinzas [a] <i>Método Interno</i>	13	% matéria seca	—	—
Enxofre [a] <i>PO.L.LABQUI-5.4/ RD2: Ed.A, Rev.03</i>	6,0 x 10 ²	mg S/kg	—	—
Azoto [a] <i>PO.L.LABQUI-5.4/ RD2: Ed.A, Rev.03</i>	3,5 x 10 ³	mg N/kg	—	—
Carbono [a] <i>PO.L.LABQUI-5.4/ RD2: Ed.A, Rev.03</i>	4,0 x 10 ⁵	mg C/kg	—	—
Hidrogénio [a] <i>PO.L.LABQUI-5.4/ RD2: Ed.A, Rev.03</i>	5,3 x 10 ⁴	mg H/kg	—	—

Observações:

Este boletim não pode ser reproduzido, excepto integralmente, sem autorização por escrito do ISQ. Os resultados deste boletim referem-se apenas aos produtos submetidos a ensaio, não constituindo aprovação ou reprovação dos produtos ensaiados.

VMA - Valor Máximo Admissível; VLE - Valor Limite de Emissão; VMR - Valor Máximo Recomendado; LQ - Limite de Quantificação.

O ensaio assinalado com [a] não está incluído no âmbito da acreditação.

[b] - Ensaio subcontratado acreditado (no âmbito da acreditação do subcontratado).

[c] - Ensaio subcontratado não incluído no âmbito da acreditação do subcontratado.

Limites de lei segundo: —

Responsável pela emissão de resultados

Carla Caetano
Responsável Técnica

'EN' indica European Normalization, 'PO.L.LABQUI **' indica método interno do laboratório baseado nos doc. normativos se indicados.

Página 1 de 1

Instituto de soldadura
e qualidade

Lisboa: Av. Prof. Cavaco Silva, 33 - Taguspark - 2740-120 Oeiras Portugal
Tels.: +351 214 229 085/214 229 420 Fax: +351 214 229 104

labqui@isq.pt

www.isq.pt

Porto: R. do Mirante, 259 4415-481 Grijó Portugal
Tels.: +351 227 471 810/50 Fax: +351 227 471 818/227 455 770

LABQUI/Mod. 87/05

Figura A-XIV. 1 - Boletim de Análise das cascas de arroz correspondentes à variedade *Gládio* [2]

Anexo XV - Cálculos efectuados na quantificação do poder calorífico superior das diversas variedades de cascas de arroz nacionais e internacionais

$$PCS_{Albatroz} = \frac{1}{100} \left[(8080 \times 34) + 34500 \left(5,2 - \frac{35}{8} \right) + (2240 \times 0,09) \right] = 3024 \text{ kcal/kg}$$

$$PCS_{Euro} = \frac{1}{100} \left[(8080 \times 39) + 34500 \left(4,8 - \frac{35}{8} \right) + (2240 \times 0,08) \right] = 3300 \text{ kcal/kg}$$

$$PCS_{Ariete} = \frac{1}{100} \left[(8080 \times 38) + 34500 \left(5,3 - \frac{35}{8} \right) + (2240 \times 0,01) \right] = 3390 \text{ kcal/kg}$$

$$PCS_{Gladio} = \frac{1}{100} \left[(8080 \times 40) + 34500 \left(5,3 - \frac{35}{8} \right) + (2240 \times 0,06) \right] = 3552 \text{ kcal/kg}$$

$$PCS_A = \frac{1}{100} \left[(8080 \times 38,70) + 34500 \left(5,0 - \frac{36,00}{8} \right) + (2240 \times 0,10) \right] = 3302 \text{ kcal/kg}$$

$$PCS_B = \frac{1}{100} \left[(8080 \times 38,92) + 34500 \left(5,1 - \frac{31,95}{8} \right) \right] = 3533 \text{ kcal/kg}$$

$$PCS_C = \frac{1}{100} \left[(8080 \times 40,96) + 34500 \left(4,3 - \frac{35,98}{8} \right) + (2240 \times 0,02) \right] = 3242 \text{ kcal/kg}$$

$$PCS_D = \frac{1}{100} \left[(8080 \times 38,50) + 34500 \left(5,7 - \frac{39,80}{8} \right) \right] = 3361 \text{ kcal/kg}$$

$$PCS_E = \frac{1}{100} \left[(8080 \times 38,10) + 34500 \left(4,7 - \frac{29,30}{8} \right) + (3439 \times 0,10) \right] = 3552 \text{ kcal/kg}$$

Anexo XVI - Cálculos efectuados na quantificação do poder calorífico inferior das diversas variedades de cascas de arroz nacionais e internacionais

$$PCI_{Albatros} = 3034 - \left(\frac{9 \times 5,2}{100} \times 587 \right) = 2759 \text{ kcal/kg}$$

$$PCI_{Euro} = 3300 - \left(\frac{9 \times 4,8}{100} \times 587 \right) = 3046 \text{ kcal/kg}$$

$$PCI_{Ariete} = 3390 - \left(\frac{9 \times 5,3}{100} \times 587 \right) = 3110 \text{ kcal/kg}$$

$$PCI_{Gladio} = 3552 - \left(\frac{9 \times 5,3}{100} \times 587 \right) = 3272 \text{ kcal/kg}$$

$$PCI_A = 3302 - \left(\frac{9 \times 5,0}{100} \times 587 \right) = 3038 \text{ kcal/kg}$$

$$PCI_B = 3533 - \left(\frac{9 \times 5,1}{100} \times 587 \right) = 3263 \text{ kcal/kg}$$

$$PCI_C = 3242 - \left(\frac{9 \times 4,3}{100} \times 587 \right) = 3015 \text{ kcal/kg}$$

$$PCI_D = 3361 - \left(\frac{9 \times 5,7}{100} \times 587 \right) = 3060 \text{ kcal/kg}$$

$$PCI_E = 3552 - \left(\frac{9 \times 4,7}{100} \times 587 \right) = 3190 \text{ kcal/kg}$$

Anexo XVII - Determinação da capacidade das diversas unidades de conversão energética

Com base nos dados recolhidos no trabalho de campo efectuado foi feita uma média dos valores de cascas de arroz geradas em cada uma das unidades fabris correspondentes a cada tipologia.

Tabela A-XVII.1 – Quantidade de cascas de arroz geradas em cada tipologia de fábrica

Tipologia	Quantidade de cascas gerada (ton/ano)
A	7631
B	7500
C	2023

Conhecendo o regime de funcionamento de cada uma das unidades fabris representativa de cada tipologia pode quantificar-se a capacidade das respectivas unidades de conversão energética da seguinte forma:

$$\text{Funcionamento}(h/\text{ano}) = 9h/\text{dia} \times 251\text{dias}/\text{ano} = 2259 h/\text{ano}$$

$$\text{Capacidade}(\text{ton}/\text{ano}) = \frac{\text{Quantidade de cascas gerada}(\text{ton}/\text{ano})}{\text{Funcionamento}(h/\text{ano})}$$

$$\text{Capacidade}_A(\text{ton}/\text{ano}) = \frac{7631}{2259} = 3,4 \text{ ton}/h$$

$$\text{Capacidade}_B(\text{ton}/\text{ano}) = \frac{7500}{2259} = 3,3 \text{ ton}/h$$

$$\text{Capacidade}_C(\text{ton}/\text{ano}) = \frac{2023}{2259} = 0,9 \text{ ton}/h$$

Após estes cálculos e pressupostos iniciais contactaram-se alguns fabricantes de unidades de densificação e gaseificação, através do qual indicou-se todo o tipo de informação solicitada, tal como se apresenta de seguida os principais parâmetros solicitados.

Capacidade desejada: 1 ton/h e 3,5 ton/h

Tipo de biomassa a explorar: cascas de arroz *in natura* (prensa de extrusão) e pellets de casca de arroz (gaseificador)

Humidade: 14%

Diâmetro do pellet: 8 mm

Comprimento do pellet: 5-50 mm

Após fornecer os dados solicitados a alguns fabricantes foi recebida a informação de que a capacidade apresentada para a tipologia C é muito baixa face às gamas que se comercializam para equipamentos de exploração de biomassa. Assim, foram apresentadas soluções para as capacidades mínimas de 3-4 ton/h (o próprio equipamento possibilita o ajuste da capacidade no intervalo mencionado). Optou-se por trabalhar com estes valores havendo consciência de que em certos casos os equipamentos estarão sobredimensionados (cenário 2 e 4) e em outros casos irá proceder-se ao subdimensionamento dos equipamentos (cenário 1 e 3)

Em conclusão, as capacidades consideradas para cada uma das tipologias são as seguintes:

Tabela A-XVII. 2 – Capacidades estimadas para cada um dos equipamentos de conversão energética

Tipologia	Capacidade(ton/h)
A	4
B	4
C	3

Anexo XVIII - Quantificação da eficiência eléctrica das várias centrais termoeléctricas propostas

Para determinar-se a eficiência eléctrica das várias centrais termoeléctricas propostas para cada caso é necessário conhecer o diagrama de carga horário para cada tipologia após a implementação das soluções.

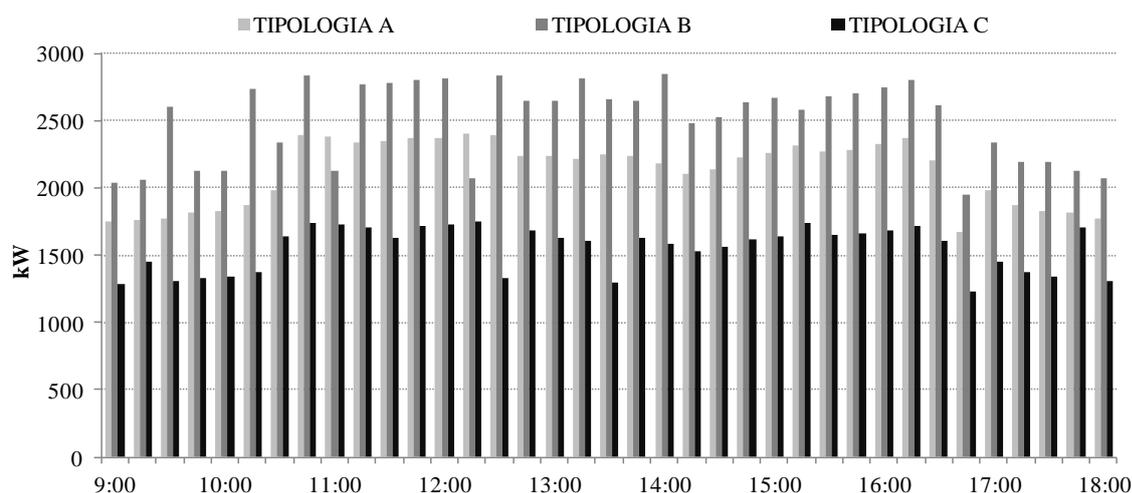


Figura A-XVIII.1 – Diagramas de carga geral para um dia típico de cada fábrica

A partir de cada um dos diagramas de carga representativos do funcionamento das várias unidades fabris pode retirar-se a potência média diária requerida.

Tabela A-XVIII.1 – Potência eléctrica média diária para cada tipologia de fábrica

Tipologias	Potência média diária [kW]
A	2.125
B	2.504
C	1.549

Cada um dos principais equipamentos das centrais termoeléctricas (turbinas, motores de combustão interna, etc) terá de possuir uma capacidade nominal mínima equivalente à potência de pico verificada nos diagramas de carga obtidos. Por conseguinte, a partir do diagrama de carga apresentado anteriormente é possível constatar que, face ao perfil de consumos verificado, as centrais termoeléctricas irão funcionar num regime de carga intermitente. Como consequência disso a eficiência eléctrica irá variar em função da potência solicitada portanto considerou-se uma eficiência eléctrica média diária que foi obtida a partir das potências médias diárias, tal como será explicado de seguida.

- Centrais termoeléctricas convencionais com turbina a vapor

Na Tabela A-XVIII.2 apresentam-se alguns valores típicos de eficiências eléctricas de centrais termoeléctricas equipadas com turbinas a vapor com capacidades nominais compreendidas entre 500 e 15000 kW.

Tabela A-XVIII.2 – Eficiências eléctricas de turbinas a vapor em função das suas capacidades [97]

Características técnicas¹³	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3
Capacidade nominal (kW)	500	3000	15000
Eficiência eléctrica da central (%) ¹⁴	9,1	10,3	16,4

A capacidade nominal necessária das centrais termoeléctricas para as tipologias em questão encontra-se entre o intervalo de 500 kW e 3000 kW onde a variação da eficiência eléctrica é baixa, nomeadamente 9,1% e 10,3%. Devido à impossibilidade de obter valores directamente a partir da figura anterior torna-se necessário recorrer ao método dos mínimos quadrados por intermédio do Microsoft Excel de forma a criar uma equação representativa da variação de cada um dos três pontos obtidos.

A partir da Tabela A-XVIII.2 apresentada anteriormente pode constatar-se que a eficiência eléctrica de uma central termoeléctrica com turbina a vapor varia logaritmicamente com a sua potência nominal. Porém, neste caso irá considerar-se que para o intervalo em causa a eficiência eléctrica irá apresentar uma variação linear em função da capacidade nominal, caso contrário obter-se-iam valores superiores a 10,3% devido à obtenção de um factor de correlação inferior a 1 na aproximação dos pontos a uma equação logarítmica.

¹³ A presente tabela é uma adaptação da tabela original relativamente à fonte bibliográfica correspondente.

¹⁴ Valor referente ao poder calorífico inferior do combustível.

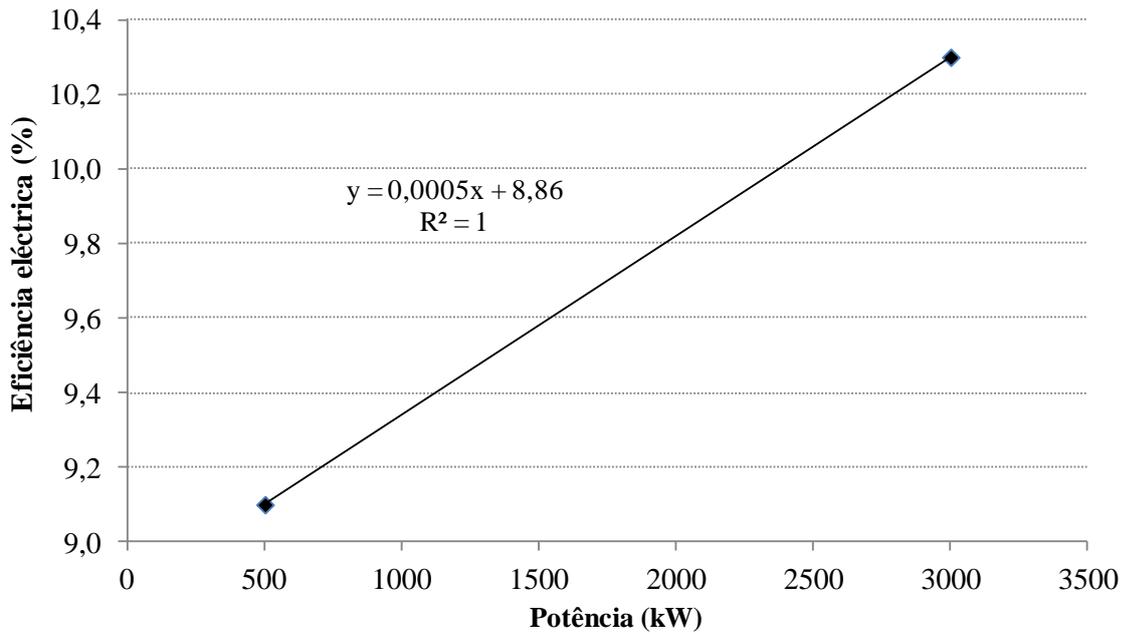


Figura A-XVIII.2 – Aproximação dos pontos obtidos a uma equação linear

A partir da equação linear obtida pode quantificar-se com alguma aproximação a eficiência eléctrica média de cada uma das centrais termoeléctricas com turbina a vapor para as tipologias correspondentes:

$$\varepsilon_{eléctrica A} = (0,0005 \times 2125) + 8,86 = 9,9\%$$

$$\varepsilon_{eléctrica B} = (0,0005 \times 2504) + 8,86 = 10,1\%$$

$$\varepsilon_{eléctrica C} = (0,0005 \times 1549) + 8,86 = 9,6\%$$

- Centrais termoeléctricas convencionais com turbina a gás

Na Tabela A-XVIII.3 apresentam-se alguns valores típicos de eficiências eléctricas de centrais termoeléctricas equipadas com turbinas a gás com capacidades nominais compreendidas entre 1000 e 40000 kW.

Tabela A-XVIII.3 - Eficiências eléctricas de turbinas a gás em função das suas capacidades [97]

Características técnicas¹⁵	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4	Sistema 5
Capacidade nominal (kW)	1000	5000	10000	25000	40000
Eficiência eléctrica da central (%) ¹⁶	24,3	30,1	32,2	38,0	41,0

Tal como no caso anterior, devido à impossibilidade de se obter valores directamente a partir da figura anterior torna-se necessário recorrer ao método dos mínimos quadrados por intermédio do Microsoft Excel de forma a criar uma equação representativa da variação de cada um dos cinco pontos obtidos.

A partir dos pontos obtidos pode constatar-se que a eficiência eléctrica de uma central termoeléctrica varia logaritmicamente com a sua capacidade nominal, portanto irá recorrer-se a uma aproximação dos pontos obtidos a uma equação logarítmica de forma a poder ser utilizada para obter as eficiências eléctricas das centrais relativamente às capacidades nominais correspondentes.

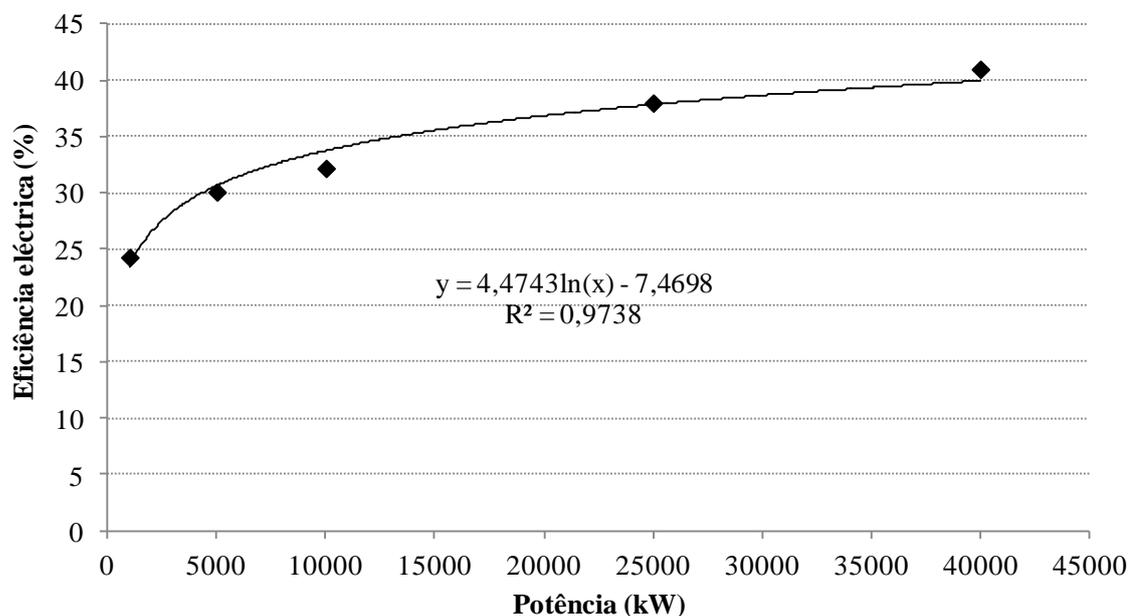


Figura A-XVIII.3 - Aproximação dos pontos obtidos a uma equação logarítmica

¹⁵ A presente tabela é uma adaptação da tabela original relativamente à fonte bibliográfica correspondente.

¹⁶ Valor referente ao poder calorífico inferior do combustível.

A partir da equação logarítmica obtida pode quantificar-se com alguma aproximação a eficiência eléctrica de cada uma das centrais termoeléctricas com turbina a gás para as tipologias correspondentes visto que o factor de correlação obtido foi significativamente alto.

$$\varepsilon_{eléctrica A} = 4,4743 \times \ln (2125) - 7,4698 = 26,8\%$$

$$\varepsilon_{eléctrica B} = 4,4743 \times \ln (2504) - 7,4698 = 27,5\%$$

$$\varepsilon_{eléctrica C} = 4,4743 \times \ln (1549) - 7,4698 = 25,4\%$$

- Centrais termoeléctricas convencionais com motores de combustão interna

Na Tabela A-XVIII.4 apresentam-se alguns valores típicos de eficiências eléctricas de centrais termoeléctricas equipadas com motores de combustão interna com capacidades nominais compreendidas entre 100 e 5000 kW.

Tabela A-XVIII.4 - Eficiências eléctricas de motores de combustão interna em função das suas capacidades [97]

Características técnicas¹⁷	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4	Sistema 5
Capacidade nominal (kW)	100	300	1000	3000	5000
Eficiência eléctrica da central (%) ¹⁸	33	34	38	39	41

O raciocínio efectuado neste caso é igual ao do caso anterior, portanto apresenta-se de seguida a equação logarítmica obtida por intermédio do *software Microsoft Excel*.

¹⁷ A presente tabela é uma adaptação da tabela original relativamente à fonte bibliográfica correspondente.

¹⁸ Valor referente ao poder calorífico inferior do combustível.

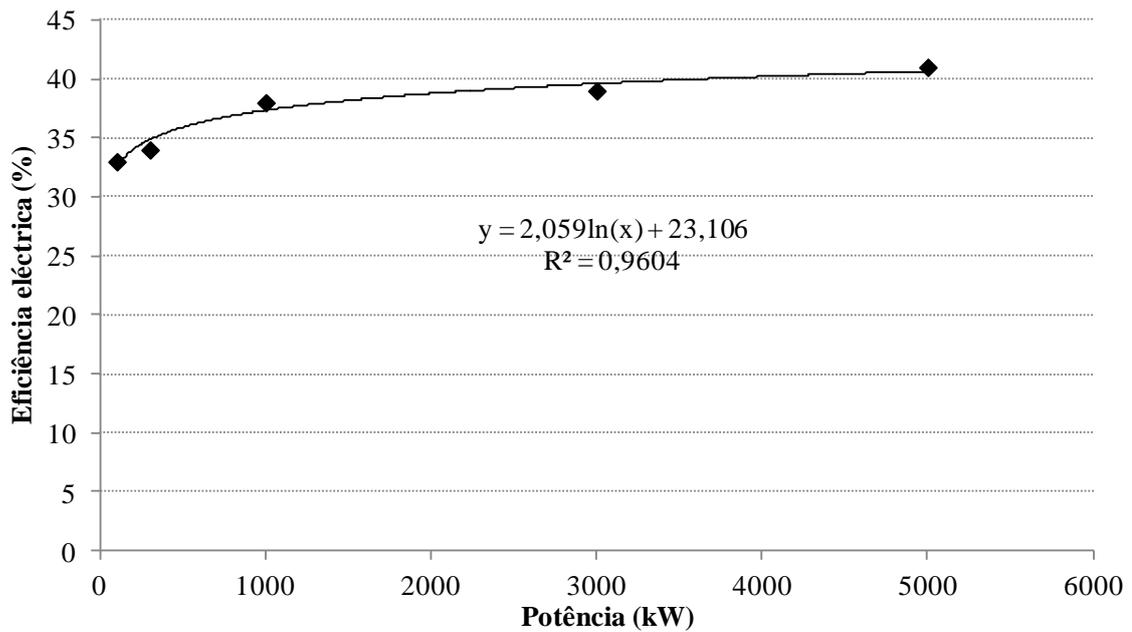


Figura A-XVIII.4 - Aproximação dos pontos obtidos a uma equação logarítmica

A partir da equação logarítmica obtida pode quantificar-se com alguma aproximação a eficiência eléctrica de cada uma das centrais termoeléctricas equipadas com motores de combustão interna para as tipologias correspondentes visto que o factor de correlação obtido foi significativamente alto.

$$\varepsilon_{eléctrica A} = 2,059 \times \ln(2125) + 23,106 = 38,9\%$$

$$\varepsilon_{eléctrica B} = 2,059 \times \ln(2504) + 23,106 = 39,2\%$$

$$\varepsilon_{eléctrica C} = 2,059 \times \ln(1549) + 23,106 = 38,2\%$$

- Centrais termoeléctricas de ciclo combinado com turbina a gás

Na Tabela A-XVIII.5 apresentam-se alguns valores típicos de eficiências eléctricas de centrais termoeléctricas de ciclo combinado equipadas com turbinas a gás e turbinas a vapor com capacidades nominais compreendidas entre 10 e 400 MW.

Tabela A-XVIII.5 - Eficiências eléctricas de centrais de ciclo combinado em função das suas capacidades [97]

Características técnicas¹⁹	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3
Capacidade nominal (kW)	10	100	400
Eficiência eléctrica da central (%) ²⁰	41	55	58

O raciocínio efectuado neste caso é igual ao dos casos anteriores, portanto apresenta-se de seguida a equação logarítmica obtida por intermédio do *software Microsoft Excel*.

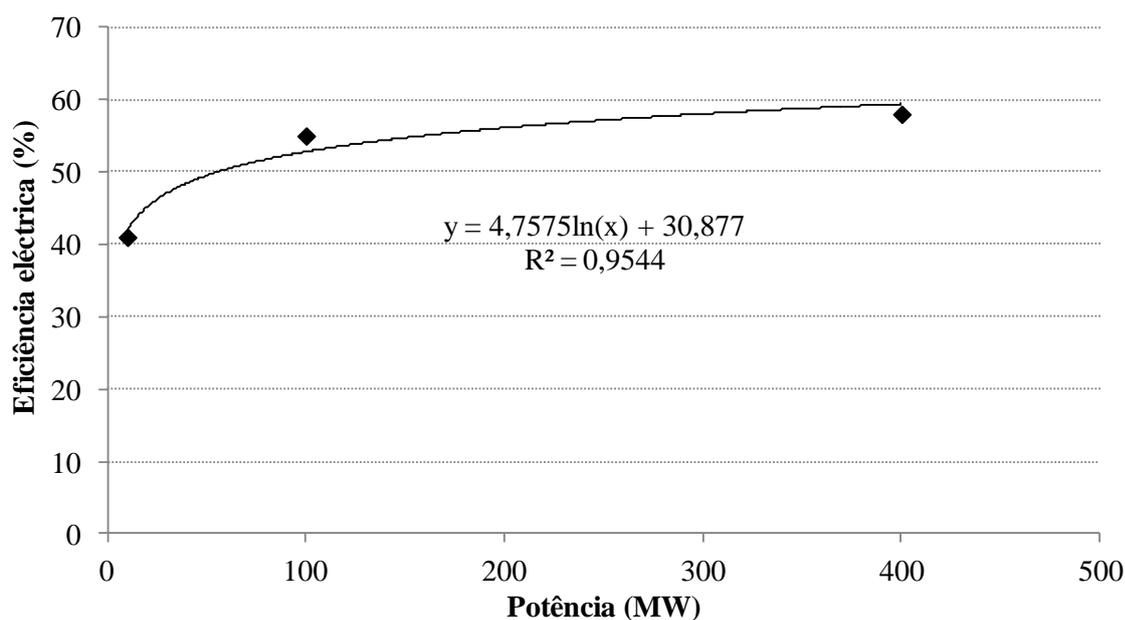


Figura A-XVIII.5 - Aproximação dos pontos obtidos a uma equação logarítmica

A partir da equação logarítmica obtida pode quantificar-se com alguma aproximação a eficiência eléctrica de cada uma das centrais termoeléctricas de ciclo combinado equipadas com turbinas a gás e vapor para as tipologias correspondentes visto que o factor de correlação obtido foi significativamente alto.

¹⁹ A presente tabela é uma adaptação da tabela original relativamente à fonte bibliográfica correspondente.

²⁰ Valor referente ao poder calorífico inferior do combustível.

$$\varepsilon_{el\u00e9ctrica A} = 4,7575 \times \ln(2125) + 30,877 = 34,5\%$$

$$\varepsilon_{el\u00e9ctrica B} = 4,7575 \times \ln(2504) + 30,877 = 35,2\%$$

$$\varepsilon_{el\u00e9ctrica C} = 4,7575 \times \ln(1549) + 30,877 = 33,0\%$$

Anexo XIX - Quantificação da eficiência térmica das várias centrais termoeléctricas com cogeração propostas

A eficiência térmica de cada uma das centrais irá variar em função da sua capacidade que por sua vez é definida a partir da quantidade de energia eléctrica produzida diariamente. Assim, com base na potência média diária de funcionamento de cada central de cogeração é possível determinar a sua eficiência global.

- Centrais termoeléctricas de cogeração com turbina a vapor

Na Tabela A-XIX.1 apresentam-se alguns valores típicos de eficiências globais de centrais termoeléctricas de cogeração equipadas com turbinas a vapor com capacidades nominais compreendidas entre 500 e 15000 kW.

Tabela A-XIX.1 - Eficiências globais de centrais de cogeração com turbinas a vapor [97]

Características técnicas²¹	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3
Capacidade nominal (kW)	500	3000	15000
Eficiência global da central (%) ²²	79,6	79,5	79,7

A capacidade nominal necessária das centrais termoeléctricas para as tipologias de fábricas em questão encontra-se entre o intervalo de 500 kW e 3000 kW e como a variação das eficiências globais nesse intervalo é muito reduzida irá considerar-se o valor mais próximo das capacidades de cada uma das centrais em análise, nomeadamente 79,5% e 79,6% para as fábricas correspondentes à tipologia B e C, respectivamente.

Com base no valor referente à eficiência global e eléctrica da central termoeléctrica para a mesma capacidade de produção pode determinar-se a eficiência térmica, conforme se apresenta de seguida.

$$\varepsilon_{t\acute{e}rmica\ B} = \varepsilon_{global\ B} - \varepsilon_{el\acute{e}ctrica\ B} = 79,5 - 10,0 = 69,5\%$$

$$\varepsilon_{t\acute{e}rmica\ C} = \varepsilon_{global\ C} - \varepsilon_{el\acute{e}ctrica\ C} = 79,6 - 9,6 = 70,0\%$$

²¹ A presente tabela é uma adaptação da tabela original relativamente à fonte bibliográfica correspondente.

²² Valor referente ao poder calorífico superior do combustível.

- Centrais termoelétricas de cogeração com turbina a gás

Na Tabela A-XIX.2 apresentam-se alguns valores típicos de eficiências globais de centrais termoelétricas com cogeração equipadas com turbinas a gás com capacidades nominais compreendidas entre 1000 e 40000 kW.

Tabela A-XIX.2 - Eficiências globais de centrais de cogeração com turbinas a gás [97, 141]

Características técnicas ²³	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4	Sistema 5	Sistema 6	Sistema 7	Sistema 8
Capacidade nominal (kW)	1000	1150	5000	5457	10000	10239	25000	40000
Eficiência global da central (%) ²⁴	65,0	66,3	67,0	69,8	69,0	68,4	70,0	72,1

Devido à impossibilidade de se obter valores directamente a partir da figura anterior torna-se necessário recorrer ao método dos mínimos quadrados por intermédio do *Microsoft Excel* de forma a criar uma equação representativa da variação da eficiência global da central em função de cada um dos pontos obtidos. Assim, pode constatar-se que a eficiência global de uma central termoelétrica deste tipo varia logaritmicamente com a sua capacidade nominal, portanto irá recorrer-se a uma aproximação dos pontos obtidos a uma equação logarítmica de forma a poder ser utilizada para obter as eficiências globais das centrais relativamente às capacidades nominais correspondentes.

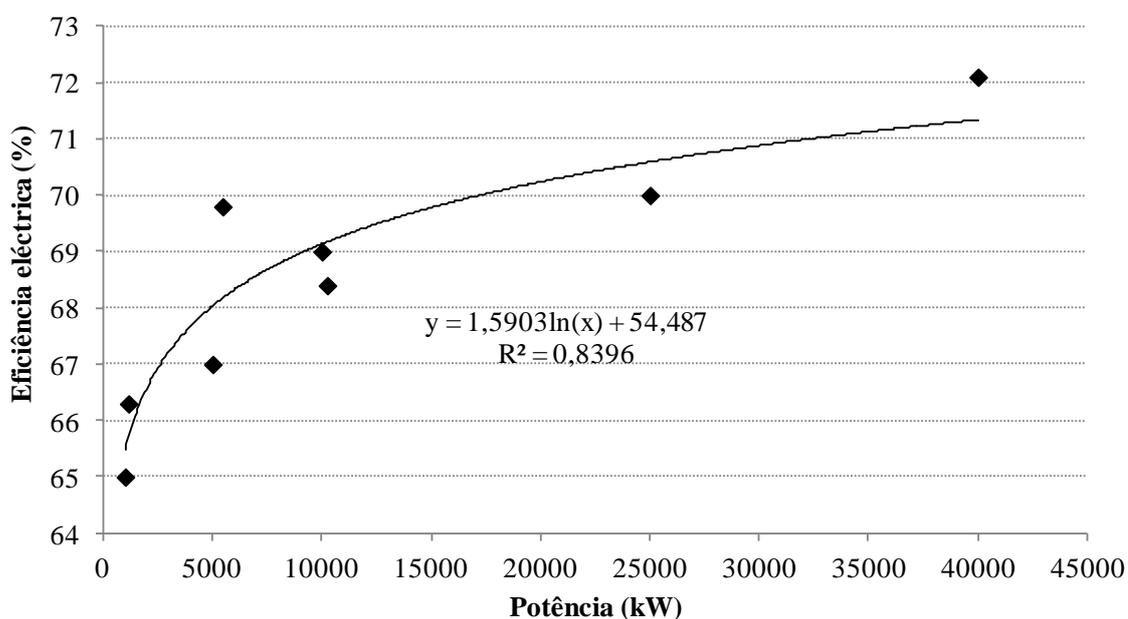


Figura A-XIX. 1 - Aproximação dos pontos obtidos a uma equação logarítmica

²³ A presente tabela é uma adaptação da tabela original relativamente à fonte bibliográfica correspondente.

²⁴ Valor referente ao poder calorífico superior do combustível.

A partir da equação logarítmica obtida pode quantificar-se com alguma aproximação a eficiência global de cada uma das centrais termoeléctricas de cogeração com turbina a gás para as tipologias correspondentes visto que o factor de correlação obtido foi significativamente alto.

$$\varepsilon_{global B} = 1,5903 \times \ln(2504) + 54,487 = 66,7\%$$

$$\varepsilon_{global C} = 1,5903 \times \ln(1549) + 54,487 = 66,4\%$$

Com base no valor referente à eficiência global e eléctrica da central termoeléctrica para a mesma capacidade de produção pode determinar-se a eficiência térmica, conforme se apresenta de seguida.

$$\varepsilon_{térmica B} = \varepsilon_{global B} - \varepsilon_{eléctrica B} = 66,7 - 27,5 = 39,1\%$$

$$\varepsilon_{térmica C} = \varepsilon_{global C} - \varepsilon_{eléctrica C} = 66,4 - 25,4 = 41,0\%$$

- Centrais termoeléctricas de cogeração com motores de combustão interna

Na Tabela A-XIX.3 apresentam-se alguns valores típicos de eficiências globais de centrais termoeléctricas com cogeração equipadas com motores de combustão interna com capacidades nominais compreendidas entre 100 e 5000 kW.

Tabela A-XIX. 3 - Eficiências globais de centrais de cogeração com motores de combustão interna [97, 141]

Características técnicas²⁵	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4	Sistema 5
Capacidade nominal (kW)	100	300	1000	3000	5000
Eficiência global da central (%) ²⁶	78	77	71	69	73

O raciocínio que irá efectuar-se é igual ao do caso anterior contudo cada um dos pontos obtidos será aproximado a uma equação polinomial de 2º grau obtida por intermédio do *software Microsoft Excel*.

²⁵ A presente tabela é uma adaptação da tabela original relativamente à fonte bibliográfica correspondente.

²⁶ Valor referente ao poder calorífico superior do combustível.

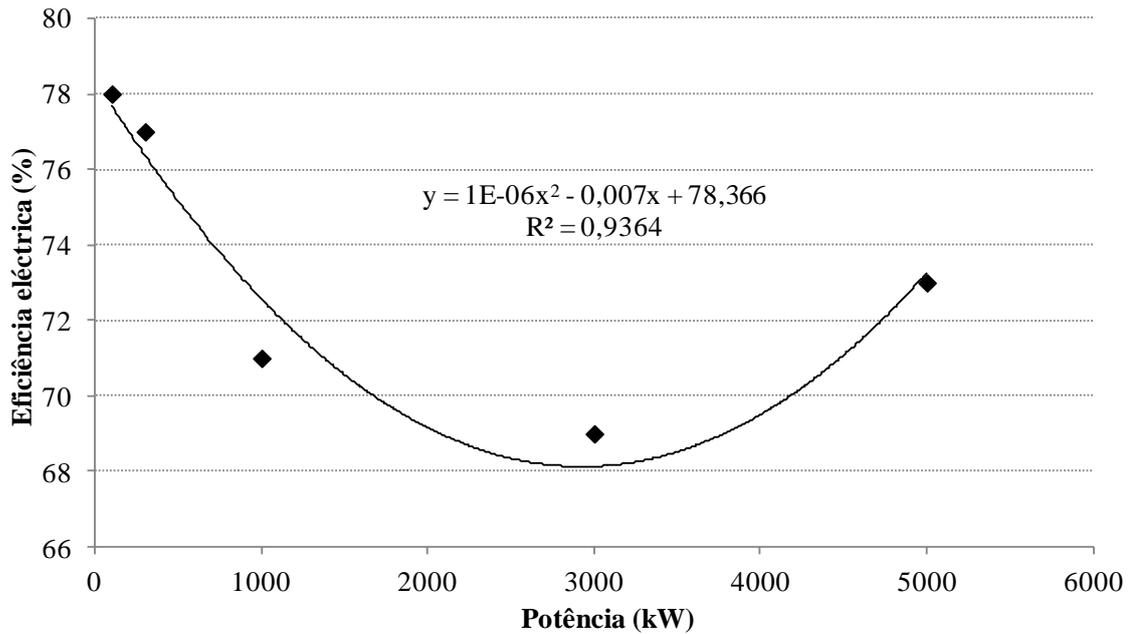


Figura A-XIX. 2 - Aproximação dos pontos obtidos a uma equação polinomial de 2º grau

A partir da equação polinomial obtida pode quantificar-se com alguma aproximação a eficiência global de cada uma das centrais termoeléctricas de cogeração equipadas com motores de combustão interna para as tipologias correspondentes visto que o factor de correlação obtido foi significativamente alto.

$$\varepsilon_{global B} = 0,000001 \times (2504^2) - 0,007 \times (2504) + 78,366 = 67,1\%$$

$$\varepsilon_{global C} = 0,000001 \times (1549^2) - 0,007 \times (1549) + 78,366 = 69,9\%$$

Com base no valor referente à eficiência global e eléctrica da central termoeléctrica para a mesma capacidade de produção pode determinar-se a eficiência térmica, conforme se apresenta de seguida.

$$\varepsilon_{térmica B} = \varepsilon_{global B} - \varepsilon_{eléctrica B} = 67,1 - 39,2 = 27,9\%$$

$$\varepsilon_{térmica C} = \varepsilon_{global C} - \varepsilon_{eléctrica C} = 69,9 - 38,1 = 31,8\%$$

Anexo XX - Quantificação da eficiência global dos geradores de vapor e secadores após a sua conversão para a queima de pellets, gás de síntese e bio óleo

Com base nas informações fornecidas por parte dos diversos industriais de arroz pode concluir-se que, em termos médios, a eficiência térmica dos geradores de vapor e secadores na indústria nacional arroseira é originalmente 83%. Após contactar alguns fabricantes de queimadores industriais de pellets, gás de síntese e bio óleo foi atribuída a informação de que o rendimento de combustão é mais reduzido no caso da queima de pellets devido à quantidade significativa de cinzas que se gera e em termos médios a eficiência térmica dos equipamentos em questão será de 75% para o pior caso, nomeadamente a queima de pellets de casca de arroz. Este valor será considerado para a conversão dos geradores de vapor e secadores para bio óleo e gás de síntese por uma questão de impossibilidade de obter valores credíveis para o estudo em causa.

Anexo XXI - Análise da viabilidade técnica para a produção isolada de energia eléctrica

Irá apresentar-se a metodologia de cálculo para apenas um dos casos analisados visto que a linha de raciocínio é idêntica para todos os casos.

Exemplo de cálculo: *Análise da viabilidade técnica para a produção de energia eléctrica no universo de fábricas correspondentes à tipologia A a partir de centrais termoeléctricas convencionais equipadas com motores de combustão interna.*

1º Passo: com base na quantidade de cascas de arroz geradas e no seu poder calorífico inferior obtido experimentalmente pode quantificar-se a energia total disponível anualmente neste tipo de biomassa.

$$E_{total}(kcal/ano) = m_{cascas}(kg/ano) \times PCI(kcal/kg) = 7631000 \times 3047 = 23251657000 \text{ kcal/ano} = 97350 \text{ GJ/ano}$$

2º Passo: como o motor de combustão interna irá operar a gás de síntese torna-se necessário proceder à conversão energética das cascas de arroz *in natura* para essa forma de energia com o intuito de quantificar-se a energia que ficará disponível nesse estado de matéria.

$$\varepsilon_{densificação} \approx 100\%$$

$$\varepsilon_{gaseificação} = 47\%$$

$$E_{disponivel}(GJ/ano) = E_{total}(GJ/ano) \times \varepsilon_{densificação} \times \varepsilon_{gaseificação} = 97350 \times 1 \times 0,47 = 45755 \text{ GJ/ano}$$

3º Passo: sabendo o regime em que o motor de combustão interna irá operar foi possível quantificar a eficiência eléctrica da central termoeléctrica convencional a operar neste tipo de fábricas. Com base na energia útil disponível sob a forma de gás de síntese é possível quantificar a energia eléctrica que será produzida anualmente a partir de uma central deste tipo e verificar se satisfaz as necessidades de consumo anuais de energia eléctrica.

$$E_{produzida}(kWh/ano) = E_{disponivel}(GJ/ano) \times \varepsilon_{el\u00e9trica} = 45755 \times 0,388 = 17762 GJ/ano = 4933828 kWh/ano$$

Na pr\u00e1tica, ap\u00f3s a implementa\u00e7\u00e3o de qualquer uma das solu\u00e7\u00f5es preconizadas, o consumo anual de energia el\u00e9trica das f\u00e1bricas ir\u00e1 aumentar como consequ\u00eancia da unidade de densifica\u00e7\u00e3o que ter\u00e1 de ser instalada. Assim, com base nas facturas mensais de energia el\u00e9trica referentes ao ano de 2009 foi adicionado o consumo associado \u00e0 unidade de densifica\u00e7\u00e3o com base na pot\u00eancia nominal de funcionamento fornecida por parte dos fabricantes e assumindo que essas unidades funcionar\u00e3o apenas durante o hor\u00e1rio de labora\u00e7\u00e3o (9h/dia e 251 dias por ano).

$$Consumo_{anual\ tipico}(kWh/ano) = 3262351 kWh/ano$$

$$P_{unidade\ densifica\u00e7\u00e3o\ A} = 432 kW \text{ (a funcionar a 4t/h)}$$

$$Consumo_{unidades\ densifica\u00e7\u00e3o}(kWh/ano) = P_{unidade}(kW) \times funcionamento(h/ano) = 485 \times 9 \times 251 = 973880 kWh/ano$$

$$Consumo_{total}(kWh/ano) = Consumo_{unidade\ densifica\u00e7\u00e3o}(kWh/ano) + Consumo_{anual\ tipico}(kWh/ano) = 3262351 + 973880 = 4236231 kWh/ano = 15250 GJ/ano$$

$$E_{excedente}(GJ/ano) = E_{produzida}(GJ/ano) - Consumo_{total}(GJ/ano) = 17762 - 15250 = 2512 GJ/ano = 599825288 kcal/ano$$

$$Excedente_{cascas}(ton/ano) = \frac{\left(\frac{599825288}{3047}\right)}{1000} = 197 ton/ano$$

Tecnicamente \u00e9 poss\u00edvel satisfazer todas as necessidades de consumo a partir da explora\u00e7\u00e3o de cascas de arroz geradas anualmente no processo em centrais termoel\u00e9tricas convencionais equipadas com motores de combust\u00e3o interna, obtendo-se um excedente de cerca de 197 toneladas de cascas de arroz.

4º Passo: com base na produção específica de energia eléctrica neste tipo de centrais e do regime de funcionamento de todos os seus equipamentos associados é possível verificar o tipo de cenário verificado aquando da implementação desta solução. Partiu-se do pressuposto para este estudo que os equipamentos de conversão energética irão operar simultaneamente ao motor de combustão interna durante 9h/dia correspondentes ao período de laboração.

$$\text{Produção Específica (kWh/ton)} = \frac{E_{\text{produzida}}(\text{kWh/ano})}{m_{\text{cascas}}(\text{ton/ano})} = \frac{4933828}{7631} = 647 \text{ kWh/ton}$$

Sabendo que a capacidade das unidades de densificação e gaseificação nestas fábricas é de 4 ton/h é possível verificar se esta solução técnica tem capacidade de suprir as necessidades diárias de energia eléctrica.

$$\text{Produção diária (kWh/dia)} =$$

$$\text{Produção Específica (kWh/ton)} \times \text{capacidade (ton/h)} \times \text{funcionamento (h/dia)} =$$

$$647 \times 4 \times 9 = 23276 \text{ kWh/dia}$$

$$\text{Necessidades médias diárias (kWh/dia)} = \frac{\text{Consumo anual (kWh/ano)}}{\text{Funcionamento (dias/ano)}} = \frac{4236239}{251} =$$

$$16877 \text{ kWh/dia}$$

A partir dos resultados obtidos pode constatar-se que a implementação desta solução permite satisfazer as necessidades de consumo de energia eléctrica anualmente e diariamente (Cenário 4).

Anexo XXII - Análise da viabilidade técnica para a produção isolada de calor

Tal como se procedeu no Anexo XXI, irá apresentar-se a metodologia de cálculo para apenas um dos casos analisados visto que a linha de raciocínio é idêntica para todos os casos.

Exemplo de cálculo: *Análise da viabilidade técnica para a produção de calor no universo de fábricas correspondentes à tipologia B a partir da substituição do queimador pré-existente no gerador de vapor por um queimador a pellets preparado para queimar de forma eficiente pellets de casca de arroz.*

1º Passo: com base na quantidade de cascas de arroz geradas e no seu poder calorífico inferior obtido experimentalmente pode quantificar-se a energia total disponível anualmente neste tipo de biomassa.

$$E_{total}(kcal/ano) = m_{cascas}(kg/ano) \times PCI(kcal/kg) = 7500000 \times 3047 = 22852500000 \text{ kcal/ano} = 95679 \text{ GJ/ano}$$

2º Passo: conhecendo a eficiência térmica que o gerador de vapor adaptado para pellets apresenta é possível quantificar o calor total produzido a partir da biomassa disponível nesta tipologia de fábricas.

$$\varepsilon_{gerador \text{ vapor pellets}} = 75\%$$

$$E_{disponivel}(GJ/ano) = E_{total}(GJ/ano) \times \varepsilon_{gerador \text{ vapor pellets}} = 95679 \times 0,75 = 71759 \text{ GJ/ano}$$

3º Passo: a partir das facturas mensais de gásóleo referentes ao ano de 2009 fornecidas por parte dos industriais de arroz é possível quantificar as necessidades de calor para o processo de vaporização assumindo que todo o gásóleo é efectivamente consumido nos geradores de vapor.

$$PCI_{gásóleo} = 42470 \text{ kJ/kg}$$

$$\rho_{gásóleo} = 840 \text{ [kg/m}^3\text{(n)]}$$

$$\varepsilon_{\text{gerador vapor origem}} = 83\%$$

$$\text{Consumo}_{\text{gas\acute{o}leo}} = 246706 \text{ l/ano}$$

$$E_{\text{vaporiza\c{c}\~{o}}}(\text{GJ/ano}) = \text{Consumo}_{\text{gas\acute{o}leo}}(\text{l/ano}) \times \rho_{\text{gas\acute{o}leo}}[\text{kg/l}] \times \text{PCI}_{\text{gas\acute{o}leo}}(\text{kJ/kg}) \times$$

$$\varepsilon_{\text{gerador vapor origem}} = 246706 \times 0,84 \times 42470 \times 0,83 = 7305 \text{ GJ/ano}$$

4° Passo: com base no calor total que é possível produzir com o stock de cascas gerado e as necessidades de calor para o processo de vaporização é possível verificar se a solução analisada permite satisfazer as necessidades de consumo anuais.

$$E_{\text{excedente}}(\text{GJ/ano}) = E_{\text{disponivel}}(\text{GJ/ano}) - E_{\text{vaporiza\c{c}\~{o}}}(\text{GJ/ano}) = 71759 - 7305 = 64454 \text{ GJ/ano} = 15404917603 \text{ kcal/ano}$$

$$E_{\text{excedente}}_{\text{cascas}}(\text{ton/ano}) = \frac{\left(\frac{15404917603}{3047}\right)}{1000} = 5056 \text{ ton/ano}$$

$$\text{Produ\c{c}\~{o} Espec\i{f}ica (\text{GJ/ton})} = \frac{E_{\text{produzida}}(\text{GJ/ano})}{m_{\text{cascas}}(\text{ton/ano})} = \frac{71759}{7500} = 9,6 \text{ GJ/ton}$$

Esta solução permite satisfazer as necessidades de consumo anuais permitindo gerar um excedente de cascas de arroz na ordem das 5000 t.

Anexo XXIII - Análise da viabilidade técnica para a produção combinada de energia eléctrica e calor

Irá apresentar-se a metodologia de cálculo para apenas um dos casos analisados visto que a linha de raciocínio é idêntica para todos os casos.

Exemplo de cálculo: *Análise da viabilidade técnica para a produção combinada de energia eléctrica e calor no universo de fábricas correspondentes à tipologia B a partir de centrais termoeléctricas de cogeração equipadas com turbinas a vapor alimentadas a pellets.*

1º Passo: com base na quantidade de cascas de arroz geradas e no seu poder calorífico inferior obtido experimentalmente pode quantificar-se a energia total disponível anualmente neste tipo de biomassa.

$$E_{total}(kcal/ano) = m_{cascas}(kg/ano) \times PCI(kcal/kg) = 7500000 \times 3047 = 22852500000 \text{ kcal/ano} = 95679 \text{ GJ/ano}$$

2º Passo: como a turbina a vapor irá operar a pellets torna-se necessário proceder à conversão energética das cascas de arroz *in natura* para essa forma de energia com o intuito de quantificar-se a energia que ficará disponível nesse estado de matéria, que neste caso será a mesma visto que, como foram desprezadas perdas de massa no processo de densificação, a quantidade de energia disponível na biomassa analisada é a mesma.

$$\varepsilon_{densificação} \approx 100\%$$

$$E_{disponivel}(GJ/ano) = E_{total}(GJ/ano) \times \varepsilon_{densificação} = 95679 \times 1 = 95679 \text{ GJ/ano}$$

3º Passo: sabendo o regime em que a turbina a vapor irá operar foi possível quantificar a eficiência eléctrica da central termoeléctrica com cogeração a operar neste tipo de fábricas que é igual à eficiência eléctrica de uma central termoeléctrica convencional a operar com turbina a vapor. Com base na energia útil disponível sob a forma de pellets é possível quantificar a energia eléctrica que será produzida anualmente a partir de uma

central deste tipo e verificar se satisfaz as necessidades de consumo anuais de energia eléctrica.

$$E_{produzida}(kWh/ano) = E_{disponivel}(GJ/ano) \times \varepsilon_{eléctrica} = 95679 \times 0,101 = 9664 \text{ GJ/ano} = 2684323 \text{ kWh/ano}$$

Na prática, após a implementação de qualquer uma das soluções preconizadas, o consumo anual de energia eléctrica das fábricas irá aumentar como consequência da unidade de densificação que terá de ser instalada. Assim, com base nas facturas mensais de energia eléctrica referentes ao ano de 2009 foi adicionado o consumo associado à unidade de densificação com base na potência nominal de funcionamento fornecida por parte dos fabricantes e assumindo que essas unidades funcionarão apenas durante o horário de laboração (9h/dia e 251 dias por ano).

$$Consumo_{anual\ típico}(kWh/ano) = 3996883 \text{ kWh/ano}$$

$$P_{unidade\ densificação\ B} = 432 \text{ kW (a funcionar a 4t/h)}$$

$$Consumo_{unidades\ densificação}(kWh/ano) = P_{unidade}(kW) \times funcionamento(h/ano) = 432 \times 9 \times 251 = 973880 \text{ kWh/ano}$$

$$Consumo_{total}(kWh/ano) =$$

$$Consumo_{unidade\ densificação}(kWh/ano) + Consumo_{anual\ típico}(kWh/ano) = 3996883 + 973880 = 4970763 \text{ kWh/ano}$$

$$Abastecimento_{energia\ eléctrica}(\%) = \frac{E_{produzida}(kWh/ano)}{Consumo_{total}(kWh/ano)} \times 100 = \frac{2684323}{4970763} \times 100 = 54\%$$

4º Passo: com base na produção específica de energia eléctrica neste tipo de centrais e do regime de funcionamento de todos os seus equipamentos associados é possível verificar o tipo de cenário verificado aquando da implementação desta solução. Partiu-se do pressuposto para este estudo que os equipamentos de conversão energética irão operar simultaneamente à turbina a vapor durante 9h/dia correspondentes ao período de laboração.

$$\text{Produção Específica (kWh/ton)} = \frac{E_{\text{produzida}}(\text{kWh/ano})}{m_{\text{cascas}}(\text{ton/ano})} = \frac{2684323}{7500} = 358 \text{ kWh/ton}$$

Sabendo que a capacidade das unidades de densificação nestas fábricas é de 4 ton/h é possível verificar se esta solução técnica tem capacidade de suprimir as necessidades diárias de energia eléctrica.

$$\begin{aligned} \text{Produção diária (kWh/dia)} &= \text{Produção Específica (kWh/ton)} \times \text{capacidade} \left(\frac{\text{ton}}{\text{h}}\right) \times \\ \text{funcionamento (h/dia)} &= 358 \times 4 \times 9 = 12885 \text{ kWh/dia} \end{aligned}$$

$$\text{Necessidades médias diárias (kWh/dia)} = \frac{\text{Consumo anual (kWh/ano)}}{\text{Funcionamento (dias/ano)}} = \frac{4970763}{251} = 19804 \text{ kWh/dia}$$

A partir dos resultados obtidos pode constatar-se que a implementação desta solução não permite satisfazer as necessidades de consumo de energia eléctrica anualmente e diariamente (Cenário 1).

5º Passo: com base na energia disponível no stock de cascas de arroz que se geram neste tipo de fábricas e eficiência térmica da central de cogeração com turbina a vapor, para o seu regime de funcionamento específico para este caso, é possível quantificar a quantidade de calor produzida.

$$\varepsilon_{\text{térmica central}} \approx 69,5\%$$

$$E_{\text{disponível}} = 95679 \text{ GJ/ano}$$

$$\begin{aligned} E_{\text{produzida}}(\text{GJ/ano}) &= E_{\text{disponível}}(\text{GJ/ano}) \times \varepsilon_{\text{térmica}} = 95679 \times 0,695 = \\ 66463 \text{ GJ/ano} &= 2684323 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_{\text{excedente}}(\text{GJ/ano}) &= E_{\text{produzida}}(\text{GJ/ano}) - E_{\text{vaporização}}(\text{GJ/ano}) = 66463 - \\ 7305 &= 59158 \text{ GJ/ano} \end{aligned}$$

Este tipo de central permite uma produção de calor mais do que suficiente para satisfazer o processo de vaporização nestas fábricas com um excedente de 59158 GJ/ano que será desperdiçado.

Anexo XXIV - Análise da viabilidade técnica para a produção de energia eléctrica e calor de forma independente

Irá apresentar-se a metodologia de cálculo para apenas um dos casos analisados visto que a linha de raciocínio é idêntica para os restantes casos.

Exemplo de cálculo: *Análise da viabilidade técnica para a produção individual de energia eléctrica e calor no universo de fábricas correspondentes à tipologia C a partir de centrais termoeléctricas convencionais equipadas com motores de combustão interna a gás e a substituição dos queimadores pré-existentes a gás natural por queimadores a pellets, respectivamente.*

1º Passo: a partir das facturas mensais de gás natural referentes ao ano de 2009 fornecidas por parte dos industriais de arroz e a eficiência térmica original dos secadores é possível quantificar as necessidades de calor para o processo de secagem assumindo que todo o gás natural é efectivamente consumido nos secadores.

$$\varepsilon_{\text{secador origem}} = 83\%$$

$$\text{Consumo}_{\text{gás natural}} = 2823337 \text{ kWh/ano} = 10164 \text{ GJ/ano}$$

$$E_{\text{secagem}}(\text{GJ/ano}) = \text{Consumo}_{\text{gás natural}}(\text{kJ/ano}) \times \varepsilon_{\text{secador origem}} = 10164 \times 0,83 = 8436 \text{ GJ/ano}$$

2º Passo: é necessário quantificar a produção específica de calor inerente à substituição do queimador a gás natural por um queimador a pellets cuja eficiência térmica de secagem desce para 75% devido à emissão de cinzas resultante da combustão de pellets de cascas de arroz.

$$E_{\text{total}}(\text{kcal/ano}) = m_{\text{cascas}}(\text{kg/ano}) \times \text{PCI}(\text{kcal/kg}) = 2023000 \times 3047 = 6164081000 \text{ kcal/ano} = 25808 \text{ GJ/ano}$$

$$\varepsilon_{\text{secador após mod.}} \approx 75\%$$

$$E_{\text{disponível}}(\text{GJ/ano}) = E_{\text{total}}(\text{GJ/ano}) \times \varepsilon_{\text{secador após mod.}} = 25808 \times 0,75 = 19356 \text{ GJ/ano}$$

$$\text{Produção Específica (GJ/ton)} = \frac{E_{\text{disponível}}(\text{GJ/ano})}{m_{\text{cascas}}(\text{ton/ano})} = \frac{19356}{2023} = 9,6 \text{ GJ/ton}$$

3º Passo: com base na produção específica de calor do secador a pellets e das necessidades térmicas do próprio processo de secagem é possível quantificar a quantidade de cascas necessárias para satisfazer as necessidades de calor para o processo de secagem do arroz.

$$m_{\text{cascas secagem}}(\text{ton/ano}) = \frac{E_{\text{secagem}}(\text{GJ/ano})}{\text{Produção Específica (GJ/ton)}} = \frac{8436}{9,6} = 879 \text{ ton/ano}$$

4º Passo: com base no excedente de cascas de arroz geradas e no seu poder calorífico inferior obtido experimentalmente pode quantificar-se a energia total disponível anualmente neste tipo de biomassa.

$$m_{\text{cascas disponível}}(\text{ton/ano}) = m_{\text{cascas total}}(\text{ton/ano}) - m_{\text{cascas secagem}}(\text{ton/ano}) = 2023 - 879 = 1144 \text{ ton/ano}$$

$$E_{\text{total}}(\text{kcal/ano}) = m_{\text{cascas}}(\text{kg/ano}) \times \text{PCI}(\text{kcal/kg}) = 1144000 \times 3047 = 3476627000 \text{ kcal/ano} = 14556 \text{ GJ/ano}$$

5º Passo: como o motor de combustão interna irá operar a gás de síntese torna-se necessário proceder à conversão energética das cascas de arroz *in natura* para essa forma de energia com o intuito de quantificar-se a energia que ficará disponível nesse estado de matéria.

$$\varepsilon_{\text{densificação}} \approx 100\%$$

$$\varepsilon_{\text{gaseificação}} = 47\%$$

$$E_{\text{disponível}}(\text{GJ/ano}) = E_{\text{total}}(\text{GJ/ano}) \times \varepsilon_{\text{densificação}} \times \varepsilon_{\text{gaseificação}} = 14556 \times 1 \times 0,47 = 6841 \text{ GJ/ano}$$

6º Passo: sabendo o regime em que o motor de combustão interna irá operar foi possível quantificar a eficiência eléctrica da central termoeléctrica convencional a operar neste tipo de fábricas. Com base na energia útil disponível sob a forma de gás de síntese é possível quantificar a energia eléctrica que será produzida anualmente a partir de uma central deste tipo e verificar se satisfaz as necessidades de consumo anuais de energia eléctrica.

$$E_{produzida}(kWh/ano) = E_{disponivel}(GJ/ano) \times \varepsilon_{eléctrica} = 6841 \times 0,381 = 2607 \text{ GJ/ano} = 724037 \text{ kWh/ano}$$

Na prática, após a implementação de qualquer uma das soluções preconizadas, o consumo anual de energia eléctrica das fábricas irá aumentar como consequência da unidade de densificação que terá de ser instalada. Assim, com base nas facturas mensais de energia eléctrica referentes ao ano de 2009 foi adicionado o consumo associado à unidade de densificação com base na potência nominal de funcionamento fornecida por parte dos fabricantes e assumindo que essas unidades funcionarão apenas durante o horário de laboração (9h/dia e 251 dias por ano).

$$Consumo_{anual\ típico}(kWh/ano) = 2306602 \text{ kWh/ano}$$

$$P_{unidade\ densificação\ c} = 356 \text{ kW (a funcionar a 3t/h)}$$

$$Consumo_{unidades\ densificação}(kWh/ano) = P_{unidade}(kW) \times funcionamento(h/ano) = 356 \times 9 \times 251 = 803200 \text{ kWh/ano}$$

$$Consumo_{total}(kWh/ano) =$$

$$Consumo_{unidade\ densificação}(kWh/ano) + Consumo_{anual\ típico}(kWh/ano) = 803200 + 2306602 = 3109802 \text{ kWh/ano} = 11195 \text{ GJ/ano}$$

$$Abastecimento_{energia\ eléctrica}(\%) = \frac{E_{produzida}(kWh/ano)}{Consumo_{total}(kWh/ano)} \times 100 = \frac{724037}{3109802} \times 100 = 23\%$$

$$Produção\ Específica(GJ/ton) = \frac{E_{térmica}(GJ/ano) + E_{eléctrica}(GJ/ano)}{m_{cascas\ total}(ton/ano)} = \frac{(8436+2607)}{2023} =$$

$$5,5 \text{ GJ/ton}$$

Anexo XXV - Custos de capital e de operação e manutenção inerentes às soluções apresentadas

Para determinar estes tipos de custos referentes a cada uma das soluções analisadas recorreu-se ao contacto com fabricantes e nos casos em que isso não foi possível, os valores apresentados foram obtidos indirectamente a partir de pesquisa bibliográfica.

Os custos de capital e de operação e manutenção na aquisição de unidades de conversão energética e queimadores de pellets foram obtidos a partir do contacto com fabricantes que por razões de confidencialidade não poderão ser mencionados nesta dissertação.

No que diz respeito aos equipamentos de geração de potência, os seus custos de capital e de operação e manutenção foram obtidos indirectamente a partir de referências bibliográficas, passando-se a referir um exemplo de cálculo que se assemelha aos demais casos visto que a linha de raciocínio é idêntica.

Exemplo de cálculo: *Custos de capital e de operação e manutenção de uma central termoelétrica convencional com motor de combustão interna para operar no universo de fábricas correspondentes à tipologia B.*

1º Passo: inicialmente obtiveram-se alguns dos custos que se pretendem obter em algumas fontes bibliográficas, tal como se apresenta na seguinte tabela.

Tabela A-XXV. 1 – CAPEX e OPEX para diversas gamas de motores de combustão interna [97, 141]

Central termoelétrica convencional com motor de combustão interna					
	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4	Sistema 5
Potência instalada (kW)	100	300	1000	3000	5000
CAPEX (2003 \$/kW)	1030	790	720	710	695
OPEX (2003 \$/kWh)	0,018	0,013	0,009	0,009	0,008

Como a potência instalada nas fábricas da tipologia B é de 2850 kW, os *CAPEX* e *OPEX* de uma central termoelétrica convencional com motor de combustão interna de 2,85 MW não pode ser obtida directamente a partir dos dados referentes às fontes bibliográficas.

2º Passo: implementação do método dos mínimos quadrados para quantificar os *CAPEX* e *OPEX* de uma central termoelétrica convencional com motor de combustão interna de 2,85 MW.

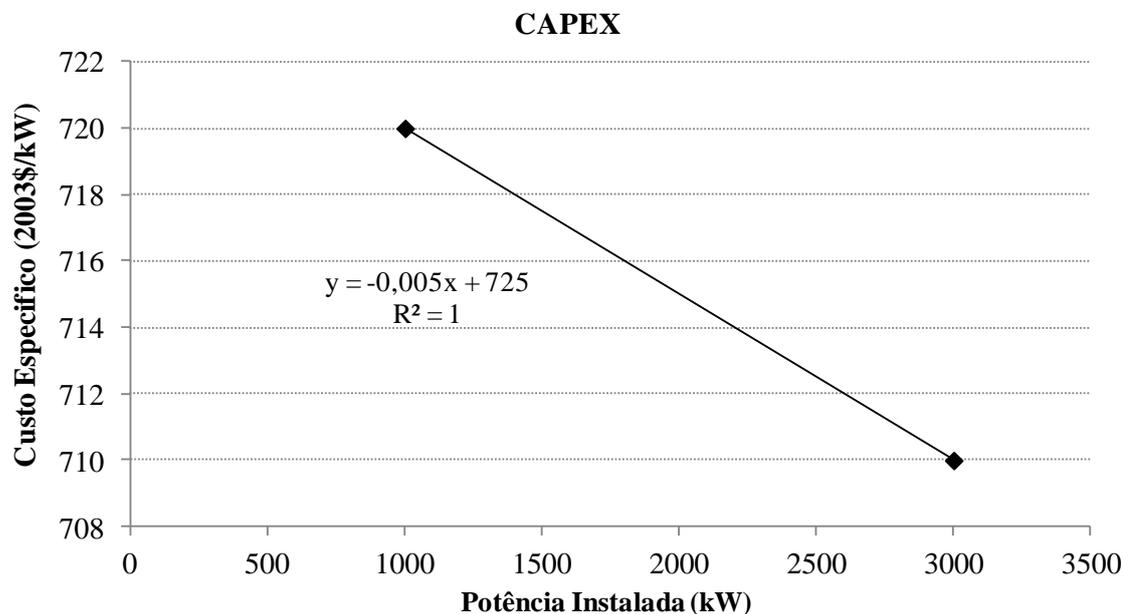


Figura A-XXV.1 – Aproximação dos pontos obtidos a uma equação linear

$$CAPEX (2003 \$/kW) = (-0,005 \times 2850) + 725 = 710 \$/kW$$

$$OPEX (2003 \$/kWh) = 0,009 \$/kWh$$

3º Passo: como os custos apresentados referem-se ao valor do dólar em 2003 a conversão para euro terá de ser efectuada com base na taxa de câmbio referente a esse ano.

Tabela A-XXV. 2 – Taxa de câmbio do dólar em relação ao euro no ano de 2003 [142]

Mês	2003	
	Dollar	Euro
Janeiro	1,0000	0,9418
Fevereiro	1,0000	0,9273
Março	1,0000	0,9273
Abril	1,0000	0,9213
Maio	1,0000	0,8659
Junho	1,0000	0,8564
Julho	1,0000	0,8793
Agosto	1,0000	0,8977
Setembro	1,0000	0,8876
Outubro	1,0000	0,8538
Novembro	1,0000	0,8532
Dezembro	1,0000	0,8129
Média	-	0,8854

4º Passo: com base na potência instalada das fábricas da tipologia B e da energia eléctrica que uma central deste tipo consegue produzir para a quantidade de cascas gerada é possível quantificar os custos de capital e de operação e manutenção.

$$P_{instalada} (kW) = 2850 \text{ kW}$$

$$E_{produzida} (kWh/ano) = 4\,894\,062 \text{ kWh/ano}$$

$$CAPEX (\text{€}) = 2850 (kW) \times 710 (2003\$/kW) \times 0,8854 = 1\,791\,541\text{€}$$

$$OPEX (\text{€/ano}) = 4\,894\,062 (kWh/ano) \times 0,009 (2003\$/kWh) \times 0,8854 = 38\,997\text{€/ano}$$

Anexo XXVI - Evolução dos preços das formas de energia consumidas na indústria nacional arroseira num intervalo de tempo de 10 e 20 anos

Energia Eléctrica

Com base na referência bibliográfica a que se recorreu, o custo da energia eléctrica irá sofrer um aumento de 20% a 30% até 2030 [4].

$$Custo_{2012}(\text{€/kWh}) = 0,11 \text{ €/kWh}$$

$$Custo_{2032}(\text{€/kWh}) = Custo_{2012}(\text{€/kWh}) \times 1,25 = 0,11 \times 1,25 = 0,1375 \text{ €/kWh}$$

$$Aumento_{anual}(\text{€/kWh}) = \frac{(Custo_{2032}(\text{€/kWh}) - Custo_{2012}(\text{€/kWh}))}{20} = \frac{(0,1375 - 0,11)}{20} = 0,001375 \text{ €/kWh}$$

$$Custo_{2022}(\text{€/kWh}) = Custo_{2012}(\text{€/kWh}) + Aumento_{anual}(\text{€/kWh}) \times 10 = 0,11 + 0,001375 \times 10 = 0,1238 \text{ €/kWh}$$

$$Custo \text{ médio}_{10 \text{ anos}}(\text{€/kWh}) = \frac{[Custo_{2022}(\text{€/kWh}) + Custo_{2012}(\text{€/kWh})]}{2} = \frac{[0,1238 + 0,11]}{2} = 0,1183 \text{ €/kWh}$$

$$Custo \text{ médio}_{20 \text{ anos}}(\text{€/kWh}) = \frac{[Custo_{2032}(\text{€/kWh}) + Custo_{2012}(\text{€/kWh})]}{2} = \frac{[0,1375 + 0,11]}{2} = 0,1244 \text{ €/kWh}$$

Gás Natural

Na tabela seguinte apresenta-se a tendência dos custos do gás natural até 2030.

Tabela A-XXVI.1 – Previsão do custo do gás natural entre 2005-2030 [3]

Evolução do preço do gás natural						
	2005	2010	2015	2020	2025	2030
2005 \$/bpe	34,6	41,5	43,6	46,0	47,2	47,6

$$Custo_{2012}(\text{€/kWh}) = 0,0437 \text{ €/kWh}$$

$$Aumento_{anual}(\%) = \frac{(Custo_{2030}(\$/bpe) - Custo_{2010}(\$/bpe))}{Custo_{2010}(\$/bpe)} \times 100 = \frac{(47,6 - 41,5)}{41,5} \times 100 = 15\%$$

$$Custo_{2032}(\text{€/kWh}) = Custo_{2012}(\text{€/kWh}) \times 1,15 = 0,0437 \times 1,15 = 0,0502 \text{ €/kWh}$$

$$Aumento_{anual}(\text{€/kWh}) = \frac{(Custo_{2032}(\text{€/kWh}) - Custo_{2012}(\text{€/kWh}))}{20} = \frac{(0,0502 - 0,0437)}{20} = 0,00033 \text{ €/kWh}$$

$$Custo_{2022}(\text{€/kWh}) = Custo_{2012}(\text{€/kWh}) + Aumento_{anual}(\text{€/kWh}) \times 10 = 0,0437 + 0,00033 \times 10 = 0,0456 \text{ €/kWh}$$

$$Custo_{\text{m\u00e9dio}}_{10 \text{ anos}}(\text{€/kWh}) = \frac{[Custo_{2022}(\text{€/kWh}) + Custo_{2012}(\text{€/kWh})]}{2} = \frac{[0,0456 + 0,0437]}{2} = 0,045 \text{ €/kWh}$$

$$Custo_{\text{m\u00e9dio}}_{20 \text{ anos}}(\text{€/kWh}) = \frac{[Custo_{2032}(\text{€/kWh}) + Custo_{2012}(\text{€/kWh})]}{2} = \frac{[0,0502 + 0,0437]}{2} = 0,047 \text{ €/kWh}$$

Gas\u00f3leo de aquecimento

N\u00e3o foi poss\u00edvel obter an\u00e1lises tendenciais para o custo do gas\u00f3leo de aquecimento portanto ir\u00e1 estimar-se a sua evolu\u00e7\u00e3o em fun\u00e7\u00e3o da varia\u00e7\u00e3o prevista do pre\u00e7o do petr\u00f3leo at\u00e9 2030, conforme se apresenta na tabela seguinte.

Tabela A-XXVI. 2 - Previs\u00e3o do custo do petr\u00f3leo entre 2005-2030 [3]

Evolu\u00e7\u00e3o do pre\u00e7o do petr\u00f3leo						
	2005	2010	2015	2020	2025	2030
2005 \$/bpe	54,5	54,5	57,9	61,1	62,3	62,8

$$Custo_{2012}(\text{€/l}) = 1,23 \text{ €/l}$$

$$Aumento_{anual}(\%) = \frac{(Custo_{2030}(\$/bpe) - Custo_{2010}(\$/bpe))}{Custo_{2010}(\$/bpe)} \times 100 = \frac{(62,8 - 54,5)}{54,5} \times 100 = 15\%$$

$$Custo_{2032}(\text{€/l}) = Custo_{2012}(\text{€/l}) \times 1,15 = 1,23 \times 1,15 = 1,41 \text{ €/l}$$

$$Aumento_{anual}(\text{€/l}) = \frac{(Custo_{2032}(\text{€/l}) - Custo_{2012}(\text{€/l}))}{20} = \frac{(1,41 - 1,23)}{20} = 0,0092 \text{ €/l}$$

$$\text{Custo}_{2022}(\text{€/l}) = \text{Custo}_{2012}(\text{€/l}) + \text{Aumento}_{\text{anual}}(\text{€/l}) \times 10 = 1,23 + 0,0092 \times 10 = 1,32 \text{ €/l}$$

$$\text{Custo médio}_{10 \text{ anos}}(\text{€/l}) = \frac{[\text{Custo}_{2022}(\text{€/l}) + \text{Custo}_{2012}(\text{€/l})]}{2} = \frac{[1,32 + 1,23]}{2} = 1,275 \text{ €/l}$$

$$\text{Custo médio}_{20 \text{ anos}}(\text{€/l}) = \frac{[\text{Custo}_{2032}(\text{€/l}) + \text{Custo}_{2012}(\text{€/l})]}{2} = \frac{[1,41 + 1,23]}{2} = 1,320 \text{ €/l}$$

Anexo XXVII - Custos com energia

Os exemplos que serão apresentados de seguida têm uma metodologia de cálculo idêntica às restantes soluções apresentadas no decorrer do presente trabalho.

Custos com energia eléctrica

Exemplo de cálculo: *Custos com energia eléctrica resultantes da exploração de centrais termoeléctricas convencionais equipadas com turbinas a gás para produção de energia eléctrica nas fábricas correspondentes à tipologia A.*

1º Passo: a partir da Tabela 5.10 é possível constatar que a implementação da solução apresentada possibilita uma produção de 3 407 462 kWh/ano que representa cerca de 80% das necessidades de consumo.

$$\text{Consumo}_{\text{anual típico}} (\text{kWh/ano}) = 4\,236\,231 \text{ kWh/ano}$$

$$\text{Energia}_{\text{produzida}} (\text{kWh/ano}) = 3\,407\,462 \text{ kWh/ano}$$

$$\text{Consumo}_{\text{energia eléctrica}} (\text{kWh/ano}) = \text{Consumo}_{\text{anual típico}} (\text{kWh/ano}) -$$

$$\text{Energia}_{\text{produzida}} (\text{kWh/ano}) = 4\,236\,231 - 3\,407\,462 = 828\,769 \text{ kWh/ano}$$

2º Passo: é possível obter os encargos com energia eléctrica com base nos valores que são solicitados à rede e o custo médio da energia eléctrica para o ciclo de vida de uma turbina a gás com a capacidade pretendida para este caso (Tabela 5.18).

$$\text{Custo médio}_{10 \text{ anos}} (\text{€/kWh}) = 0,1183 \text{ €/kWh}$$

$$\text{Encargo}_{\text{energia eléctrica}} (\text{€/ano}) = \text{Consumo}_{\text{energia eléctrica}} (\text{kWh/ano}) \times \text{Custo médio}_{10 \text{ anos}} (\text{€/kWh}) = 828\,769 \times 0,1183 = 98\,043 \text{ €/ano}$$

Custos com gás natural

Exemplo de cálculo: *Custos com gás natural resultantes da exploração de centrais termoeléctricas com cogeração equipadas com motores de combustão interna para produção de energia eléctrica e calor nas fábricas correspondentes à tipologia C.*

1º Passo: a partir da Tabela 5.12 é possível constatar que a implementação da solução apresentada possibilita uma produção de 3 856 GJ/ano que representa cerca de 46% das necessidades de calor.

$$\text{Consumo}_{\text{anual típico}}(\text{GJ/ano}) = 8\,436 \text{ GJ/ano}$$

$$\text{Calor}_{\text{produzido}}(\text{GJ/ano}) = 3\,856 \text{ GJ/ano}$$

$$\begin{aligned} \text{Consumo}_{\text{gás natural}}(\text{GJ/ano}) &= \text{Consumo}_{\text{anual típico}}(\text{GJ/ano}) - \text{Calor}_{\text{produzido}}(\text{GJ/ano}) = \\ 8\,436 - 3\,856 &= 4\,580 \text{ GJ/ano} = 1\,272\,341 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

2º Passo: é possível obter os encargos com gás natural com base nos valores que são efectivamente consumidos e o custo médio do gás natural para o ciclo de vida de um motor de combustão interna com a capacidade pretendida para este caso (Tabela 5.18).

$$\text{Custo médio}_{20 \text{ anos}}(\text{€/kWh}) = 0,047 \text{ €/kWh}$$

$$\text{Encargo}_{\text{gás natural}}(\text{€/ano}) =$$

$$\begin{aligned} \text{Consumo}_{\text{gás natural}}(\text{kWh/ano}) \times \text{Custo médio}_{20 \text{ anos}}(\text{€/kWh}) &= 1\,272\,341 \times \\ 0,047 &= 59\,927 \text{ €/ano} \end{aligned}$$

Anexo XXVIII- Custos com potência

Irá apresentar-se a metodologia de cáculo para apenas um dos casos analisados visto que a linha de raciocínio  idêntica para os restantes.

Exemplo de cáculo: *Encargos com potência inerentes à produção de energia eléctrica nas fábricas correspondentes à tipologia B a partir de centrais termoeléctricas convencionais equipadas com turbinas a vapor alimentadas a pellets.*

1 Passo: conhecendo o tipo de tarifário de energia eléctrica nestas fábricas  possível saber o custo por quilowatt de potência contratada.

Fornecedor: EDP

Ano da factura: 2012

Tarifário: Média tensão / Tetra-horário / longas utilizações

$$Custo(\text{€/kW}) = 1,357\text{€/kW}$$

2 Passo: tal a partir da Tabela 5.10 verifica-se que este tipo de solução não permite satisfazer as necessidades diárias e anuais de energia eléctrica (Cenário 1). Assumindo que a central irá cobrir o consumo de energia eléctrica nas horas de ponta e, se for possível noutros períodos horários, os custos com potência em hora de ponta deixam de existir. No entanto, os custos com a potência contratada aumentam relativamente à situação inicial visto que sempre que a central se encontrar a funcionar, a potência instalada aumenta como resultado do funcionamento da unidade de densificação.

$$P_{instalada}(kW) = 2850 kW$$

$$Custos_{potência}(\text{€/ano}) = P_{instalada}(kW) \times Custo(\text{€/kW}) \times n^o \text{ meses} = 2850 \times 1,357 \times 12 = 46409 \text{ €/ano}$$

Ir assumir-se para todos os casos que estejam inseridos no cenário 1 que a central termoeléctrica irá operar um determinado número de horas diárias durante todo o ano.

Anexo XXIX - Análise da viabilidade económica para a produção isolada de energia eléctrica

Irá dar-se seguimento ao caso analisado no Anexo XXI, apresentando-se a metodologia de cálculo para apenas esta solução visto que a linha de raciocínio é idêntica para todos os casos.

Exemplo de cálculo: *Análise da viabilidade económica para a produção de energia eléctrica no universo de fábricas correspondentes à tipologia A a partir de centrais termoeléctricas convencionais equipadas com motores de combustão interna.*

1º Passo: quantificar os custos de capital inerentes a todos os equipamentos que uma central termoeléctrica deste tipo terá de possuir.

Unidade Densificação_{4t/h} = 180 973 € (Tabela 5.15)

Unidade Gaseificação_{4t/h} = 3 365 603 € (Tabela 5.15)

Central termoeléctrica c/ motor de combustão interna_{2,4 MW} = 1 515 041 € (Tabela 5.15)

Custos totais de capital = Unidade Densificação_{4t/h} + Unidade Gaseificação_{4t/h} + Central termoeléctrica c/ motor de combustão interna_{2,4 MW} = 180 973 + 3 365 603 + 1 515 041 = 5 061 617 € (Tabela 5.22)

2º Passo: quantificar os encargos com energia eléctrica e potência nestas fábricas nos próximos 20 anos (intervalo de tempo correspondente à vida útil de um motor de combustão interna) na situação tradicional assumindo que não existirão alterações em termos de consumo durante o período em análise.

Consumo médio_{anual} (kWh/ano) = 3 262 351 kWh/ano (Tabela 5.7)

Custo médio_{20 anos} (€/kWh) = 0,1244 €/kWh (Tabela 5.18)

$$\begin{aligned} \text{Encargos Energia Eléctrica}_{20 \text{ anos}} (\text{€/ano}) &= \\ \text{Consumo médio}_{\text{anual}} (\text{kWh/ano}) \times \text{Custo médio}_{20 \text{ anos}} (\text{€/kWh}) &= 3\,262\,351 \times \\ 0,1244 &= 405\,836 \text{ €/ano} \end{aligned}$$

$$\text{Custo}_{\text{potência contratada}} (\text{€/kW})^{27} = 1,357 \text{ €/kW (Fonte: facturas mensais 2012)}$$

$$\text{Potência instalada}_{\text{situação tradicional}} (\text{kW}) = 1900 \text{ kW (Tabela 5.7)}$$

$$\begin{aligned} \text{Encargos Potência}_{20 \text{ anos}} (\text{€/ano}) &= \text{Custo}_{\text{potência contratada}} (\text{€/kW}) \times \\ \text{Potência instalada}_{\text{situação tradicional}} (\text{kW}) \times 12 &= 1,357 \times 1900 \times 12 = \\ 30\,940 \text{ €/ano} \end{aligned}$$

$$\text{Lucro venda cascas de arroz} (\text{€/ano}) = 133\,543 \text{ €/ano (Tabela 5.14)}$$

$$\begin{aligned} \text{Encargos totais Energia Eléctrica}_{20 \text{ anos}} (\text{€/ano}) &= \\ \text{Encargos Energia Eléctrica}_{20 \text{ anos}} (\text{€/ano}) + \text{Encargos Potência}_{20 \text{ anos}} (\text{€/ano}) - \\ \text{Lucro venda cascas de arroz} (\text{€/ano}) &= 405\,836 + 30\,940 - 133\,543 = \\ 303\,233 \text{ € (Tabela 5.22)} \end{aligned}$$

3º Passo: quantificar os encargos inerentes à implementação e manutenção da solução em causa.

$$\text{Encargos totais Energia Eléctrica}_{20 \text{ anos}} (\text{€/ano}) = 0 \text{ €/ano (Tabela 5.19)}$$

$$\text{OPEX}_{\text{unidade densificação}} (\text{€/ano}) = 6\,397 \text{ €/ano (Tabela 5.16)}$$

$$\text{OPEX}_{\text{unidade gaseificação}} (\text{€/ano}) = 56\,724 \text{ €/ano (Tabela 5.16)}$$

$$\text{OPEX}_{\text{motor de combustão interna}} (\text{€/ano}) = 39\,314 \text{ €/ano (Tabela 5.16)}$$

$$\text{Excedente}_{\text{cascas}} (\text{ton/ano}) = 197 \text{ ton/ano (Tabela 5.10)}$$

²⁷ O custo com a potência contratada sofrerá alterações no intervalo de tempo analisado contudo não foi possível obter essa variação portanto considerou-se um valor fixo e equivalente ao preço tabelado no ano de 2012 para tarifários de média tensão tetra-horários, tarifa de longas utilizações (EDP). Os custos inerentes à potência em horas de ponta não foram considerados.

$$Lucro_{cascas}(\text{€/ton}) = \frac{Lucro\ total\ (\text{€})}{Cascas\ geradas\ (ton)} = \frac{133\ 543}{7631} = 17,5\ \text{€/ton}$$

$$Lucro_{excedentes\ de\ cascas}\ (\text{€/ano}) = Excedentes_{cascas}\ (ton/ano) \times Lucro_{cascas}\ (\text{€/ton}) = 197 \times 17,5 = 3\ 447\ \text{€/ano}$$

$$Encargos\ totais_{solução}\ (\text{€/ano}) = Encargos\ totais\ Energia\ Eléctrica_{20\ anos}\ (\text{€/ano}) + OPEX_{unidade\ densificação}\ (\text{€/ano}) + OPEX_{unidade\ gaseificação}\ (\text{€/ano}) + OPEX_{motor\ de\ combustão\ interna}\ (\text{€/ano}) - Lucro_{excedentes\ de\ cascas}\ (\text{€/ano}) = 0 + 6397 + 56724 + 39314 - 3447 = 98\ 988\ \text{€/ano}\ (Tabela\ 5.22)$$

4º Passo: quantificar a economia obtida a partir da implementação da solução apresentada.

$$Economia\ obtida\ (\text{€/ano}) = Encargos\ totais\ Energia\ Eléctrica_{20\ anos}\ (\text{€/ano}) - Encargos\ totais_{solução}\ (\text{€/ano}) = 303\ 234 - 98\ 988 = 204\ 246\ \text{€/ano}\ (Tabela\ 5.22)$$

5º Passo: quantificar o intervalo de tempo em que o investimento é recuperado de forma a verificar se a solução é economicamente viável.

$$Pay - back\ (anos) = \frac{Custos\ totais\ de\ capital\ (\text{€})}{Economia\ obtida\ (\text{€/ano})} = \frac{5\ 061\ 617}{204\ 246} \approx 25\ anos\ (Tabela\ 5.22)$$

$$Prejuízo\ (\text{€}) = Custos\ totais\ de\ capital\ (\text{€}) - [Economia\ obtida\ (\text{€/ano}) \times vida\ útil\ (anos)] = 5\ 061\ 617 - (204\ 246 \times 23) \approx 363\ 959\ \text{€}\ (Tabela\ 5.22)$$

Como a vida útil de um motor de combustão interna para a capacidade estipulada ronda os 23 anos e o *pay-back* é superior a esse valor pode concluir-se que a implementação desta solução não é economicamente viável, havendo um prejuízo na ordem dos 363 959 €.

Anexo XXX - Análise da viabilidade económica para a produção isolada de calor

Irá dar-se seguimento ao caso analisado no Anexo XXII, apresentando-se a metodologia de cálculo para apenas esta solução visto que a linha de raciocínio é idêntica para todos os casos.

Exemplo de cálculo: *Análise da viabilidade económica para a produção de calor no universo de fábricas correspondentes à tipologia B a partir da substituição do queimador pré-existente no gerador de vapor por um queimador a pellets preparado para queimar de forma eficiente pellets de casca de arroz.*

1º Passo: quantificar os custos de capital inerentes a todos os equipamentos que terão de ser instalados.

$$\text{Unidade Densificação}_{4t/h} = 180\,973 \text{ € (Tabela 5.15)}$$

$$\text{Queimador de pellets}_{1,45 \text{ MW}} = 15\,479 \text{ € (Tabela 5.15)}$$

$$\begin{aligned} \text{Custos totais de capital} &= \text{Unidade Densificação}_{4t/h} + \text{Queimador de pellets}_{1,45 \text{ MW}} = \\ 180\,973 + 15\,479 &= 196\,452 \text{ € (Tabela 5.23)} \end{aligned}$$

2º Passo: quantificar os encargos com gasóleo nestas fábricas nos próximos 20 anos (corresponde ao tempo de vida útil de uma unidade de densificação com uma capacidade de 4 ton/h) na situação tradicional assumindo que o consumo desta forma de energia será constante durante o período analisado.

$$\text{Consumo médio}_{\text{anual}}(l/\text{ano}) = 210\,603 \text{ l/ano (Facturas mensais 2012)}$$

$$\text{Custo médio}_{20 \text{ anos}}(\text{€/l}) = 1,32 \text{ €/l (Tabela 5.18)}$$

$$\begin{aligned} \text{Encargos Gasóleo}_{20 \text{ anos}}(\text{€/ano}) &= \text{Consumo médio}_{\text{anual}}(l/\text{ano}) \times \text{Custo médio}_{20 \text{ anos}}(\text{€/l}) = \\ 210\,603 \times 1,32 &= 277\,996 \text{ €/ano} \end{aligned}$$

$$\text{Lucro venda cascas de arroz}(\text{€/ano}) = 131\,250 \text{ €/ano (Tabela 5.14)}$$

$$\begin{aligned} \text{Encargos totais Gasóleo}_{20 \text{ anos}} (\text{€/ano}) &= \text{Encargos Gasóleo}_{20 \text{ anos}} (\text{€/ano}) - \\ \text{Lucro venda cascas de arroz} (\text{€/ano}) &= 277\,996 - 131\,250 = \\ 146\,746 \text{ €} & \text{ (Tabela 5.23)} \end{aligned}$$

3º Passo: quantificar os encargos inerentes à implementação e manutenção da solução em causa.

$$\text{Encargos totais Gasóleo}_{20 \text{ anos}} (\text{€/ano}) = 0 \text{ €/ano (Tabela 5.20)}$$

$$\text{OPEX}_{\text{unidade densificação}} (\text{€/ano}) = 6\,397 \text{ €/ano (Tabela 5.16)}$$

$$\text{OPEX}_{\text{queimador}} (\text{€/ano}) = 1000 \text{ €/ano (Tabela 5.16)}$$

$$\text{Excedente}_{\text{cascas}} (\text{ton/ano}) = 5\,056 \text{ ton/ano (Tabela 5.11)}$$

$$\text{Lucro}_{\text{cascas}} (\text{€/ton}) = \frac{\text{Lucro total (€)}}{\text{Cascas geradas (ton)}} = \frac{131\,250}{7500} = 17,5 \text{ €/ton}$$

$$\begin{aligned} \text{Lucro}_{\text{excedentes de cascas}} (\text{€/ano}) &= \text{Excedentes}_{\text{cascas}} (\text{ton/ano}) \times \text{Lucro}_{\text{cascas}} (\text{€/ton}) \\ &= 5\,056 \times 17,5 = 88\,476 \text{ €/ano} \end{aligned}$$

A exploração de uma unidade de densificação para produzir uma quantidade de pellets suficiente para gerar o calor necessário ao processo resulta em custos adicionais com energia eléctrica e potência que terão de ser contabilizados.

$$\begin{aligned} \text{Cascas}_{\text{geração calor}} (\text{ton/ano}) &= \text{Cascas}_{\text{disponíveis}} (\text{ton/ano}) - \text{Excedente}_{\text{cascas}} (\text{ton/ano}) = \\ 7\,500 - 5\,056 &= 2444 \text{ ton/ano} \end{aligned}$$

Sabendo o consumo de energia eléctrica da unidade de densificação para produzir 7500 toneladas de pellets é possível quantificar o seu consumo para uma produção ajustada às necessidades de calor destas tipologias de fábricas, assumindo que o consumo de energia eléctrica varia linearmente em função da produção de pellets.

$$\text{Consumo}_{7500 \text{ ton/ano}} (\text{kWh/ano}) = 973\,880 \text{ kWh/ano (Fabricantes)}$$

$$\text{Custo médio}_{20 \text{ anos}} (\text{€/kWh}) = 0,1244 \text{ €/kWh (Tabela 5.18)}$$

$$\text{Consumo}_{2444 \text{ ton/ano}} (\text{kWh/ano}) =$$

$$\frac{\text{Consumo}_{7500 \text{ ton/ano}} (\text{kWh/ano}) \times \text{Casca}_{\text{geração calor}} (\text{ton/ano})}{\text{Casca}_{\text{disponíveis}} (\text{ton/ano})} = \frac{973\,880 \times 2444}{7500} = 317\,355 \text{ kWh/}$$

ano

$$\text{Encargos Energia Eléctrica}_{20 \text{ anos}} (\text{€/ano}) = \text{Consumo}_{2444 \text{ ton/ano}} (\text{kWh/ano}) \times$$

$$\text{Custo médio}_{20 \text{ anos}} (\text{€/kWh}) = 317\,355 \times 0,1244 = 39\,479 \text{ €/ano}$$

Sabendo que a potência debitada pela unidade de densificação para uma produção de 4 ton/h é de 500kW é possível quantificar os encargos com potência adicionais para geração de calor.

$$\text{Custo}_{\text{potência contratada}} (\text{€/kW}) = 1,357 \text{ €/kW (Facturas mensais 2012)}$$

$$\text{Potência adicional}_{\text{unidade densificação}} (\text{kW}) = 500 \text{ kW (Tabela 5.7)}$$

$$\text{Encargos Potência}_{20 \text{ anos}} (\text{€/ano}) = \text{Custo}_{\text{potência contratada}} (\text{€/kW}) \times$$

$$\text{Potência instalada}_{\text{unidade densificação}} (\text{kW}) \times 12 = 1,357 \times 500 \times 12 =$$

$$8\,142 \text{ €/ano}$$

$$\text{Encargos totais}_{\text{solução}} (\text{€/ano})^{28} = \text{Encargos totais Gasóleo}_{20 \text{ anos}} (\text{€/ano}) +$$

$$\text{OPEX}_{\text{unidade densificação}} (\text{€/ano}) + \text{OPEX}_{\text{queimador}} (\text{€/ano}) +$$

$$\text{Encargos Energia Eléctrica}_{20 \text{ anos}} (\text{€/ano}) + \text{Encargos Potência}_{20 \text{ anos}} (\text{€/}$$

$$\text{ano}) - \text{Lucro excedentes de cascas} (\text{€/ano}) = 0 + 6397 + 1000 + 39\,479 + 8\,142 -$$

$$88\,476 = -33\,458 \text{ €/ano (Tabela 5.23)}$$

²⁸ Os encargos totais inerentes à implementação desta solução têm valor negativo devido fundamentalmente aos baixos custos de operação e manutenção da unidade de densificação e do queimador a pellets serem supridos pelos lucros obtidos com os excedentes das cascas de arroz.

4º Passo: quantificar a economia obtida a partir da implementação da solução apresentada.

$$\begin{aligned} \text{Economia obtida (€/ano)} &= \text{Encargos totais Gasóleo}_{20 \text{ anos}} \text{ (€/ano)} - \\ \text{Encargos totais}_{\text{solução}} \text{ (€/ano)} &= 146\,746 - (-33\,458) = 180\,204 \text{ €/} \\ \text{ano (Tabela 5.23)} \end{aligned}$$

5º Passo: quantificar o intervalo de tempo em que o investimento é recuperado de forma a verificar se a solução é economicamente viável.

$$\text{Pay - back (anos)} = \frac{\text{Custos totais de capital (€)}}{\text{Economia obtida (€/ano)}} = \frac{196\,452}{180\,204} \approx 1 \text{ ano (Tabela 5.23)}$$

$$\begin{aligned} \text{Lucro (€)} &= [\text{vida útil (anos)} - \text{Pay - back (anos)}] \times \text{Economia obtida (€/} \\ \text{ano)} &= (20 - 1) \times 180\,204 = 3\,423\,876 \text{ € (Tabela 5.23)} \end{aligned}$$

Como a vida útil de uma unidade de densificação com uma capacidade de 4 ton/h ronda os 20 anos e o *pay-back* é muito inferior a esse valor pode concluir-se que a implementação desta solução é economicamente viável, proporcionando um lucro na ordem dos 3 423 876 €.

Anexo XXXI - Análise da viabilidade económica para a produção combinada de energia eléctrica e calor

Irá dar-se seguimento ao caso analisado no Anexo XXIII, apresentando-se a metodologia de cálculo para apenas esta solução visto que a linha de raciocínio é idêntica para todos os casos.

Exemplo de cálculo: *Análise da viabilidade técnica para a produção combinada de energia eléctrica e calor no universo de fábricas correspondentes à tipologia B a partir de centrais termoeléctricas de cogeração equipadas com turbinas a vapor alimentadas a pellets.*

1º Passo: quantificar os custos de capital inerentes a todos os equipamentos que terão de ser instalados.

Unidade Densificação_{4t/h} = 180 973 € (Tabela 5.15)

*Central termoeléctrica c/cogeração e turbina a vapor_{2,85 MW} =
2 278 655 € (Tabela 5.15)*

Custos totais de capital =

Unidade Densificação_{4t/h} +

*Central termoeléctrica c/cogeração e turbina a vapor_{2,85 MW} = 180 973 +
2 278 655 = 2 459 628 € (Tabela 5.24)*

2º Passo: quantificar os encargos com energia nestas fábricas (num intervalo de tempo correspondente ao tempo de vida útil de uma turbina a vapor com uma capacidade de 2,85MW) na situação tradicional assumindo que o consumo de energia eléctrica e gasóleo não irão apresentar grandes variações ao longo do período analisado.

Gasóleo

Consumo médio anual_{gasóleo} (l/ano) =

210 603 l/ano (Facturas de gasóleo 2012)

Custo médio_{20 anos} (€/l) = 1,320 €/l (Tabela 5.18)

$$\text{Encargos Gasóleo}_{20 \text{ anos}} (\text{€/ano}) = \text{Consumo médio}_{\text{anual}} (\text{l/ano}) \times \text{Custo médio}_{20 \text{ anos}} (\text{€/l}) = 210\,603 \times 1,320 = 277\,996 \text{ €/ano}$$

Energia eléctrica

$$\text{Consumo médio}_{\text{anual}} (\text{kWh/ano}) = 3\,996\,883 \text{ kWh/ano (Tabela 5.7)}$$

$$\text{Custo médio}_{20 \text{ anos}} (\text{€/kWh}) = 0,1244 \text{ €/kWh (Tabela 5.18)}$$

$$\text{Encargos Energia Eléctrica}_{20 \text{ anos}} (\text{€/ano}) =$$

$$\text{Consumo médio}_{\text{anual}} (\text{kWh/ano}) \times \text{Custo médio}_{20 \text{ anos}} (\text{€/kWh}) = 3\,996\,883 \times 0,1244 = 497\,212 \text{ €/ano}$$

$$\text{Custo}_{\text{potência contratada}} (\text{€/kW}) = 1,357 \text{ €/kW (Facturas mensais 2012)}$$

$$\text{Potência instalada}_{\text{situação tradicional}} (\text{kW}) = 2350 \text{ kW (Tabela 5.7)}$$

$$\text{Encargos Potência}_{20 \text{ anos}} (\text{€/ano}) = \text{Custo}_{\text{potência contratada}} (\text{€/kW}) \times$$

$$\text{Potência instalada}_{\text{situação tradicional}} (\text{kW}) \times 12 = 1,357 \times 2350 \times 12 = 38\,267 \text{ €/ano}$$

$$\text{Lucro venda cascas de arroz} (\text{€/ano}) = 131\,250 \text{ €/ano (Tabela 5.14)}$$

$$\text{Encargos totais energia}_{20 \text{ anos}} (\text{€/ano}) = \text{Encargos Gasóleo}_{20 \text{ anos}} (\text{€/ano}) +$$

$$\text{Encargos Energia eléctrica}_{20 \text{ anos}} (\text{€/ano}) + \text{Encargos Potência}_{20 \text{ anos}} (\text{€/ano}) -$$

$$\text{Lucro venda cascas de arroz} (\text{€/ano}) = 277\,996 + 497\,212 + 38\,267 - 131\,250 = 682\,225 \text{ € (Tabela 5.24)}$$

3º Passo: quantificar os encargos inerentes à implementação e manutenção da solução em causa.

$$\text{OPEX}_{\text{turbina vapor } 2,85\text{MW}} (\text{€/ano})^{29} = 9\,506 \text{ €/ano (Tabela 5.16)}$$

²⁹ O valor que consta na Tabela 5.16 resulta da média efectuada para a exploração dos vários combustíveis numa central deste tipo (pellets, gás de síntese e bio óleo) e portanto difere do valor apresentado que diz respeito ao custo de operação e manutenção de uma central deste tipo alimentada a pellets.

$$OPEX_{\text{unidade densificação}} (\text{€/ano}) = 6\,397 \text{ €/ano (Tabela 5.16)}$$

$$\text{Encargos totais Gasóleo}_{20 \text{ anos}} (\text{€/ano}) = 0 \text{ €/ano (Tabela 5.20)}$$

$$\text{Encargos Energia eléctrica}_{20 \text{ anos}} (\text{€/ano}) = 284\,433 \text{ €/ano (Tabela 5.19)}$$

$$\text{Encargos potência}_{20 \text{ anos}} (\text{€/ano}) = 46\,409 \text{ €/ano (Tabela 5.21)}$$

$$\text{Encargos totais}_{\text{solução}} (\text{€/ano}) =$$

$$OPEX_{\text{unidade densificação}} (\text{€/ano}) + OPEX_{\text{turbina vapor 2,85MW}} (\text{€/ano}) +$$

$$\text{Encargos totais Gasóleo}_{20 \text{ anos}} (\text{€/ano}) + \text{Encargos Energia eléctrica}_{20 \text{ anos}} (\text{€/ano}) + \text{Encargos potência}_{20 \text{ anos}} (\text{€/ano}) = 6397 + 9506 + 0 + 284433 +$$

$$46409 = 346\,746 \text{ €/ano (Tabela 5.24)}$$

4º Passo: quantificar a economia obtida a partir da implementação da solução apresentada.

$$\text{Economia obtida} (\text{€/ano}) = \text{Encargos totais Energia}_{20 \text{ anos}} (\text{€/ano}) -$$

$$\text{Encargos totais}_{\text{solução}} (\text{€/ano}) = 682\,225 - 346\,746 =$$

$$335\,479 \text{ €/ano (Tabela 5.24)}$$

5º Passo: quantificar o intervalo de tempo em que o investimento é recuperado de forma a verificar se a solução é economicamente viável.

$$\text{Pay - back (anos)} = \frac{\text{Custos totais de capital (€)}}{\text{Economia obtida (€/ano)}} = \frac{2\,459\,628}{335\,479} \approx 7 \text{ anos (Tabela 5.24)}$$

$$\text{Lucro (€)} = [\text{vida útil (anos)} - \text{Pay - back (anos)}] \times \text{Economia obtida (€/ano)} = (20 - 7) \times 335\,479 = 4\,369\,227 \text{ € (Tabela 5.24)}$$

Como a vida útil de uma turbina a vapor com uma capacidade de 2,85MW ronda os 20 anos e o *pay-back* é inferior a esse valor pode concluir-se que a implementação desta solução é economicamente viável, proporcionando um lucro na ordem dos 4 361 227 €.

Anexo XXXII - Análise da viabilidade económica para a produção de energia eléctrica e calor de forma individual

Irá dar-se seguimento ao caso analisado no Anexo XXIV, apresentando-se a metodologia de cálculo para apenas esta solução visto que a linha de raciocínio é idêntica para os restantes casos analisados.

Exemplo de cálculo: *Análise da viabilidade económica para a produção individual de energia eléctrica e calor no universo de fábricas correspondentes à tipologia C a partir de centrais termoeléctricas convencionais equipadas com motores de combustão interna a gás e a substituição dos queimadores pré-existentes a gás natural por queimadores a pellets, respectivamente.*

1º Passo: quantificar os custos de capital inerentes a todos os equipamentos que terão de ser instalados.

Unidade densificação_{3t/h} = 180 973 € (Tabela 5.15)

Unidade gaseificação_{3t/h} = 3 365 603 € (Tabela 5.15)

*Central termoeléctrica c/motor de combustão interna_{1,75 MW} =
1 107 464 € (Tabela 5.15)*

Queimador de pellets_{1,45 MW} = 15 479 € (Tabela 5.15)

Custos totais de capital =

Unidade Densificação_{3t/h} + Unidade gaseificação_{3t/h} +

Central termoeléctrica c/motor de combustão interna_{1,75 MW} +

Queimador de pellets_{1,45 MW} = 180 973 + 3 365 603 + 1 107 464 + 15 479 =

4 669 519 € (Tabela 5.25)

2º Passo: quantificar os encargos com energia nestas fábricas (num intervalo de tempo correspondente ao tempo de vida útil de um motor de combustão interna com uma

capacidade de 1,75MW) na situação tradicional assumindo que o consumo de gás natural e energia eléctrica não apresentou variações durante o período analisado.

Gás Natural

$Consumo\ médio\ anual_{gás\ natural}(kWh/ano) =$
 $2\ 343\ 370\ l/ano\ (Facturas\ mensais\ 2012)$

$Custo\ médio_{20\ anos}(€/kWh) = 0,047\ €/kWh\ (Tabela\ 5.18)$

$Encargos\ Gás\ Natural_{20\ anos}(€/ano) = Consumo\ médio_{anual}(kWh/ano) \times$
 $Custo\ médio_{20\ anos}(€/kWh) = 2\ 343\ 370 \times 0,047 = 110\ 138\ €/ano$

Energia eléctrica

$Consumo\ médio_{anual}(kWh/ano) = 2\ 306\ 602\ kWh/ano\ (Tabela\ 5.7)$

$Custo\ médio_{20\ anos}(€/kWh) = 0,1244\ €/kWh\ (Tabela\ 5.18)$

$Encargos\ Energia\ Eléctrica_{20\ anos}(€/ano) =$
 $Consumo\ médio_{anual}(kWh/ano) \times Custo\ médio_{20\ anos}(€/kWh) = 2\ 306\ 602 \times$
 $0,1244 = 286\ 941\ €/ano$

$Custo_{potência\ contratada}(€/kW) = 1,357€/kW\ (Facturas\ mensais\ 2012)$

$Potência\ instalada_{situação\ tradicional}(kW) = 1347\ kW\ (Tabela\ 5.7)$

$Encargos\ Potência_{20\ anos}(€/ano) = Custo_{potência\ contratada}(€/kW) \times$
 $Potência\ instalada_{situação\ tradicional}(kW) \times 12 = 1,357 \times 1347 \times 12 =$
 $21\ 935\ €/ano$

$Lucro\ venda\ cascas\ de\ arroz\ (€/ano) = 27\ 311\ €/ano\ (Tabela\ 5.14)$

$Encargos\ totais\ energia_{20\ anos}(€/ano) = Encargos\ Gás\ Natural_{20\ anos}(€/ano) +$
 $Encargos\ Energia\ eléctrica_{20\ anos}(€/ano) + Encargos\ Potência_{20\ anos}(€/ano) -$

Lucro venda cascas de arroz (€/ano) = 110 138 + 286 941 + 21 935 – 27 311 = 391 703 € (Tabela 5.25)

3º Passo: quantificar os encargos inerentes à implementação e manutenção da solução em causa.

OPEX_{unidade densificação} (€/ano) = 6 397 €/ano (Tabela 5.16)

OPEX_{unidade gaseificação} (€/ano) = 56 724 €/ano (Tabela 5.16)

OPEX_{motor combustão interna 1,75 MW} (€/ano)³⁰ = 5 769€/ano (Tabela 5.16)

OPEX_{queimador de pellets 1,75MW} (€/ano) = 1 000€/ano (Tabela 5.16)

Encargos totais Gás Natural_{20 anos} (€/ano) = 0 €/ano (Tabela 5.20)

Encargos Energia eléctrica_{20 anos} (€/ano) = 296 789 €/ano (Tabela 5.19)

Encargos potência_{20 anos} (€/ano) = 16 451€/ano (Tabela 5.21)

Encargos totais_{solução} (€/ano) = OPEX_{unidade densificação} (€/ano) + OPEX_{unidade gaseificação} (€/ano) + OPEX_{motor combustão interna 1,75MW} (€/ano) + OPEX_{queimador pellets 1,75MW} (€/ano) + Encargos totais Gás Natural_{20 anos} (€/ano) + Encargos Energia eléctrica_{20 anos} (€/ano) + Encargos potência_{20 anos} (€/ano) = 6 397 + 56 724 + 5 769 + 1 000 + 0 + 296 789 + 16 451 = 383 130€/ano (Tabela 5.25)

4º Passo: quantificar a economia obtida a partir da implementação da solução apresentada.

Economia obtida (€/ano) = Encargos totais Energia_{20 anos} (€/ano) –

Encargos totais_{solução} (€/ano) = 391 703 – 383 130 = 8 573€/ano (Tabela 5.25)

³⁰ O valor dos custos de operação e manutenção com o motor de combustão interna diferem do valor apresentado na Tabela 5.16 porque a produção de energia eléctrica neste caso é inferior à dos restantes casos apresentados devido a parte dos *pellets* serem utilizados para geração de calor.

5º Passo: quantificar o intervalo de tempo em que o investimento é recuperado de forma a verificar se a solução é economicamente viável.

$$\text{Pay - back (anos)} = \frac{\text{Custos totais de capital (€)}}{\text{Economia obtida (€/ano)}} = \frac{4\,669\,519}{8\,573} \approx 545 \text{ anos (Tabela 5.25)}$$

$$\text{Prejuízo (€)} = \text{Custos totais de capital (€)} - [\text{Economia obtida (€/ano)} \times \text{vida útil (anos)}] = 4\,669\,519 - (8\,573 \times 23) \approx 4\,472\,340\text{€ (Tabela 5.25)}$$

Como a vida útil de um motor de combustão interna para a capacidade estipulada ronda os 23 anos e o *pay-back* é superior a esse valor pode concluir-se que a implementação desta solução não é economicamente viável, havendo um prejuízo na ordem dos 4 472 340 €.