

## **Projecto PETER. Las Energías Renovables a Ambos Lados de la Raya.**

### Capítulo VII:

Acciones para el desarrollo de las Energías Renovables.

Filomena Pinto, I. Gulyurtlu, António Joyce, Isabel Paula Marques, Carlos Rodrigues, Susana Viana  
INETI, Estrada do Paço do Lumiar, 22, 1649-038 Lisboa, PORTUGAL

E-mail: filomena.pinto@ineti.pt Tel: 351 21 092 4786 Fax: 351 21 716 6569

### **Resumo**

O Parque Experimental de Energias Renováveis da Herdade da Mitra, em Évora integra um sistema de microgeração de abastecimento eléctrico em Portugal, através da integração de diferentes unidades utilizadoras de fontes renováveis: fotovoltaica, eólica, gasificação e digestão anaeróbia. Neste capítulo serão abordadas estas diversas tecnologias, referindo os principais conceitos teóricos que suportam cada uma delas, antes de descrever cada uma das instalações projectadas no âmbito do projecto PETER.

Na instalação de Gasificação a biomassa florestal existente na zona do Parque é utilizada para a produção de um gás. O gasificador de leito fluidizado tem uma capacidade térmica de 350 kW e um consumo de cerca de 80 kg/h de biomassa. Após as operações de limpeza do gás obtido, para melhorar as respectivas características, este é convertido em energia através de um grupo gerador, que é constituído por um motor de combustão interna “dual-fuel” acoplado a um gerador eléctrico de 70 kWe.

A instalação de Digestão Anaeróbia do Parque destina-se à conversão da matéria orgânica da biomassa húmida em biogás, tendo como fonte os efluentes agro-pecuários e industriais que são produzidos na Herdade e/ou na região Alentejana. A unidade de digestão anaeróbia é um protótipo de demonstração que corresponde a um digestor híbrido de fluxo ascendente, com 15 m<sup>3</sup> de capacidade. As unidades de digestão anaeróbia e de gasificação partilham os sistemas de colecta e de tratamento do gás produzido e da sua conversão em energia eléctrica e térmica. A energia eléctrica é, por seu turno, injectada no circuito de microgeração e a energia térmica é valorizada através da manutenção da temperatura de digestão da unidade anaeróbia. Assim, a gestão integrada de diversas tecnologias, vocacionadas para a remoção da carga poluente contida nos efluentes agro-pecuários e para a reutilização dos fluxos obtidos, apresenta-se como um sistema de valorização energética e agrícola de recursos endógenos da região onde são produzidos.

O sistema Fotovoltaico tem uma potência de pico de 10 kW, permitindo a demonstração de diferentes tecnologias de conversão. O sistema Fotovoltaico encontra-se ligado à rede eléctrica da herdade da Mitra.

### **Palavras Chave:**

Gasificação, biomassa florestal, digestão anaeróbia, efluentes agro-pecuários e industriais, valorização energética e agrícola, biogás, fotovoltaico, sistemas ligados à rede.

## Índice

### **VII.1. Introdução**

### **VII.2. Gasificação de biomassa seca**

#### **VII.2.1 Principiais objectivos**

#### **VII.2.2 Processos e reacções de gasificação**

#### **VII.2.3 Sistemas de gasificação e principais aplicações do gás produzido**

#### **VII.2.4 Potencialidades do gás de gasificação**

#### **VII.2.5 Instalação de gasificação existentes no INETI**

#### **VII.2.6 Descrição da instalação de gasificação do projecto PETER**

##### VII.2.6.1 Sistema de gasificação

##### VII.2.6.2 Sistema de alimentação de combustível

##### VII.2.6.3 Sistema de limpeza e condicionamento do gás

##### VII.2.6.4 Grupo gerador

##### VII.2.6.5 Sistema de combustão de gases residuais – “Flare”

### **VII.3. Digestão anaeróbia de biomassa húmida para produção de biogás**

#### **VII.3.1. Introdução**

#### **VII.3.2. Digestão Anaeróbia**

##### VII.3.2.1 Processo da digestão anaeróbia

##### VII.3.2.2 Unidades de digestão

#### **VII.3.3. Instalação: valorização de biomassa húmida**

##### VII.3.3.1 Digestor anaeróbio

##### VII.3.3.2 Sistema de alimentação do digestor

##### VII.3.3.3 Sistema de saída do fluxo digerido

##### VII.3.3.4 Sistema de recolha do biogás

##### VII.3.3.5 Sistema de temperatura do digestor

##### VII.3.3.5 Valoração da Instalação

### **VII.4. Sistema fotovoltaico para produção de energia**

#### **VII.4.1 Introdução**

#### **VII.4.2 Tecnologias de conversão e eficiências**

#### **VII.4.3 Tipos de sistemas**

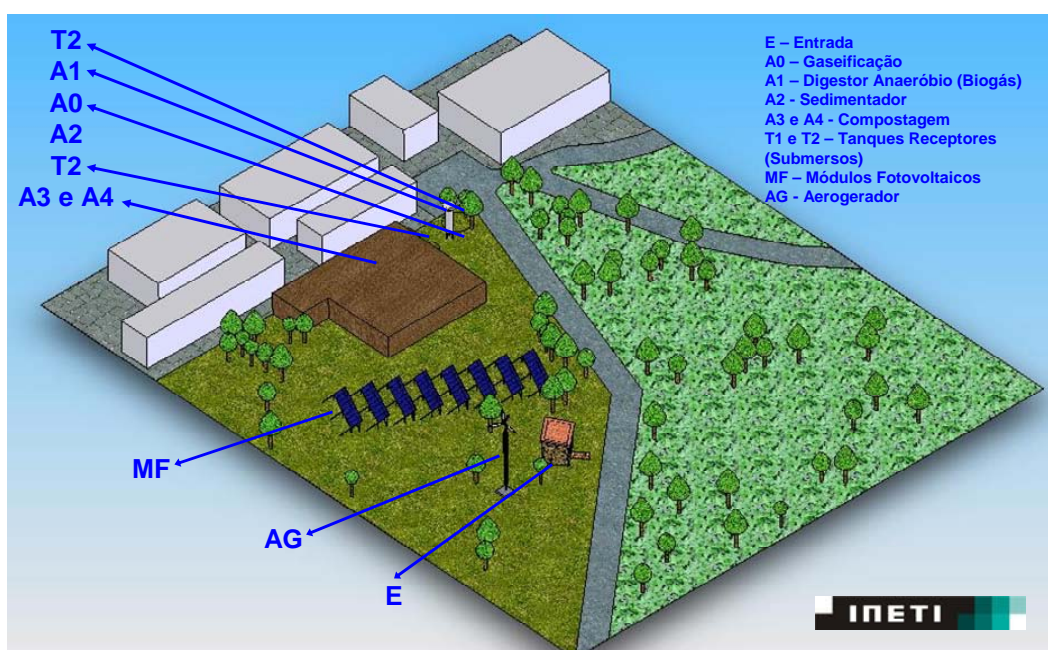
#### **VII.4.4 Aplicações dos sistemas fotovoltaicos**

### **VII.5. Bibliografia**

## VII.1. Introdução

A crescente utilização de energia, necessária ao desenvolvimento económico-social das sociedades modernas, arrasta consigo problemas ambientais, quer a nível local, quer global, que são uma das questões chave do desenvolvimento sustentado. Neste contexto, a produção de energia por novos processos de conversão com recurso a fontes renováveis, como é o caso da biomassa, permite reduzir a emissão de gases de estufa, associada aos combustíveis fósseis, e simultaneamente possibilita a diminuição da dependência energética face aos combustíveis de origem fóssil.

O Parque Experimental de Energias Renováveis da Herdade da Mitra, em Évora enquadra-se na perspectiva de mudança do actual padrão de produção de energia, pela utilização de recursos energéticos endógenos da região do Alentejo, nomeadamente a valorização de biomassa com origem florestal e na agro-pecuária. Este Parque apresenta um sistema de microgeração de abastecimento eléctrico, integrando diferentes unidades utilizadoras de fontes renováveis: fotovoltaica, eólica, gasificação e digestão anaeróbia. Na Figura VII.1 apresenta-se um esquema geral das várias unidades projectadas para o Parque.



**Figura VII.1 Unidades de Produção de Energia do Sistema de Microgeração, Herdade da Mitra – Évora.**

O processo de digestão anaeróbia surge a montante com o objectivo de maximizar a conversão do material orgânico em energia. A jusante do digestor anaeróbio, um parque de compostagem e um sistema de lagoas permitem, respectivamente, efectuar a estabilização da fracção sólida e líquida do substrato digerido. O biogás obtido é tratado em conjunto com o fluxo gasoso resultante da unidade de gasificação e, por fim, convertido num grupo de co-geração para fornecimento de energia eléctrica e térmica à instalação. A energia eléctrica decorrente é integrada no sistema de microgeração enquanto que a energia térmica é, por seu turno,

utilizada na manutenção da temperatura de funcionamento do digester anaeróbio (Figura VII.1). A instalação de digestão anaeróbia caracteriza-se, assim, por ter um funcionamento integrado no desempenho de outras unidades funcionais, com os objectivos de promover a valorização de todos os fluxos decorrentes do tratamento dos efluentes e de tornar rendível o equipamento instalado no Parque.

O processo de gasificação tem como função valorizar energeticamente a biomassa florestal através da produção de um gás, rico em hidrogénio, monóxido e dióxido de carbono e metano. Este gás pode ser usado como combustível ou em síntese química. No Projecto PETER foi considerada a utilização do gás como combustível num motor de combustão interna acoplado a um gerador eléctrico de 70 kWe. O gasificador de leito fluidizado é auto-suficiente do ponto de vista energético e foi projectado para um consumo de cerca de 80 kg/h de biomassa, a qual é gasificada com ar.

Na instalação de digestão anaeróbia do Parque a matéria orgânica da biomassa húmida dos efluentes agro-pecuários e industriais que são produzidos na Herdade da Mitra e/ou na região é convertida em biogás, utilizando-se um digester híbrido de fluxo ascendente, com 15 m<sup>3</sup> de capacidade. Os gases produzidos pelas duas instalações, gasificação e digestão anaeróbia, são processados em unidades comuns de tratamento, para melhorar as suas características e assegurar um gás com a qualidade necessária para permitir a sua conversão em energia eléctrica, através dum motor de combustão interna. A fracção sólida do fluxo degradado por anaerobiose é sujeita a compostagem, originando um produto final (composto) de aplicação agrícola. A fracção líquida, após a respectiva estabilização em lagoas, comporta ainda importantes nutrientes de valor para a agricultura e, por isso, utilizável como água residual em rega.

Os sistemas solares fotovoltaicos convertem directamente a luz do Sol (fótons) em energia eléctrica. Para este fim são utilizados materiais semicondutores que face à radiação solar incidente dão origem a uma corrente eléctrica. Várias tecnologias estão hoje disponíveis para este fim mas a tecnologia baseada na utilização de células de silício cristalino como material semiconductor domina hoje o mercado em cerca de 90 % .

Estes sistemas tiveram as suas primeiras aplicações ao nível espacial e hoje são das principais tecnologias para a conversão de energia solar em energia eléctrica. As suas principais características são a sua grande fiabilidade, a ausência de produção de ruído ou de gases poluentes e de efeito de estufa, a sua modularidade, manutenção baixa e tempos de vida elevados da ordem dos 30 anos, fazendo com que estes sistemas sejam particularmente interessantes para a produção distribuída de energia eléctrica a partir de um recurso renovável.

As aplicações vão desde os pequenos equipamentos como as máquinas de calcular com potências de poucos W até às centrais Fotovoltaicas de vários MW, passando pelos sistemas de sinalização, monitorização, emergência e de bombagem e purificação de água.

Neste capítulo focam-se os principais aspectos da tecnologia de conversão fotovoltaica, referindo-se no final alguns exemplos de aplicação ao nível da Península Ibérica e como os sistemas a instalar no âmbito do Parque Experimental Transfronteiriço de Energias

Renováveis (PETER) poderão ter um efeito dinamizador desta tecnologia e proporcionar desenvolvimento económico ao nível das regiões da raia hispano-portuguesa.

## **VII.2. Gasificação de biomassa**

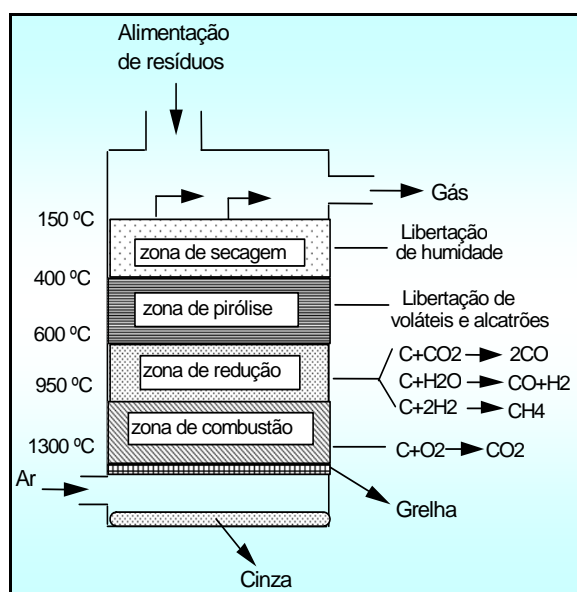
### **VII.2.1 Principiais objectivos**

No projecto PETER pretende-se aplicar a tecnologia de gasificação a resíduos de biomassa para produção de energia eléctrica. Pretende-se desenvolver uma instalação que inclua um gasificador de leito fluidizado e um motor de combustão interna. O gasificador tem uma capacidade térmica de 350 kW e um consumo de cerca de 80 kg/h de biomassa. A biomassa de origem florestal é gasificada com ar e o gás produzido sofre uma limpeza exaustiva por forma a produzir um gás com a qualidade necessária para poder ser utilizado em motores de combustão interna. O grupo gerador será composto por um motor de combustão interna dual-fuel acoplado a um gerador eléctrico de 70 kWe.

### **VII.2.2 Processos e reacções de gasificação**

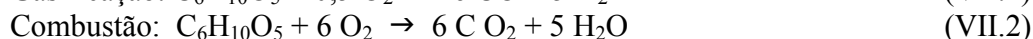
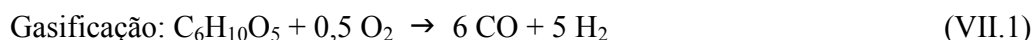
A gasificação é um processo termoquímico que permite converter resíduos de biomassa num gás combustível, rico em hidrogénio, monóxido e dióxido de carbono e metano. Este gás pode também ser usado em síntese química, tal como será abordado mais adiante, por este motivo o gás de gasificação é também designado por gás de síntese. Os produtos da gasificação são maioritariamente gasosos, embora também se produza uma pequena fracção de sólidos, que contêm a matéria mineral existente no resíduo processado e alguma matéria carbonosa não gasificada. Em termos ambientais, a gasificação é uma tecnologia alternativa e mais limpa de produção de energia, pois é um processo mais vantajoso do que a incineração, uma vez que ao operar em meio redutor, não origina óxidos de azoto ou de enxofre, nem dioxinas. A gasificação é realizada em presença do agente de gasificação que pode ser constituído por ar, oxigénio ou vapor de água e a uma temperatura que normalmente oscila entre 800 e 900°C. O ar (ou oxigénio) é introduzido em pequena quantidade, apenas para possibilitar a combustão de uma pequena fracção da biomassa utilizada, de modo a gerar a energia necessária para serem atingidas as temperaturas de gasificação, mas garantindo uma atmosfera redutora no meio reaccional.

A combustão difere da gasificação pela relação ar/combustível que é utilizada. Durante a combustão utiliza-se uma quantidade de oxigénio superior à estequiométrica e forma-se essencialmente dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e vapor de água (H<sub>2</sub>O). Na gasificação é utilizada uma quantidade sub-estequiométrica de oxigénio e ocorre uma sequência complexa de reacções (André, 2007), as quais envolvem sucessivas etapas como: secagem, desvolatilização ou pirólise, redução e oxidação, tal como esquematizado na Figura VII.2. Na desvolatilização por acção térmica, libertam-se compostos voláteis e formando-se um resíduo carbonoso. Os compostos voláteis são constituídos por: H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, fenóis, alcatrões e alguns hidrocarbonetos leves. Numa etapa seguinte ocorre a gasificação do resíduo carbonoso em presença de oxigénio e vapor de água, formando-se gás de síntese.

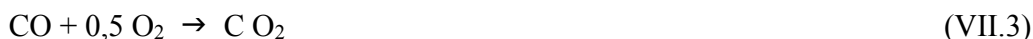


**Figura VII.2 Esquema das principais reacções que ocorrem durante a gasificação de biomassa.**

Admitindo uma biomassa com a composição da celulose ( $C_6H_{10}O_5$ ), podem ilustrar-se as diferenças entre a combustão e a incineração pelas reacções (1) e (2).



A combustão converte a energia química da biomassa em calor, libertando uma energia média de cerca de 17,5 MJ/kg. A gasificação converte o potencial energético da biomassa num gás combustível, sendo a energia envolvida bastante menor 1,85 MJ/kg. O gás de gasificação pode também ser posteriormente queimado, libertando sob a forma de calor da energia química contida no gás, através das reacções de combustão (3) e (4).



É mais vantajoso dispor de um combustível gasoso do que de um sólido, pois o primeiro é mais fácil de transportar e de manusear, a sua combustão é mais eficiente devido aos menores excessos de ar, e também mais limpa, originando menores emissões de poluentes, (menos poluentes gasosos e ausência de partículas ) e há menores deposições de materiais, como fuligem, nas superfícies de permuta de calor. Por outro lado, gases podem ter utilizações mais diversificadas do que os combustíveis sólidos, para além das caldeiras, podem ser queimados em motores de combustão interna e turbinas a gás, podem ser aplicados em ciclos combinados para produção de energia eléctrica e podem ser utilizados em síntese química.

A gasificação de resíduos de biomassa é um processo atractivo (Franco et al., 2003), pois para além das vantagens apontadas, é uma tecnologia adequada à produção descentralizada de

energia e utiliza uma fonte de energia renovável permitindo simultaneamente a eliminação de resíduos.

Para além de biomassa florestal: pinho, eucalipto, azinho, etc., a gasificação pode processar: misturas de fibras têxteis, espumas, papel, etc., resíduos sólidos urbanos (RSU), combustíveis derivados de resíduos (CDR), lamas de ETAR (estações de tratamento de resíduos), bagaço de azeitona, óleos alimentares usados, misturas de plásticos: PE, PP, PS, etc. (Pinto et al., 2005 and 2003). Estes resíduos podem ser usados isoladamente, misturados entre si ou com combustíveis fósseis, como carvão (André et al., 2005).

### VII.2.3 Sistemas de gasificação

Existem essencialmente três tipos de gasificadores: gasificadores de leito fixo, de leito fluidizado e de leito em suspensão, os quais diferem entre si pelo modo como se processa o movimento dos sólidos dentro do gasificador, tal como é apresentado na Tabela 1.

Nos gasificadores de leito fixo as etapas de secagem, desvolatilização, redução e combustão ocorrem separadamente e em pontos distintos do reactor. Existem três tipos diferentes destes gasificadores: contra-corrente, equicorrente e correntes cruzadas, que diferem entre si pela forma como a biomassa e o agente de gasificação são alimentados ao gasificador e pelo modo como o gás produzido é retirado do reactor. Cada um destes tipos de gasificadores apresenta diferentes características de operação e de emissões.

**Tabela VII.1 Tipo de gasificadores e principais características.**

	Leito Fixo	Leito Fluidizado	Leito em Suspensão
Tipo de Combustível	Sólido	Sólido	Sólido e líquido
Granulometria (combust. sólido)	5 – 50 mm	0,5 – 5 mm	< 500 $\mu$ m
Tempo de Residência do Combustível	15 – 30 min	5 – 50 s	1 – 10 s
Temperatura de Saída do Gás	400 – 500 °C	700 – 900 °C	900 – 1 400 °C

Nos gasificadores de leito em suspensão é utilizado vapor, geralmente misturado com oxigénio, para arrastar a biomassa pulverizada. As partículas de biomassa encontram-se suspensas numa corrente gasosa no interior do reactor e por obtêm-se tempos de residência muito curtos e não existem zonas diferenciadas de reacção ao longo do gasificador, tal como se verifica nos reactores de leito fixo. Este tipo de reactor atinge temperaturas elevadas, normalmente superiores a 1500°C, por isso as cinzas fundem e são arrefecida por um banho de água, antes de serem retiradas pelo base do reactor na forma de grânulos. Com as velocidades de gasificação são muito elevadas, não se verificam os problemas de aglomeração que podem existir noutros sistemas. Estes gasificadores têm as desvantagens de apresentarem uma

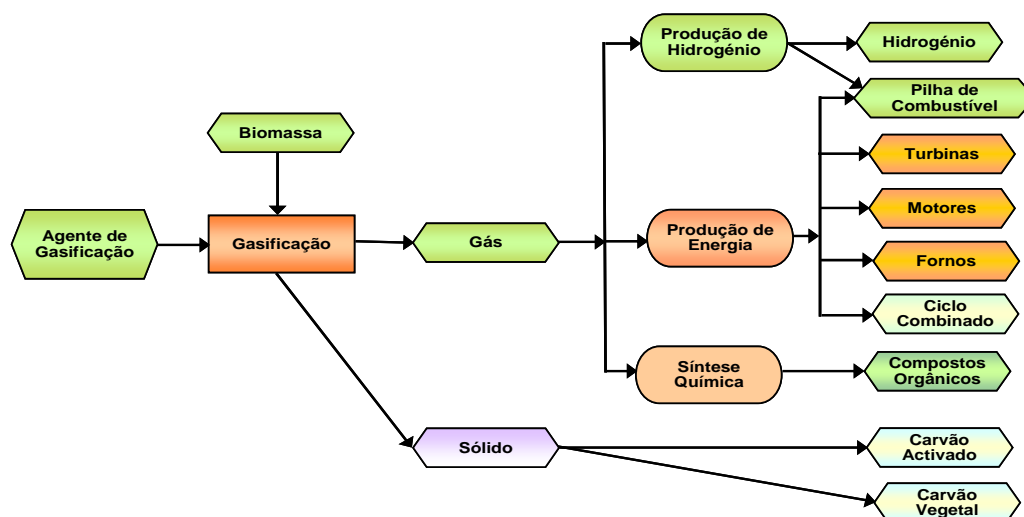
operação complexa e mais difícil do que os de leito fixo, requerem um combustível pulverizado, e ainda grandes superfícies de permuta de calor.

Ao contrário do que se verifica nos gasificadores de leito fixo, no gasificador de leito fluidizado não existem zonas de reacção distintas, devido à fluidização do leito, a secagem, desvolatilização e gasificação ocorrem simultaneamente em todo o leito do reactor, atingindo-se condições praticamente isotérmicas. O agente de gasificação é introduzido no reactor através de um distribuidor e a uma velocidade suficiente para manter o material do leito num estado de suspensão, com características semelhantes às um fluido.

A gasificação em leito fluidizado apresenta várias vantagens, nomeadamente evita a formação de escória de cinzas, pois a temperatura de operação (800 – 900°C) é inferior à temperatura de fusão da maior parte das cinzas existentes nos combustíveis, o que possibilita a utilização de alguns resíduos de biomassa, como bagasso de azeitona, que não podem ser usados em gasificadores de leito fixo. Por outro lado, os gasificadores de leito fluidizado facilitam o controle da temperatura de operação e os fenómenos de transferência de massa e de calor, devido natureza turbulenta do leito fluidizado e à elevada miscibilidade dos materiais. Este tipo de reactores apresenta uma elevada retenção de contaminantes no leito fluidizado utilizando no leito adsorventes contendo cálcio e por têm menor emissão de poluentes. Pelas vantagens referidas, este tipo de gasificadores tem sido bastante utilizado sobretudo para processar diferentes tipos de resíduos.

#### VII.2.4 Potencialidades do gás de gasificação

O gás de gasificação pode ter diferentes utilizações, as quais se podem agrupar fundamentalmente em três tipos, como combustível, para produção de hidrogénio ou como matéria prima em síntese química. Na Figura VII.3 apresentam-se as principais utilizações do gás produzido por gasificação.



**Figura VII.3 Esquema ilustrativo das principais aplicações do gás produzido por gasificação de biomassa.**

A capacidade do gás para ser usado como combustível está essencialmente dependente do seu poder calorífico e este depende do agente de gasificação utilizado no processo de gasificação. Como o uso de oxigénio puro é caro, normalmente utiliza-se ar e por isso o gás produzido fica diluído com o azoto do ar, e o seu poder calorífico é baixo, apresentando valores entre 4 e 6 MJ/Nm<sup>3</sup>, comparado com os 36 MJ/Nm<sup>3</sup> do gás natural (Franco et al., 2003). Este processo tem a vantagem da energia necessária ao processo poder ser fornecida pela combustão parcial da biomassa utilizada. O baixo poder calorífico do gás obtido não permite o seu transporte ou armazenamento, pelo que só pode ser usado no local onde é gerado. Para conseguir um rendimento global mais elevado, deve recuperar-se o calor sensível dos gases de combustão, pela sua utilização em operações de aquecimento, secagem, etc. ou através do seu uso em geradores de vapor, fornos, etc.

A gasificação em presença de oxigénio produz um gás com um poder calorífico mais elevado, na gama 10-15 MJ/Nm<sup>3</sup>. Em presença de vapor também se obtém um gás de médio poder calorífico com valores que podem oscilar entre 13-20 MJ/Nm<sup>3</sup>. Este gás de médio poder calorífico pode ser transportado economicamente a longas distâncias e usado para a geração de calor e/ou energia eléctrica. Mas neste caso é necessário fornecer ao gasificador o calor necessário ao processo, o que pode ser feito por uma câmara de combustão exterior ao reactor de gasificação, sendo o calor produzido, fornecido ao gasificador através de um material inerte (areia) que circula entre o gasificador e a câmara de combustão ou através da utilização de um permutador de calor no interior do leito.

O gás de gasificação pode também ser utilizado em síntese química após remoção dos constituintes prejudiciais à sua posterior utilização, por meios mecânicos (filtração, separação por ciclones, etc.), por lavagem com água, por absorção física ou química e por conversão termoquímica (Pinto et al., 2008). A razão H<sub>2</sub>/CO que o gás de síntese deve apresentar depende da síntese química em que ele vai participar. Para aumentar o valor desta razão, parte do gás pode ser enviado a um reactor, onde em presença de vapor e de um catalisador adequado, o CO é convertido em CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>, sendo o excesso de CO<sub>2</sub> posteriormente removido. Este gás purificado pode ser utilizado em síntese de metanol ou síntese de Fischer-Tropsch. Alternativamente, pode promover-se a conversão de CO em H<sub>2</sub>, de modo a obter hidrogénio, o qual pode ser utilizado para alimentar uma pilha de combustível ou sofrer combustão para produção de energia.

Na síntese de metanol, o CO, CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub> são convertidos em metanol em presença de catalisadores e de condições de temperatura e de pressão adequadas. O metanol obtido é purificado por destilação e pode ser posteriormente convertido em gasolina pelo processo Mobil MTG, que utiliza zeólitos. Vários tipos de compostos podem ser obtidos conforme as reacções químicas que ocorrem, as quais dependem das condições operatórias e dos catalisadores utilizados. As misturas de hidrocarbonetos obtidas apresentam predominantemente temperaturas de ebulição semelhantes às da gasolina, embora se forme uma pequena fracção de GPL (gás de petróleo liquefeito) e uma quantidade ainda menor de gás.

Na síntese de Fischer-Tropsch obtém-se uma vasta gama de hidrocarbonetos (parafinas e olefinas) e de produtos oxigenados (álcoois), os quais dependem dos catalisadores e das condições operatórias utilizadas. Quando ocorre a formação de uma vasta gama de produtos é necessário proceder à sua separação. A utilização de zeólitos mais selectivos e de condições de pressão e temperatura adequadas permite aumentar a quantidade e a qualidade da gasolina produzida e reduz a formação de hidrocarbonetos pesados e de produtos oxigenados, o que permite eliminar ou simplificar as operações de separação dos compostos obtidos por Fischer-Tropsch.

### VII.2.5 Instalação de gasificação existentes no INETI

Durante a última década, o Departamento de Engenharia Energética e Controlo Ambiental do INETI tem vindo a desenvolver trabalhos de investigação na área da gasificação de biomassa com tecnologia de leito fluidizado através da utilização das suas instalações de gasificação para a execução do trabalho experimental. Para cada tipo de resíduos de biomassa gasificado têm sido optimizadas as condições experimentais de gasificação, que permitam maximizar a produção de gás e simultaneamente melhorar as suas características, minimizando a libertação de contaminantes e de sub-produtos sólidos. Para o efeito, o INETI possui duas instalações de gasificação, uma delas é apresentada na Figura VII.4 (a) e permite alimentar cerca de 10 g/min de resíduos de biomassa a um reactor com 1,5m de altura e um diâmetro de 0,08 m. Após abandonar o gasificador o gás produzido passa por um ciclone para remoção de partículas sólidas, seguindo depois para um sistema de arrefecimento e de filtros, após o que são recolhidas amostras de gás para análise química. O outro reactor de gasificação tem com 3,5 m de altura e 0, 2m de diâmetro e permite gasificar cerca de 8 kg/h de resíduos, Figura VII.4 (b).



(a) Instalação laboratorial de gasificação.



(b) Reactor piloto de gasificação.

**Figura VII.4 Instalações de gasificação existentes no INETI.**

As partículas sólidas transportadas pelo gás produzido pelo gasificador piloro são também removidas num ciclone. A fim de melhorar as características do gás e de remover alguns dos seus constituintes indesejáveis, O INETI acoplou a esta instalação dois reactores apresentados na Figura VII.5. O primeiro utiliza um leito de dolomite e tem como objectivo a remoção de H<sub>2</sub>S e de HCl e o segundo utiliza um catalisador de níquel e destina-se à eliminação de alcatrões e de amónia (Pinto et al., 2007). O INETI pretende no futuro acoplar a esta instalação um novo reactor que permita enriquecer o gás em hidrogénio, através da conversão de CO em CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>, tal como descrito em VII.2.4.



**Figura VII.5 Instalações de gasificação existentes no INETI.**

### **VII.2.6 Descrição da instalação de gasificação do projecto PETER**

O trabalho desenvolvido pelo INETI e os conhecimentos adquiridos na área de gasificação de resíduos de biomassa permitiram projectar, no âmbito do projecto PETER, uma instalação para a produção de energia eléctrica a partir da biomassa, utilizando um sistema de gasificação de leito fluidizado integrado com um motor a gás. O gasificador de leito fluidizado tem uma capacidade térmica de 350 kW e um consumo de cerca de 80 kg/h de biomassa. Neste reactor, a biomassa de origem florestal é gasificada com ar, sendo o processo auto-suficiente do ponto de vista energético. O gás produzido sofre uma limpeza exaustiva por forma a produzir um gás com a qualidade necessária para utilização em motores de combustão interna. O grupo gerador será composto por um motor de combustão interna dual-fuel acoplado a um gerador eléctrico de 70 kWe.

A instalação proposta está apresentada no diagrama da Figura VII.6.

Instalação de Gasificação de Biomassa com Motor de Combustão Interna de 70 kWe

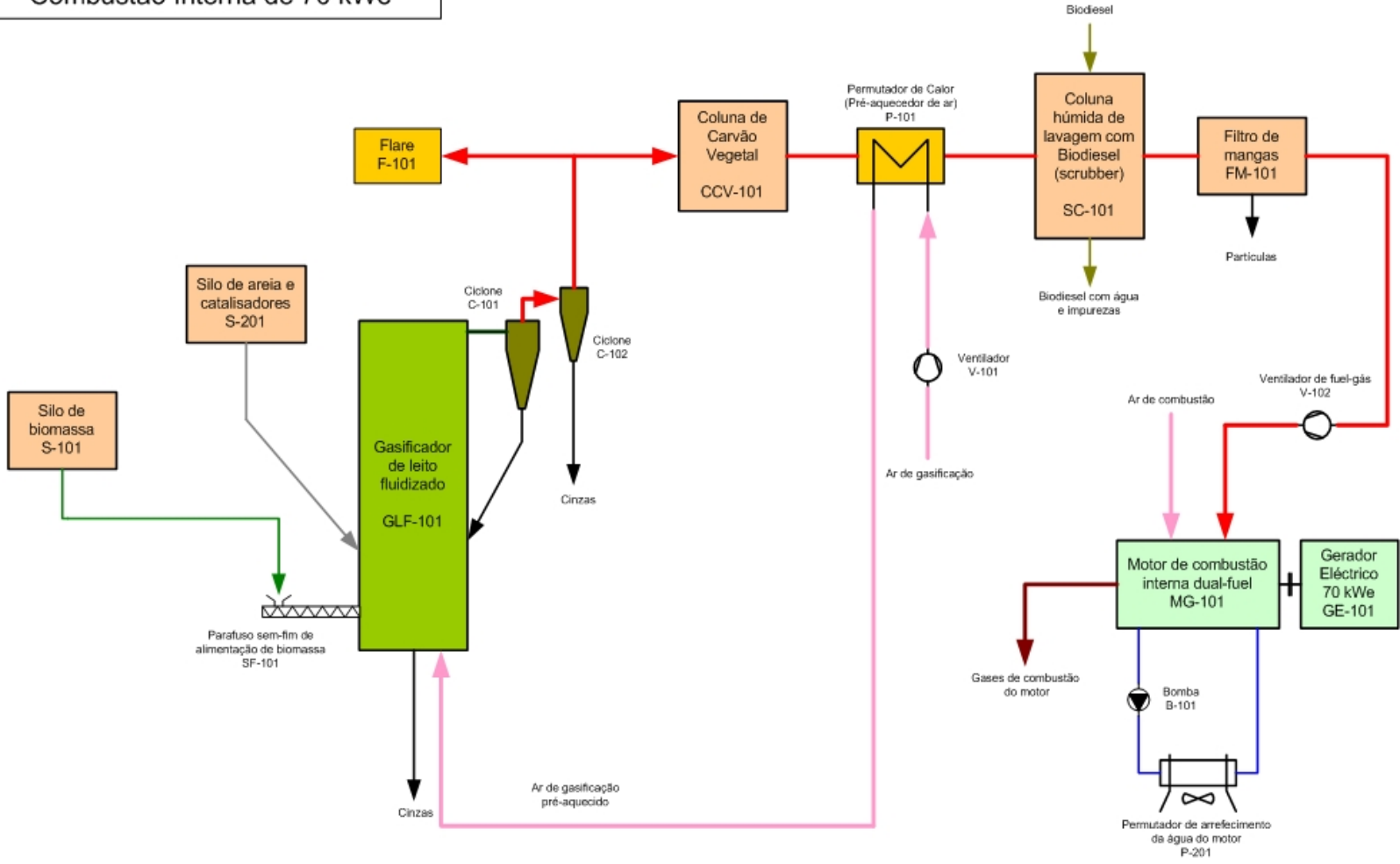


Figura VII.6 Diagrama da instalação de gasificação de biomassa com motor de combustão interna de 70 MWe.

A instalação é essencialmente composta pelos seguintes sistemas:

- Sistema de gasificação em leito fluidizado;
- Sistema de alimentação de biomassa;
- Sistema de limpeza e condicionamento do gás;
- Grupo gerador com motor a gás;
- Sistema de combustão de gases residuais (flare ou chama de segurança).

#### **VII.2.6.1 Sistema de gasificação**

O sistema de gasificação é essencialmente composta pelos seguintes componentes:

- Gasificador de leito fluidizado;
- Grupos de ciclones;
- Sistema de alimentação de ar;
- Sistema de alimentação de material do leito;
- Sistema de extracção de cinzas;
- Sistema de pré-aquecimento do gasificador;

##### ***Gasificador de leito fluidizado***

O gasificador tem uma capacidade térmica de 350 kW, 8 m de altura e uma secção transversal interior de forma circular com o diâmetro de 0,7 m. O reactor é em chapa de aço revestida internamente por material refractário e externamente é envolvido em manta rígida de lã mineral, para isolamento térmico do reactor, a qual será protegida por uma chapa metálica.

O reactor pode dividir-se em 3 zonas:

- “windbox” onde o ar é introduzido e distribuído pelos injectores existentes na placa distribuidora;
- zona do leito onde ocorre a desvolatilização da biomassa alimentada;
- zona acima do leito ou “freeboard”, onde ocorrem as principais reacções químicas responsáveis pelo processo de gasificação.

A parte inferior do gasificador contém um leito de areia, cuja altura expandida é de 50 cm, sendo fluidizado com uma mistura de ar e vapor proveniente de uma placa distribuidora.

##### ***Grupos de ciclones***

Os gases provenientes do gasificador passam por 2 ciclones, para maximizar a capacidade de retenção de partículas. No primeiro ciclone são recolhidas as partículas sólidas de maiores dimensões constituídas fundamentalmente por combustível não processado (carbono) e alcatrões, que serão recicladas ao gasificador. No segundo ciclone ficam retidas as partículas mais finas, constituídas por material inerte do leito e partículas de combustível, elutriadas do leito. Estes ciclones serão construídos em chapa de aço macio, são revestidos internamente por

material refractário e externamente por uma manta de lã mineral, a qual será protegida por uma chapa metálica.

#### ***Sistema de alimentação de ar***

O calor necessário ao processo de gasificação é fornecido a partir da combustão parcial da biomassa alimentada, com uma determinada quantidade de ar. Esta é controlada de modo a manter a temperatura desejada no interior do reactor, dependendo também da alimentação de biomassa. O ar de gasificação é alimentado utilizando um ventilador centrífugo accionado por um motor de velocidade variável. O ar é pré-aquecido no permutador de calor, de arrefecimento dos gases, antes de ser alimentado à “windbox” do gasificador, por forma a aumentar a eficiência da instalação.

#### ***Sistema de alimentação de material do leito***

Na zona da “freeboard” do gasificador existe uma entrada de areia de reposição. Esta está contida num silo, sendo alimentada por gravidade para o interior do reactor, através de duas válvulas rotativas, as quais são accionadas periodicamente, conforme a extracção de material do leito pelo sistema de extracção de cinzas. Por questões de segurança, este sistema deverá ser estanque, para evitar fugas de gás combustível.

#### ***Sistema de extracção de cinzas***

A extracção de cinzas do reactor é realizada periodicamente através de um sistema automatizado de extracção de cinzas, conforme a acumulação de material no leito. Também por questões de segurança, este sistema deverá ser estanque.

#### ***Sistema de pré-aquecimento***

O sistema de arranque e pré-aquecimento é constituído por um queimador a gás de 250 kWt, funcionando a gás natural ou propano, localizado imediatamente acima do leito. Este sistema faz a combustão de gás no interior do reactor, para o aquecer até à temperatura de operação desejada, nos períodos de arranque e/ou avaria da mesma.

### **VII.2.6.2 Sistema de alimentação de combustível**

A biomassa florestal utilizada apresenta um diâmetro inferior a 4 mm. Esta é transportada numa correia transportadora até o silo de armazenagem com capacidade para 24 horas de operação (cerca de 10 m<sup>3</sup>). A biomassa é depois transportada por uma correia transportadora até uma tremonha localizada junto ao gasificador, a qual possui um misturador para facilitar a alimentação ao sem-fim doseador localizado no fundo da tremonha. Este sem-fim está ligado ao sem-fim de alimentação por intermédio de uma conduta possuindo 2 válvulas rotativas, de modo a manter o sistema estanque. O sem-fim é arrefecido por uma camisa de água e está localizado 25 cm acima da placa distribuidora, sendo a alimentação facilitada com ar de modo a evitar a saída de gases e areia do interior do gasificador. Por questões de segurança, este sistema deverá ser estanque, para evitar fugas de gás combustível.

### **VII.2.6.3 Sistema de limpeza e condicionamento do gás**

O tratamento do gás será essencialmente feito por via húmida, após um tratamento prévio a quente no reactor catalítico que tem carvão vegetal. O sistema integrado de limpeza e de condicionamento do gás será constituído por:

- 1 reactor catalítico com carvão vegetal de leito fixo;
- Permutador de calor;
- Coluna de lavagem com enchimento;
- Filtro de mangas;
- Ventilador do gás de biomassa;

Após os ciclones o gás é introduzido num reactor catalítico de leito fixo para converter a maior parte dos alcatrões produzidos no gasificador em hidrocarbonetos mais leves. Esta operação unitária permite também a remoção de contaminantes, como os compostos de azoto contidos no gás.

O gás proveniente destes reactores atravessa um conjunto de permutadores de calor para arrefecer o gás combustível até cerca de 250 °C e simultaneamente utilizar essa energia no pré-aquecimento do ar necessário ao processo de gasificação. O gás arrefecido é enviado a “scrubber” ou coluna húmida de lavagem com enchimento, para promover a condensação de alcatrões, e a remoção de HCl, NH<sub>3</sub> e partículas que o gás ainda possa conter. O gás passa depois por um filtro de mangas para reter as partículas sólidas que ainda possam existir. Seguidamente, o gás limpo é alimentado a um ventilador, de modo a ser introduzido no motor. Estima-se que os gases produzidos por gasificação da biomassa tenham um poder calorífico superior na ordem de 6 a 8 MJ/Nm<sup>3</sup>.

### **VII.2.6.4 Grupo gerador**

O grupo gerador é composto por um motor de combustão interna dual-fuel, funcionando a uma velocidade de 1500 r.p.m., capaz de produzir o equivalente a 70 kWe aos terminais do gerador eléctrico acoplado. Será necessário um permutador de calor externo para arrefecimento do motor.

### **VII.2.6.5 Sistema de combustão de gases residuais – “Flare”**

A instalação possuirá ainda um sistema de queima de gases residuais, vulgarmente denominado “flare”, ou chama de segurança, tendo por finalidade queimar o excesso de gás produzido, por razões de segurança. Interessa otimizar o funcionamento da instalação de modo a minimizar esta quantidade de gases residuais. A “flare” deverá queimar o gás produzido sempre que o motor ou o sistema de condicionamento do gás, estejam fora de serviço.

## **VII.3. Digestão anaeróbia de biomassa húmida para produção de biogás**

### **VII.3.1. Introdução**

As repercussões nos agentes vitimados pela poluição, no que respeita às funções de utilização e/ou de produção, tem, ao longo das últimas décadas, originado uma crescente consciência colectiva relativa à necessidade de proteger os recursos existentes e de promover e seu aproveitamento de forma sustentável.

Portugal dependente das importações de energia embora disponha de importantes recursos energéticos endógenos. As instalações hidroeléctricas e eólicas são as principais fontes renováveis de energia eléctrica no País, continuando o potencial contido nos efluentes orgânicos para a produção de biogás a ser subaproveitado. Efectivamente, estima-se que a capacidade anual de energia eléctrica com proveniência em materiais orgânicos (168 MW, potencial de energia eléctrica de 1467 GWh) representa cerca de 3% das actuais necessidades eléctricas em Portugal. Adicionalmente, através da co-geração, um potencial de energia térmica 2106 GWh pode ainda ser recuperado (Freitas and Marques, 2008).

Tendo em conta os diversos tipos de efluentes e resíduos produzidos resultantes das diferentes actividades económicas, três sectores - a pecuária, os resíduos sólidos urbanos e águas residuais e a indústria alimentar - são identificados como os mais relevantes no que respeita ao volume de efluentes gerado e, por conseguinte, ao potencial energético neles contido. Destes sectores, a pecuária representa o potencial de produção de biogás mais elevado (Freitas and Marques, 2008). Os efluentes das explorações agro-pecuárias têm vindo frequentemente a constituir significativos contributos para a contaminação do solo envolvente às respectivas unidades de produção e das linhas de água superficiais e subterrâneas (Costa, 1999).

Tem por base estas constatações, é de todo o interesse que a proposta de tratamento de efluentes englobe diversas metodologias e procedimentos e os perspective de forma a associar as opções que, por um lado, visam fazer uso dos potenciais recursos endógenos, por outro, definam como prioritários os processos que não impliquem consumos energéticos adicionais à exploração e, por fim, possam gerar mais valias a nível local (Marques et al., 2006; 2007). Com estes pressupostos, a instalação de tratamento para a produção de biogás do Parque Experimental está associada a outros sectores com o objectivo de promover o tratamento dos efluentes orgânicos e de os valorizar através da respectiva conversão em produtos finais de interesse para a própria Instalação.

### **VII.3.2. Digestão anaeróbia**

A digestão anaeróbia é um processo de tratamento de efluentes orgânicos que se desenvolve na ausência de oxigénio e, simultaneamente, uma opção energética com reconhecidas vantagens ambientais. Um dos benefícios do processo, que cedo contribuiu para um crescente interesse por esta tecnologia, reside na conversão da maior parte da carga poluente do efluente numa fonte de energia, o biogás. O biogás é constituído por metano (60-75%) e por dióxido de

carbono e outros componentes (e.g. H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, azoto) em proporções bastantes inferiores. O metano contido no biogás confere-lhe conteúdo energético e possibilita a respectiva utilização como combustível gasoso em diversas aplicações.

### VII.3.2.1 Processo da Digestão Anaeróbia

Nos ecossistemas naturais e nos digestores anaeróbios, a matéria orgânica é biologicamente mineralizada a moléculas onde o carbono se encontra no seu estado máximo de redução e de oxidação - metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) –, apenas quando o oxigénio molecular ou outros receptores de electrões alternativos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Mn<sup>4+</sup>, Fe<sup>3+</sup> ou SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) se encontram ausentes.

A degradação da matéria orgânica em condições anaeróbias é um processo que resulta da acção de um consórcio microbiano, através do qual os compostos orgânicos e seus produtos intermédios são metabolizados em sequência e de forma interdependente. Com base nos principais produtos formados e nos grupos fisiológicos da respectiva cadeia trófica, o processo da digestão anaeróbia pode ser descrito em três etapas (Figura VII.7):

1. Fase da hidrólise e fermentação - «*Bacteria* fermentativas primárias», onde os polímeros orgânicos são hidrolisados a compostos susceptíveis de atravessar a membrana celular dos organismos fermentativos;
2. Fase da oxidação anaeróbia dos ácidos gordos a acetato - «*Bacteria* fermentativas secundárias», onde os ácidos como o propionato e o butirato são convertidos a acetato;
3. Fase metanogénica - «*Archaea* metanogénicas», onde os produtos decorrentes da anterior etapa, principalmente acetato e H<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub>, são convertidos essencialmente em CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>, mistura gasosa que vulgarmente é designada por biogás.

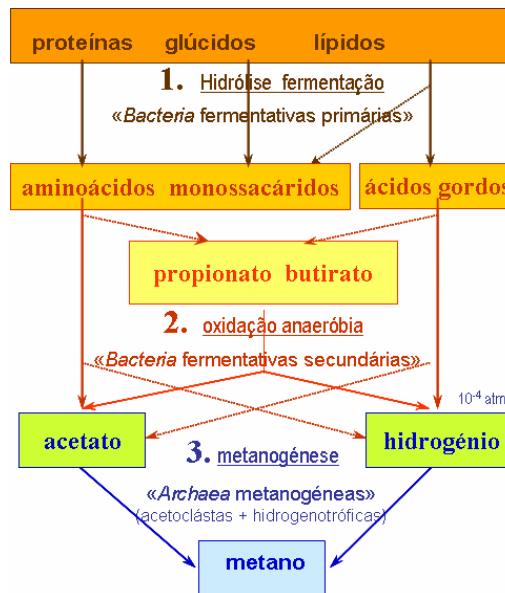


Figura VII.7 Digestão anaeróbia.

Os polímeros orgânicos contidos na matéria orgânica são convertidos nos respectivos oligómeros e monómeros que, por sua vez, são fermentados a compostos como o acetato, o propionato e o butirato. Enquanto o acetato é directamente convertido em metano, a formação do butirato e do propionato é a resposta do sistema à acumulação do hidrogénio no meio. Apesar de em condições *standard* as reacções relativas à conversão do butirato e do propionato serem termodinamicamente inviáveis, elas são viabilizadas nas condições que prevalecem nos digestores anaeróbios através do eficiente consumo de hidrogénio por parte das bactérias hidrogenotróficas que, deste modo, mantêm a pressão parcial do H<sub>2</sub> em baixos níveis ( $\sim 10^{-4}$  atm) no interior do digestor.

### VII.3.2.2 Unidades de digestão

A evolução tecnológica dos digestores anaeróbios tem como principal factor o aumento da retenção dos sólidos biológicos, ou seja, em vez de se operar com um tempo de retenção da fracção sólida (TRS) igual à da fracção líquida (TRH), à semelhança do que acontece nos digestores de mistura completa, são desenvolvidas unidades em que o TRS passa a ser superior ao TRH. Este facto permite operar com uma maior quantidade de agregados microbianos, por unidade de volume de efluente em digestão, possibilitando obter maiores eficiências de tratamento e diminuir o volume da unidade de tratamento.

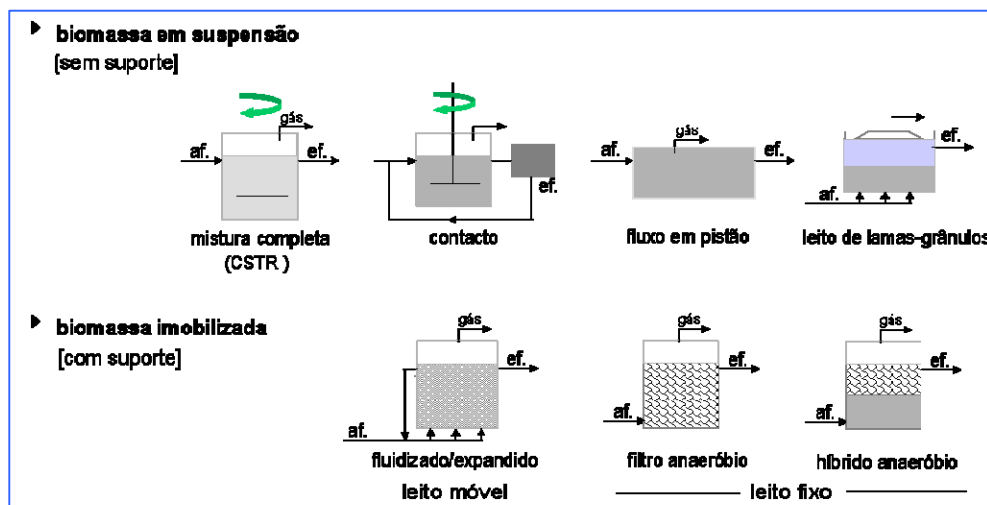


Figura VII.8 Digestores anaeróbios.

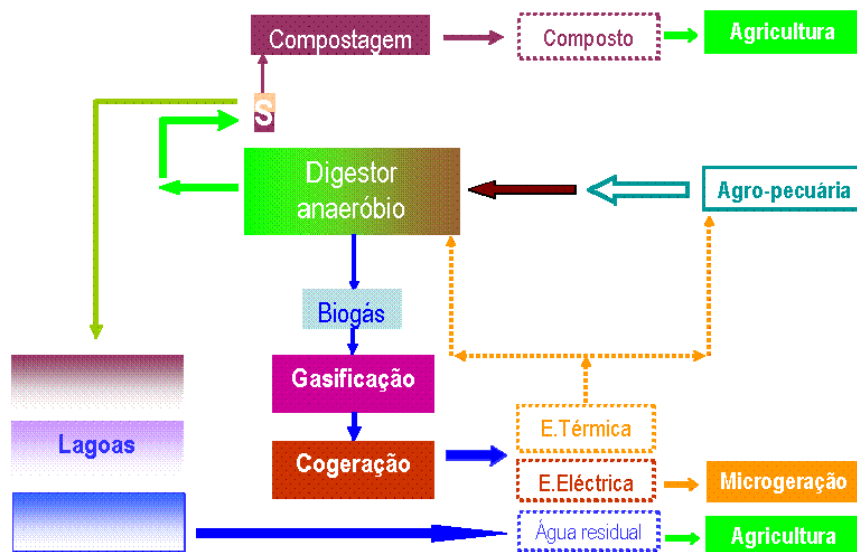
Com base na forma como a biomassa é retida, existem dois grandes grupos de digestores: os de biomassa em suspensão (sem qualquer meio de suporte microbiano) e os de biomassa imobilizada que possuem um meio de enchimento (Figura VII.8). No primeiro caso, além do digestor de mistura completa, existe o de contacto, onde os sólidos são sedimentados e reciclados, o de fluxo em pistão, com um movimento peristáltico induzido pela entrada do afluente, e o leito de lamas (LL). Este último, ao contrário dos anteriores, é utilizado em substratos pouco concentrados e a sua eficiência depende da formação de agregados

microbianos - os grânulos - cuja elevada densidade permite que se mantenham no interior do digestor activos.

Os meios de suporte são constituídos por diferentes materiais (siliciosos, argilosos e os poliméricos, como o plástico) e utilizados para aumentar a superfície de aderência dos microrganismos. As unidades equipadas com um meio de suporte operam em fluxo ascendente e incluem (1) as unidades de leito móvel, (2) o Filtro Anaeróbio (FA) e (3) o Híbrido Anaeróbio. Enquanto o FA é caracterizado por possuir um meio de enchimento fixo e que ocupa toda a coluna, o Híbrido, ao resultar da conjugação do FA e do LL, apenas tem enchimento na parte superior. Este último digestor surge para minimizar as desvantagens de cada uma das unidades progenitoras no que respeita à tendência do FA para formar de caminhos preferenciais e desenvolver zonas mortas e ao facto do LL ser propício a sofrer processos de lavagem do sistema, originados pela contínua saída de biomassa, quando sujeito a perturbações operacionais.

### 3.3. Instalação: valorização de biomassa húmida

A instalação de Digestão Anaeróbia do Parque de Energias Renováveis, situado na Herdade da Mitra, em Évora, caracteriza-se por um funcionamento integrado noutras unidades funcionais (Figura VII.9) que, de uma forma interdependente, permitem tornar rendível o equipamento instalado e promover a valorização de todos os fluxos decorrentes do tratamento dos efluentes.



**Figura VII.9 Valorização da biomassa húmida, Herdade da Mitra - Évora**

O processo de digestão anaeróbia surge, assim, a montante para maximizar a conversão do material orgânico em energia. A jusante do digestor anaeróbio existe um parque de compostagem e um sistema de lagoas para efectuar a estabilização da fracção sólida e líquida do substrato digerido. O biogás obtido no processo de digestão é tratado em conjunto com o fluxo gasoso resultante da unidade de gasificação para depois ser convertido num grupo de co-

geração para fornecimento de energia eléctrica e térmica à instalação. A energia eléctrica decorrente é integrada no sistema de microgeração enquanto que a energia térmica é, por seu turno, utilizada na manutenção da temperatura de funcionamento do digestor anaeróbio (Figura VII.9). É objectivo dos trabalhos de demonstração que, de acordo com as épocas do ano, a energia térmica excedente tenha uma aplicação adicional, com é o caso do condicionamento térmico vegetal e/ou animal.

A instalação de digestão anaeróbia destina-se à conversão da matéria orgânica em biogás, a partir dos efluentes agro-pecuários e industriais, produzidos na Herdade da Mitra e/ou na Região. É constituída por um digestor anaeróbio de fluxo ascendente - Híbrido do leito de lamas e do filtro anaeróbio -. A instalação é composta pelos seguintes elementos:

- Digestor anaeróbio
- Sistema de alimentação do digestor: afluente
- Sistema de saída do fluxo digerido: efluente
- Sistema de recolha do biogás
- Sistema de temperatura do digestor

#### **VII.3.3.1 Digestor anaeróbio**

O digestor anaeróbio, com um volume total de 15 m<sup>3</sup>, tem uma forma tubular. É essencialmente constituído por um corpo central, coadjuvado por uma secção de deposição de sólidos, na sua base, e outras duas secções que se destinam à clarificação do substrato digerido e à colecta de gás. Estas últimas secções encontram-se ajustadas sequencialmente na zona superior da coluna central, com é apresentado na Tabela VII.2.

O corpo central corresponde a uma coluna cilíndrica (4 m de altura x 1.75 m de diâmetro interno) que integra diversas zonas de funcionamento da unidade:

- (a) A zona de alimentação diz respeito à entrada do substrato no digestor e é realizada de forma, por um lado, a permitir uma adequada homogeneização do fluxo com o material e os aglomerados microbianos em desenvolvimento e a evitar choques térmicos, e, por outro lado, a possibilitar a deposição de partículas de maior densidade na base do digestor. A Secção de deposição de sólidos está equipada com uma toma na sua base, para possibilitar a remoção periódica do material sedimentado;
- (b) A zona intermédia corpo central corresponde ao designado leito de lamas. Nele, os consórcios microbianos, principalmente em forma de grânulos, encontram-se dispersos no material em digestão;
- (c) A existência de um leito fixo, na parte superior do corpo central, permite garantir uma maior concentração de agregados e sólidos biológicos no interior do digestor e uma melhor separação da fracção líquida/sólida da gasosa. O leito é constituído por um meio de enchimento que proporciona o aumento da superfície específica para o desenvolvimento dos agregados bacterianos, constituídos essencialmente por a denominada biomassa em suspensão e alguma biomassa aderida.

**Tabela VII.2 Digestor anaeróbio: constituição e volumetrias.**

<b>Híbrido</b>	<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>
<b>Secção de colecta de biogás</b>	3.5
<b>Secção de clarificação do substrato digerido</b>	1.3
<b>Corpo central</b>	9.6
zona de leito fixo	
zona intermédia	
zona de alimentação	
<b>Secção de deposição de sólidos</b>	0.7

Ao longo do corpo central existem diferentes tomas, colocadas a várias alturas, com a função de possibilitar a amostragem do material em digestão para o acompanhamento e estudo do processo. Além destas, existem tubuladuras destinadas à colocação de sensores (e.g. temperatura, pH) para o controlo/avaliação do comportamento do digestor.

A eficiência de capacidade de degradação/conversão do processo é efectuada através da avaliação de diversos parâmetros, utilizando para o efeito métodos analíticos e cromatográficos de acordo com procedimentos testados (Marques, 2000). A caracterização da população microbiana e a respectiva evolução ao longo do tempo é efectuada por monitorização molecular. As técnicas moleculares aplicadas ao consórcio microbiano em desenvolvimento no digestor anaeróbio permitem obter informação detalhada sobre toda a comunidade e contribuir eficazmente para a optimização do funcionamento da unidade (Eusébio *e tal.*, 2008).

O fluxo que sai do leito fixo é sujeito a uma diminuição da respectiva velocidade de forma a promover a manutenção de sólidos e/ou aglomerados microbianos no interior da unidade. O efluente obtido é recolhido em calha apropriada, situada ao nível do orifício de saída do fluxo, e dirigido para o exterior da unidade. O biogás é colectado no topo do digestor que é fechado por cúpula. O sistema de encerramento do digestor possibilita a sua abertura de forma a dar acesso ao seu interior e a permitir, se necessário, a remoção do material de enchimento.

### **VII.3.3.2 Sistema de alimentação do digestor**

**Afluente do digestor.** O substrato a digerir é constituído, numa primeira fase, pelos efluentes agro-pecuários resultantes da produção de suínos e de gado vacum da exploração da Herdade da Mitra. Com base nas características da exploração em causa, o digestor opera em co-tratamento, recebendo os fluxos que resultam da sua actual actividade.

A co-digestão é entendida como a digestão conjunta de substratos de diferentes proveniências. Este procedimento pode ser utilizado em diversas situações com vantagens relevantes para efluentes que, no respeitante às exigências do desenvolvimento do processo anaeróbio, apresentem complementaridade na sua composição e nas suas concentrações no respeitante ao material orgânico, nutrientes e compostos inibidores do processo anaeróbio (Marques and Freitas, 2007). Com base nos trabalhos desenvolvidos no Departamento de Energias Renováveis do INETI, a conjugação de diversos substratos complementares proporciona a

simplificação do processo operativo e torna-o bastante mais económico na medida em que não recorre a acções prévias de diluição, com água potável, nem procede a correcções químicas do substrato e dispensa quaisquer pré-tratamentos de destoxificação. Por outro lado, no caso do efluente complementar apresentar elevadas concentrações de nutrientes (e.g. azoto), os pós-tratamentos (nitrificação e desnitrificação) deixam de ser necessários, dado o consumo deste nutriente por parte do metabolismo celular (Marques *et al.*, 1997-1998; Marques, 2000-2008).

Neste contexto, a disponibilização de outros substratos locais, como os efluentes da indústria do azeite, são igualmente objecto de interesse dos trabalhos a levar a cabo nesta unidade de demonstração. A produção de azeite é uma actividade agro-industrial, com importância económica e social relevante nos países da orla mediterrânea. Estes tipos de efluentes são gerados em elevadas quantidades e durante um curto período de tempo e apresentam elevadas cargas orgânicas, as quais são convertíveis num potencial energético por intermédio da sua degradação anaeróbia. Com a perspectiva de explorar o interesse de diferentes abordagens de tratamento, outros métodos (e.g. processos electroquímicos), podem ser conjugados com a digestão anaeróbia, nomeadamente no que respeita à degradação de compostos potencialmente inibidores e/ou recalcitrantes para o processo de degradação, com o objectivo de melhorar e otimizar o processo de tratamento e de valorização (Tudella *et al.* 2003; Gonçalves *et al.*, 2004-2008).

A alimentação da unidade é efectuada de forma contínua ou semi-contínua e de acordo com as condições operacionais definidas e a disponibilidade diária de volume de substrato. Os substratos gerados actualmente na Herdade da Mitra são conduzidos por tubagem, individualmente equipadas com bomba e válvula não retorno massa-líquido. A existência de um triturador assegura a obtenção de uma granulometria constante dos vários materiais a digerir.

**Tanque receptor do alimento.** O Tanque de recepção, com a função de recolher e efectuar a homogeneização dos substratos, é coberto e possui um agitador mecânico para a devida mistura dos diferentes materiais a tratar. O fluxo obtido é conduzido por tubagem e introduzido no digestor por intermédio de bomba. Este troço integra diversos equipamentos, como sejam: (a) válvulas de seccionamento, de forma a possibilitar o isolamento de um determinado elemento da montagem ou mesmo do próprio digestor; (b) um caudalímetro, destinado à monitorização do volume de alimento ao longo do tempo e (c) tomas de amostragem, para avaliação da composição e concentração do afluente.

### VII.3.3.3 Sistema de saída do fluxo digerido

**Efluente do digestor.** A saída do substrato digerido é promovida por meio de um sistema em sifão adaptado a um funcionamento, em contínuo ou semi-contínuo, da unidade de digestão. Na tubagem de conduta do efluente existe uma toma que permite efectuar a amostragens do substrato digerido para posteriormente ser sujeita a avaliação analítica e cromatográfica.

**Tanque de recolha do substrato digerido.** O fluxo digerido é colectado por gravidade num tanque receptor, à semelhança do tanque associado à alimentação. De acordo com as condições operacionais vigentes, o material digerido é continuamente ou periodicamente dirigido para o separador sólido/líquido através de bomba, equipada de válvulas manuais. A

necessidade deste elemento receptor prende-se com o facto de a sua existência possibilitar uma operação mais versátil e optimizada da instalação aquando da ocorrência de situações imprevistas, com a avaria de algum dos equipamentos ou a falta ou a diminuição do volume de afluente.

**Separador sólido/líquido.** O Separador tem a função de originar um fluxo sólido, destinado ao Parque de compostagem, e outro líquido que é digerido para o sistema de lagoas de estabilização. Temporariamente, este equipamento recebe os sólidos que se acumulam ao longo do tempo nas referidas lagoas, podendo também receber, embora de forma mais esporádica, os sólidos depositados na base do digestor e os materiais sedimentados ou susceptíveis de formar crosta, provenientes do tanque da alimentação. O fluxo líquido obtido no Separador é conduzido para a primeira lagoa por gravidade e a respectiva amostragem é realizada por meio de uma toma, associada a uma válvula manual.

#### **VII.3.3.4 Sistema de recolha do biogás**

O biogás resultante do processo anaeróbio é conduzido para o gasificador através de tubagem e convertido em energia por um motor de combustão interna, localizado na unidade de gasificação. O facto de o biogás gerado ser utilizado na vertente de alimento do gasificador, em associação com a biomassa seca, permite atenuar as consequências de situações de carência deste material e, conseqüentemente, contribuir para manter a produção de energia eléctrica. Adicionalmente, a rentabilização do equipamento necessário aos dois processos em causa proporciona uma economia nos custos globais de instalação

A conduta de gás possui essencialmente uma toma destinada à amostragem do biogás, uma válvula de não retorno do fluxo gasoso e um ventilador para facilitar a injeção de gás no gasificador. O volume de biogás produzido é contabilizado diariamente através de um contador para gás apropriado que está associado a válvulas de seccionamento e a um sensor de temperatura. A qualidade do biogás produzido, composição e concentração dos diferentes componentes, é avaliada por amostragem sistematizada e por meio de cromatografia gasosa. Todo o sistema que se encontra envolvido na conduta de gás é construído em material não sujeito a corrosão, devido à possibilidade de as concentrações de gás sulfídrico do respectivo fluxo, em conjugação com o vapor de água, poderem causar danos nas tubagens e/ou equipamento ao longo do tempo de operação.

#### **VII.3.3.5 Sistema de temperatura do digestor**

O processo de digestão anaeróbia opera em condições mesófilas de temperatura ( $\approx 37^{\circ}\text{C}$ ). Para o efeito, recupera a energia térmica resultante da conversão dos fluxos gasosos em energia eléctrica que tem origem na unidade de gasificação.

A manutenção da temperatura de digestão é efectuada através de permutador externo, intercalado na tubagem de alimentação do digestor, de forma a neutralizar oscilações da temperatura ambiente extremas entre  $-5$  e  $42^{\circ}\text{C}$ . Todo o troço da tubagem, existente depois do permutador, é revestido com um isolamento térmico. A unidade de digestão anaeróbia encontra-se igualmente isolada em termos térmicos, de forma a garantir que temperatura de digestão se mantenha constante e não seja sujeita a gradientes diários superiores a  $1^{\circ}\text{C}$ .

### VII.3.3.6 Valorização da Instalação

São reconhecidos os frequentes problemas de ordem ambiental associados às descargas directas dos efluentes das instalações agro-pecuárias e industriais. O primeiro aspecto a ter em conta, na análise de um sistema de tratamento, diz respeito ao facto do lançamento de um efluente não tratado, em qualquer meio receptor, de forma indiferenciada, representar custos de importância relevante a médio e a longo prazo. Estes factores de carácter negativo são obviamente alteráveis através da gestão de efluentes que envolva o respectivo tratamento. Contudo, numa perspectiva de gestão global, há que enquadrar as repercussões positivas dos produtos gerados pelo próprio sistema de tratamento, nas funções de utilidade e/ou de produção.

**Digestão anaeróbia.** A digestão anaeróbia permite reduzir a carga poluente do fluxo original em 70-80% e converter alguns dos seus constituintes em compostos mais simples e de natureza mineral. Através da mineralização da matéria orgânica, obtém-se uma diminuição do volume do efluente produzido e é reduzida a proliferação de insectos, dos odores e a carga patogénica, onde a destruição de agentes de contaminação representa um contributo importante na minimização dos riscos veiculados pela descarga de efluentes em termos de saúde pública. A digestão anaeróbia desempenha ainda um papel relevante no que respeita à produção de um fluxo gasoso cuja recuperação permite criar uma disponibilidade eléctrica e térmica. No presente caso, o processo de digestão anaeróbia encontra-se interligado, de uma forma interdependente, com o processo de gasificação por duas vias: uma, no que diz respeito à valorização energética o biogás resultante da fase anaeróbia e, outra, relativa ao fornecimento do fluxo térmico que é gerado pela conversão do gás em electricidade e que é utilizado no processo anaeróbio.

**Disponibilidade Energética.** Este tipo de utilização encerra a vertente de disponibilidade energética obtida por via directa e a adquirida de forma indirecta. A obtida e por via directa resulta da própria produção de biogás e subsequente transformação e que representa um valor contabilístico importante. A obtida por via indirecta diz respeito à poupança devida à não utilização de outras soluções de tratamento que requerem elevados consumos energéticos na manutenção do seu funcionamento.

Embora a energia resultante da conversão do biogás não seja uma solução energética e nível nacional, quando comparada com a hídrica e a eólica, a sua utilização reveste-se de importância a nível local, no que respeita à facturação de electricidade de uma unidade de produção. Em adição à perspectiva de produção energética existe a relacionada com a preservação do ambiente, sobre a qual o metano representa um potencial efeito de estufa de 21 vezes superior ao do dióxido de carbono. Assim, o tratamento dos efluentes, conjugado com a devida utilização do produto gasoso resultante é, além do mais, uma efectiva medida ambiental.

**Composto.** A utilização de técnicas de compostagem possibilita a maturação e a higiene dos sólidos resultante do processo de tratamento, fornecendo o composto que é um produto de valor acrescentado. A realização deste produto encerra as vantagens inerentes quer à dispensa de um meio receptor para a eliminação de um material que é orgânico quer à obtenção um

produto reciclável como condicionador/corrector de solos de cultivo ou como solo de envasamento.

**Água residual para rega.** «A escassez de água pode ser provocada pelo homem, isto é, pelo mau uso e abuso dos recursos naturais, caso da desertificação e penúria de água, a primeira sendo permanente por afectar outros recursos naturais, como o solo, e ter origem também nas mudanças climáticas» (Pereira *et al.*, 2002 *in* Pereira *et al.*, 2004). «A grande questão que se põe é de (re)aprender a convivência com a escassez de água e com as secas» (Pereira *et al.*, 2004). As elevadas quantidades de águas residuais resultantes dos processos de tratamento constituem um produto de interesse económico na medida em que podem ser valorizadas em perímetros de rega agrícola e/ou desportiva (Beltrão, 2002; Marques 2001; Martins, 2004; Martins e Correia, 2004).

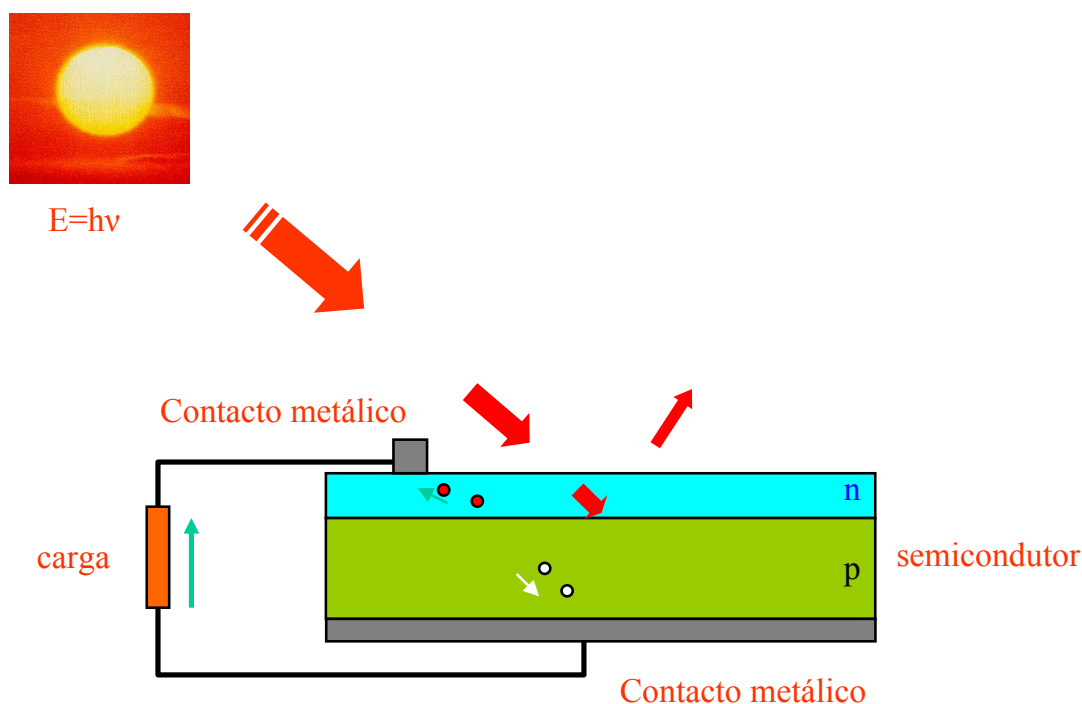
**Benefícios de índole social.** Inerente à instalação de uma Estação de Tratamento está a necessidade em estabelecer contratos especializados, necessários ao funcionamento da infraestrutura, que podem desenvolver-se em diversificadas áreas de competências, associadas com as fases de construção, transporte, equipamento, instalação, controlo, manutenção, operação do sistema, etc. A necessidade em tirar um maior partido dos potenciais renováveis locais traduz-se num factor de desenvolvimento que contribui para inserção do investimento na Região e para a criação de postos de trabalho e consequente fixação da população em zonas onde, por vezes, o êxodo rural e/ou a parca qualidade de vida já começa a ser uma realidade preocupante.

A oportunidade de canalizar o efeito negativo dos efluentes resultantes de uma actividade produtiva para acções que fomentem a utilização dos potenciais endógenas/renováveis, deve ser entendida com um motor de desenvolvimento regional e de criação de melhores condições de vida dos agentes envolvidos, directa ou indirectamente, na zona de intervenção.

## VII.4. A Conversão Fotovoltaica da Energia Solar

### VII.4.1 Introdução

Na Figura VII.10 encontra-se um esquema simplificado de uma célula fotovoltaica.



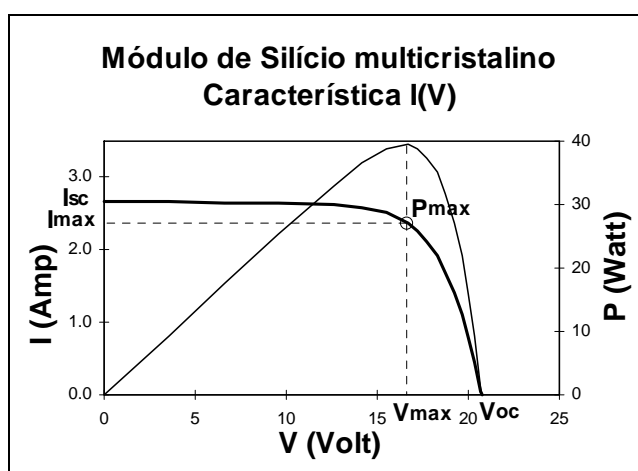
**Figura VII.10 Esquema de uma célula Fotovoltaica.**

Ao atravessar a célula fotovoltaica, a energia contida nos fótons permite libertar electrões dos átomos de silício, fazendo com que passem da chamada banda de valência para a banda de condução, vencendo uma barreira energética designada por “band gap” ou hiato de energia e tornando-os disponíveis para condução. A existência de duas zonas no material, uma onde existe um excesso de electrões (zona n) e uma outra onde esses electrões estão em déficit (zona p) cria uma barreira na zona da junção que não permite que os electrões em excesso da zona n circulem para a zona p através do material. Desta forma ao fechar um circuito eléctrico exterior através de contactos metálicos existentes nos extremos das duas zonas, haverá um fluxo de electrões da zona onde existe excesso de cargas negativas para a zona onde há falta, o que não é mais do que uma corrente eléctrica, que pode ser aproveitada para alimentar dispositivos eléctricos (cargas). Quanto maior for a radiação solar incidente maior será a corrente que poderá circular pelo circuito exterior.

Células de silício cristalino com diâmetros da ordem dos 15 cm e espessura da ordem dos 200  $\mu\text{m}$  são depois interligadas vindo a constituir um módulo fotovoltaico. Os módulos fornecem corrente contínua, sendo a potência eléctrica de cada módulo aproximadamente proporcional à intensidade da radiação solar incidente e ao número de células do módulo. Em condições de

radiação solar exterior de  $1000 \text{ W/m}^2$ , repartição espectral AM1.5 e temperatura ambiente de  $25^\circ \text{C}$ , também designadas por STC-Standard Test Conditions na literatura anglo americana, a potência máxima que o módulo pode fornecer designa-se por potência de pico. Do ponto de vista da temperatura verifica-se que a potência dos módulos da tecnologia de silício cristalino diminui à razão de cerca  $0.5\%/^\circ\text{C}$ .

A curva que relaciona a tensão e a corrente num módulo fotovoltaico, para cada valor de Radiação solar e Temperatura ambiente, designada abreviadamente por curva IV, é a principal característica de um módulo fotovoltaico determinando a curva correspondente aos valores de  $1000 \text{ W/m}^2$  de radiação solar e de  $25^\circ \text{C}$  de temperatura ambiente os principais parâmetros de um módulo. Na Figura VII.11 pode ver-se uma típica curva IV (traço a negrito) onde se sobrepôs a curva de potência do módulo.



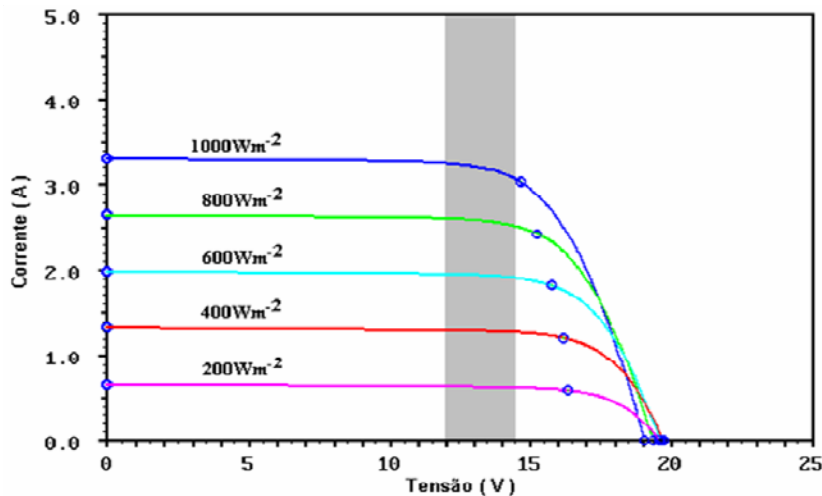
**Figura VII.11 Característica Tensão/Corrente (IV) de um módulo de silício multicristalino.**

Nela podem ser identificados os parâmetros: tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ ); corrente de curto circuito ( $I_{sc}$ ); ponto de potência máxima  $P_{max}$ .

Efectivamente são estes os parâmetros que aparecem nos catálogos dos fabricantes de módulos fotovoltaicos e com os quais é necessário trabalhar para projectar e instalar sistemas.

Na Figura VII.12 mostra-se um conjunto de curvas IV para um módulo comercial. Cada curva corresponde a um valor de radiação solar incidente na superfície do módulo. A zona a sombreado corresponde à zona de funcionamento das baterias de acumulação de energia.

A potência disponível num módulo pode variar consoante a tecnologia empregue e o número de células interligadas. Hoje em dia fabricam-se módulos fotovoltaicos com valores de potência que podem ir de 5W até 200W.



**Figura VII.12** Curvas IV para um módulo comercial.

Os módulos são assim a unidade básica deste tipo de sistemas podendo depois ser associados em série para se obter o valor da tensão do sistema e em paralelo permitindo obter a corrente ou potência de pico final pretendida.

O agrupamento de módulos colocados numa mesma estrutura de suporte forma um **painel** e um conjunto de painéis constitui um **campo (array) fotovoltaico**.

#### VII.4.2 Tecnologias de conversão e eficiências

Como se referiu anteriormente os módulos são as unidades básicas dos sistemas fotovoltaicos, sendo constituídos por células fabricadas em bolachas ou em película fina depositada sobre substratos de suporte. Basicamente existem três tipos de tecnologias para fabricar estes módulos:

- Silício cristalino ou **primeira geração tecnológica**.
- Películas finas ou **segunda geração tecnológica**.
- Novos conceitos emergentes ou **terceira geração tecnológica**.

Estas tecnologias diferem quanto às suas dimensões e peso, flexibilidade e rigidez, aspecto global final e em última análise em eficiência e custo da energia final produzida. A sua disponibilidade no mercado é também variável.

##### **Silício cristalino**

Presentemente a tecnologia do silício cristalino representa cerca de 90 % da produção mundial de células fotovoltaicas, dominando este mercado desde o início da era fotovoltaica.

A razão para a escolha do silício como material base das células fotovoltaicas está associada às características únicas deste material, nomeadamente a sua abundância no planeta (cerca de

30%, no conjunto dos elementos que constituem a crosta terrestre), a sua não-toxicidade, o facto de ser a matéria-prima da indústria electrónica (e portanto ter sido alvo de uma investigação extraordinariamente detalhada nas últimas décadas) e uma série de vantagens técnicas, em particular o valor do hiato energético que é apropriado à radiação solar, o baixo coeficiente de segregação de metais e ser facilmente dopável.

No seu fabrico, quer seja para a tecnologia do silício mono cristalino, quer para os módulos multi cristalinos são considerados seis passos básicos:

1. Produção do Silício
2. Purificação do Silício
3. Cristalização.
4. Produção das Bolachas.
5. Fabrico da célula
6. Assemblagem dos módulos

O ingrediente básico desta tecnologia é como se referiu o silício purificado (polysilicon). Este material é fundido e posteriormente solidificado para produção de lingotes cilíndricos, constituídos por um só cristal (mono-cristalino), através do processo Czochralski, para lingotes paralelepípedicos, por vazamento, constituídos por diferentes cristais (multi-cristalino) ou para produção de células em fita (*ribbon cells*).

Os lingotes cilíndricos ou rectangulares são cortados em bolachas por serras de fio ou por processo laser. As bolachas de silício são depois submetidas a um processo de dopagem para criação da junção p-n e são colocados os contactos metálicos, frontais e posteriores, dando lugar às células fotovoltaicas.

O processo final de assemblagem dos módulos consiste num conjunto diversificado de operações que passam, entre outras, pela soldadura das células que constituem o módulo, pela colocação do caixilho de alumínio, do vidro frontal e do material das costas do módulo e pela colocação dos cabos e ligações dos módulos.

Nos últimos anos, no sentido de diminuir a utilização do silício nas células assistiu-se à redução da espessura das bolachas que passou de cerca de 400  $\mu\text{m}$  em 1990 a 200  $\mu\text{m}$  em 2006 ou ainda menor nos próximos anos. O processo de fabrico desta tecnologia também tem sido aperfeiçoado no sentido de diminuir os custos quer em matérias-primas quer em energia.

Actualmente a eficiência dos módulos mono cristalinos comerciais varia entre os 16 % e os 18 % enquanto que os módulos multi-cristalinos comerciais têm eficiências entre os 14 e os 16 %.

### **Películas Finas**

A tecnologia das películas finas consiste na deposição de uma estrutura que forma uma célula solar, directamente sobre um substrato que pode ser um vidro uma lâmina de material plástico ou outro. Tem um grande potencial para a redução do custo dos módulos dado que nesta tecnologia se utiliza muito menos matéria-prima e também é menos consumidora de energia. A espessura típica destas películas é da ordem dos poucos  $\mu\text{m}$ .

Actualmente esta tecnologia representa cerca de 10 % do mercado dos sistemas fotovoltaicos, esperando-se um aumento da penetração que poderá atingir os 30 % por volta de 2030.

É importante referir que em 2007 um fabricante de módulos de película fina entrou já para o “*top ten*” dos fabricantes mundiais de sistemas fotovoltaicos com uma produção anual de 200 MWp.

A eficiência desta tecnologia é no entanto e actualmente mais baixa do que a eficiência da tecnologia do silício cristalino. A título de exemplo pode referir-se que a tecnologia de película fina de silício amorfo apresenta eficiências da ordem dos 6.5 %, para a tecnologia do Telurieto de Cádmio (CdTe) essa eficiência é de 9 % e para a tecnologia do Diselenieto de Cobre Índio e Gálio (CIGS) o valor da eficiência está hoje nos 12 %.

#### **Outras tecnologias.**

Um conjunto de outras tecnologias começa a surgir e que passam pela melhor utilização do espectro solar na conversão para energia eléctrica, utilizando células multi-camada, com cada camada adaptada a uma banda do espectro, e muito particularmente pelo desenvolvimento das chamadas células orgânicas, que possibilitarão a utilização de matérias primas menos dispendiosas e com custos energéticos menores. Estas tecnologias encontram-se presentemente em desenvolvimento laboratorial.

Associar às células solares concentração poderá também permitir a utilização de células que possam ter um custo por unidade de área superior mas que apresentem eficiências muito elevadas.

Uma outra ideia em estudo é a das células termofotovoltaicas em que a radiação solar não incide directamente na célula mas num corpo que por absorção da radiação solar aquece, radiando uma componente na parte infravermelha do espectro que é posteriormente aproveitada numa célula adaptada àqueles comprimentos de onda.

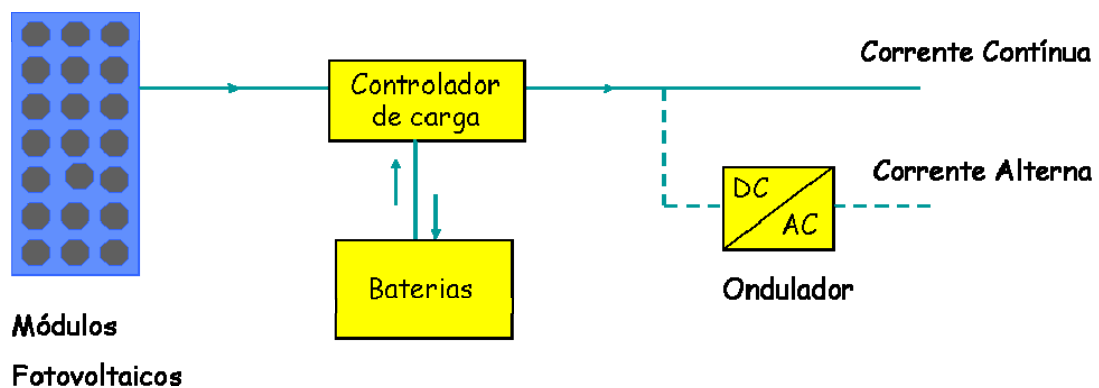
### **VII.4.3 Tipos de sistemas**

Basicamente os sistemas fotovoltaicos podem ser:

- **Autónomos** (*off grid* ou *stand alone*) destinados a lugares isolados da rede eléctrica ou para sistemas portáteis e de emergência.
- **Ligados à rede eléctrica** (*grid connected*) em que a produção de energia eléctrica é colocada na rede eléctrica.

#### **Sistemas Autónomos**

Na Figura VII.13 encontra-se representado o esquema básico de um sistema fotovoltaico autónomo.



**Figura VII.13 Esquema básico de um sistema fotovoltaico autónomo.**

Estes sistemas destinam-se basicamente a electrificação de locais isolados, afastados da rede eléctrica e para sistemas portáteis de socorro, de emergência ou de *back up*. Assentam na existência de armazenamento de energia (por baterias de acumuladores ou outro sistema de armazenamento) para poder fornecer energia durante o período nocturno ou quando a radiação solar incidente é fraca. Poderão existir, ou não, formas complementares de fornecimento de energia, quer através de geradores a funcionarem a combustíveis fósseis, quer recorrendo à utilização de outras formas de energias renováveis, como por exemplo a energia eólica. Neste caso os sistemas designam-se por sistemas híbridos.

O Controlador de Carga destina-se a regular a carga e a descarga das baterias, enquanto que o Ondulador ou Inversor converte a corrente contínua fornecida pelos módulos e bateria em corrente alterna para alimentação dos equipamentos consumidores de energia eléctrica que, em geral, utilizam corrente alterna.

A solução mais comum para acumular a energia produzida é baseada em baterias electroquímicas, tradicionalmente de ácido-chumbo ou de níquel-cádmio. A acumulação de energia baseada no hidrogénio é também muitas vezes apresentada como uma solução interessante, sobretudo a médio prazo. O armazenamento de energia acrescenta, no entanto, um custo significativo ao preço do sistema e exige uma manutenção regular.

Efectivamente as baterias são os componentes mais críticos destes sistemas já que, para além de exigirem manutenção periódica, têm um tempo de vida relativamente curto (5-10 anos), dependendo de inúmeros factores relacionados com o regime de funcionamento que lhes é imposto (número de ciclos de carga-descarga, profundidade de descarga, temperatura, etc...). Por outro lado, o recurso a um sistema de apoio convencional, por exemplo gerador diesel, só se justifica em determinadas aplicações, para as quais há que garantir uma elevada qualidade de serviço, isto é, o fornecimento de energia sem falhas.

Aplicações típicas deste tipo de sistemas são a iluminação de casas e comunidades, os sistemas de bombagem para abastecimento de água a populações e para rega, sistemas de arrefecimento principalmente ligados à área da saúde, para transporte de vacinas, sangue e outros consumíveis vitais, estações de abastecimento de baterias para alimentar pequenos

aparelhos, rádios, televisões, lâmpadas, etc e principalmente, como já se referiu, a electrificação de casas isoladas.

### Sistemas Ligados à Rede Eléctrica

Na Figura VII.14 encontra-se representado o esquema básico de um sistema fotovoltaico ligado à rede eléctrica.

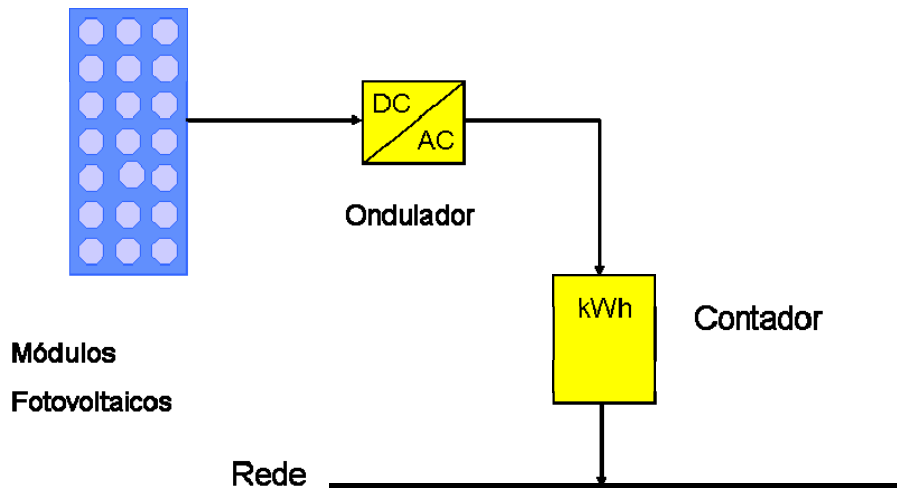


Figura VII.14 Esquema básico de um sistema fotovoltaico ligado à rede.

Os sistemas ligados à rede eléctrica, de configuração mais simples, são constituídos por um gerador fotovoltaico, um Ondulador/Inversor que, em geral, inclui um sistema automático de seguimento do ponto de máxima potência (Maximum Power Point Tracking) e uma interface com a rede que inclui um contador da energia fornecida à rede, dispensando o armazenamento em baterias. Aqui, o elemento crítico é o inversor, que determina a qualidade da energia entregue à rede (estabilidade de tensão e frequência, distorção harmónica, interferência electromagnética) e, como tal, deverá satisfazer os requisitos técnicos de ligação impostos pela companhia eléctrica.

Por vezes e, em geral, em sistemas ligados à rede eléctrica de grande dimensão, são utilizados sistemas seguidores do movimento aparente do Sol vulgarmente designados por *trackers*. Estes sistemas podem seguir o Sol, ou em altura, ou em azimute (sistemas de um eixo) ou em ambos os movimentos (sistemas de dois eixos). A sua utilização, embora resulte num acréscimo de custo da instalação, dá origem a um aumento da ordem dos 30 % na electricidade produzida anualmente.

#### VII.4.4 Aplicações dos sistemas fotovoltaicos

Estes sistemas tiveram as suas primeiras aplicações no Espaço fornecendo energia eléctrica para os satélites. Hoje os sistemas fotovoltaicos têm um conjunto enorme de aplicações, desde a electrificação de locais isolados, a bombagem de água, a alimentação de sistemas de sinalização e de urgência, e a produção de electricidade para integração na rede eléctrica quer

em pequenos sistemas descentralizados, na óptica da chamada microgeração, quer em integração em edifícios e mobiliário urbano (paragens de transportes públicos, sombreamento de parques de estacionamento de automóveis, parquímetros), quer ainda em centrais de produção de energia eléctrica de alguns MW de potência.

Inicialmente as aplicações terrestres destinavam-se à electrificação de locais isolados da rede eléctrica convencional, quer para habitações isoladas quer em mini ou micro redes em pequenos aldeamentos. Na Figura VII.15 pode ver-se um sistema fotovoltaico autónomo para alimentação de uma habitação isolada, no centro de Portugal.



**Figura VII.15 Exemplo de sistema autónomo instalado no Centro de Portugal.**

Mais recentemente e aproveitando esquemas financeiros, que passam pelo apoio ao investimento inicial ou mais frequentemente por esquemas de tarifário bonificado da energia eléctrica produzida por estes sistemas e vulgarmente conhecidos pela designação anglo saxónica de *feed in tariff*, os sistemas ligados à rede ultrapassaram largamente, em capacidade instalada, os sistemas autónomos e são hoje o principal motor do desenvolvimento dos sistemas fotovoltaicos. Na Figura VII.16 pode ver-se o Edifício Solar XXI do INETI, com a sua fachada Fotovoltaica de tecnologia de silício policristalino e em frente o sistema de sombreamento para o parque de estacionamento, onde a cobertura é constituída por módulos Fotovoltaicos da tecnologia de silício amorfo. Este é um exemplo de um sistema integrado em edifícios e em mobiliário urbano, directamente ligado à rede eléctrica.

A integração em edifícios, designada na terminologia anglo saxónica por Building Integration of Photovoltaics (BIPV) é efectivamente uma das mais interessantes aplicações desta tecnologia existindo um pouco por todo o mundo vários bons exemplos, não só do ponto de vista de concepção e realização técnica, mas também do ponto de vista da estética final que é possível obter desta integração.

A Península Ibérica e muito em particular as regiões do Alentejo em Portugal e da Extremadura em Espanha, onde se desenvolve o projecto do Parque Experimental Transfronteiriço de Energias Renováveis (projecto PETER), ao abrigo do Programa INTERREG III A, possui um recurso solar excelente para a produção de energia eléctrica a

partir de sistemas fotovoltaicos e efectivamente em ambas as regiões se encontram hoje os maiores parques fotovoltaicos do mundo como por exemplo os sistemas de Serpa de 11 MW e da Amareleja de 46 MW.



**Figura VII.16 Edifício Solar XXI do INETI. Um exemplo de sistema ligado à rede integrado em edifícios.**

O parque de demonstração de energias renováveis da Universidade de Évora, com o seu sistema fotovoltaico ligado à rede e a fachada fotovoltaica do Edifício Bioclimático do campus da Universidade da Extremadura em Badajoz, instalados no âmbito do Projecto PETER, constituem dois polos dinamizadores do desenvolvimento dos sistemas fotovoltaicos, possibilitando a formação, a demonstração e a divulgação daquela tecnologia nas duas regiões vizinhas

Como conclusão pode referir-se que os sistemas fotovoltaicos são uma área de grande evolução tecnológica no domínio das Energias Renováveis e por onde passará, seguramente, a mudança de paradigma no abastecimento de energia eléctrica ou seja a transição de um modelo de produção centralizada para um modelo de produção descentralizada e de microgeração.

## VII.5 Bibliografia

- André R. N., Pinto F., Franco C., Dias M., Gulyurtlu I., Matos M. A. A., Cabrita I., 2005, Fluidised Bed Co-gasification of Coal and Olive Oil Industry Wastes, *Fuel*, 84, 12-13, 1635-1644.
- André R.N., 2007, Desenvolvimento de processos de co-gasificação de carvão com plásticos e biomassa, Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro.
- Beltrão J. 2002. A Reutilização das águas residuais. *10º Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (SILUBESA) "Uso Sustentável da Água"*, Setembro, 16-19 de Setembro. Braga, Portugal.
- Costa CQD. 1999. Poluição da água pela suinicultura. Legislação e economia do ambiente. O concelho de Leiria como caso de estudo. Associação Portuguesa de Economia Agrária (Ed.).
- Eusébio A, Tação M, Baeta-Hall L, Freitas P, Almeida-Vara E and Marques IP. 2008. TGGE-Monitoring of the microbial community along the olive mill wastewaters anaerobic treatment. *Bioenergy: Challenges and Opportunities. International Conference and Exhibition on Bioenergy*, April 6th – 9th 2008, Univ. Minho, Guimarães, Portugal.
- Franco C., Pinto F., Gulyurtlu I., Cabrita I., 2003. "The Study of Reactions Influencing the Biomass Steam Gasification Process", *Fuel*, 82, 835–842.
- Freitas P and Marques IP. 2008. Biogas in Portugal: attainable production from wastewaters and municipal solid wastes. *Bioenergy: Challenges and Opportunities. International Conference and Exhibition on Bioenergy*, April 6th – 9th 2008, Univ. Minho, Guimarães, Portugal.
- Gonçalves M, Alves M, Correia JP and Marques IP. 2008. Electrooxidation as the anaerobic pretreatment of fats: oleate conversion using RuO<sub>2</sub> and IrO<sub>2</sub> based anodes. *Biores. Technol.*, 99, 8207-821.
- Gonçalves M, Bastos E, Alves MM, Correia JP and Marques IP. 2006. Effect of electrochemical treatment of oleic acid on anaerobic digestion. *Environ. Technol.*, 27, 1289-1295.
- Gonçalves M, Joyce A, Alves M, Correia JP and Marques IP. 2005. Anodic oxidation of oleate for wastewater treatment. *Desalination* 185, 351-355.
- Gonçalves M, Joyce A, Alves M, Correia JP, Marques IP. 2004. Pré-tratamento de compostos lipídicos para tratamento anaeróbico: oxidação anódica do ião oleato. *Actas XII Congreso Ibero y VII Congreso Ibero Americano de Energía Solar*, 14-18 Setembro, Vigo, Espanha. Vázquez, M and Seara, JF. (Ed.), 1185-1190.
- Marques IP. 2008. Biogás: vantagens da complementaridade de efluentes no tratamento da água-ruça. *Workshop BIOGÁS: Desafios e oportunidades para Portugal*, 29 Maio 2008, Centro Cultural de Belém, Lisboa.
- Marques IP. 2005. A energia do biogás. Caso de estudo em Alcobertas, *Revista de Ciências Agrárias*, 28 (1), 351-362.
- Marques IP. 2001. Anaerobic digestion treatment of olive mill wastewater for effluent re-use in irrigation. *Desalination*, 137, 233-239.
- Marques, IP. 2000. Valorização de recursos poluidores por digestão anaeróbia. Água ruça e efluente suinícola. *Tese de Doutoramento*, Instituto Superior Técnico, Univ. Técnica de Lisboa, Portugal.
- Marques, IP. 2000a. Valorização das águas ruças. *Vida rural*, 1665 (48), 151-153.

- Marques IP and Freitas P. 2007. Olive Mill Wastewater anaerobic digestion: effect of the influent composition and concentration. *11<sup>th</sup> IWA World Congress on Anaerobic Digestion*, 23-27 September 2007, Brisbane, Australia.
- Marques IP, Loureiro D, Borges P. 2007. Energetic Potential of Olive Mill Wastewater: application perspectives. *The Third International Energy, Energy and Environment Symposium*, 1-5 July 2007, Univ. Évora, Portugal. Miguel AF, Heitor Reis A and Rosa NR (Ed.), 043-CD rom.
- Marques IP, Rosa F, Loureiro D. 2006. Valorização integrada de Efluentes de Suinicultura na região Autónoma da Madeira. *Actas CIES 2006 – XIII Congresso Ibérico e VIII Congresso Ibero-Americano de Energia Solar*. 9-10 Nov. 2006, Lisboa. SPES-Sociedade Portuguesa de Energia Solar (Ed.), CD rom.
- Marques, IP; Teixeira A; Rodrigues, L; Martins Dias, S and Novais, JM. 1998. Anaerobic treatment of olive mill wastewater with digested piggery effluent. *Water Environ. Research*, 70, 1056-1061.
- Marques IP, Teixeira A, Rodrigues L, Martins Dias S and Novais JM. 1997. Anaerobic co-treatment of olive mill and piggery effluents. *Environ. Technol.*, 18, 265-274.
- Martins MV e Correia AH. 2004. O golfe no Algarve: o presente e o futuro. Notiforma, Imagem e Comunicação, Lda (Ed.)
- Martins MV. 2004. Estudo sobre o Golfe no Algarve. Diagnóstico e Áreas Problema, Volume I, Universidade do Algarve.
- Pereira LS, Cordery I and Iacovides I. 2002. Coping with Water Scarcity. *UNESCO IHP VI, Technical Documents in Hydrology*, N.º 58, UNESCO, Paris, 267.
- Pereira LS. 2004. Recursos Hídricos, Secas e Desertificação. *Desertificação. Sinais, Dinâmicas e Sociedade*. Estudos e Documentos, Instituto Piaget (Ed.), 47-60.
- Pinto F., Lopes H., André R. N., Dias M., Gulyurtlu I., 2008. “Alternative processes for waste management”, in “Energetic valorization of wastes through gasification”, Nova Science Publishers, Inc. N.Y., ISBN: 978-1-60456-256-9.
- Pinto F., Lopes H., André R. N., Gulyurtlu I., Cabrita I., 2007. Effect of Catalysts in the Quality of Syngas and By-Products Obtained by Co- Gasification of Coal and Wastes. 1. Tars and Nitrogen Compounds Abatement, *Fuel*, 86, 14, 2052-2063.
- Pinto F., Franco C., Lopes H., André R. N., Gulyurtlu I., Cabrita I., 2005. “Effect of Used Edible Oils in Coal Fluidised Bed Gasification”, *Fuel*, 84, 17, 2236-2247.
- Pinto F., André R. N., Franco C., Tavares C., Dias M., Gulyurtlu I., Cabrita I., 2003. Effect of Experimental Conditions on Co-gasification of Coal Biomass and Plastic Wastes with Air/Steam Mixtures in a Fluidised Bed, *Fuel*, 82, 15-17, 1967-1976.
- Tudella J, Gonçalves M, Marques IP, Joyce A, Alves M and Correia J. 2003. Oxidação electroquímica de compostos lipídicos como precursora do tratamento anaeróbio. *6º Encontro Nacional de Química-Física*, 31 Agosto - 3 Setembro, Faculdade de Ciências, Lisboa.