



**II WORKSHOP (BIO) ENERGIA**

**ALTERCEXA II**

**UNIVERSIDADE DE ÉVORA  
2013**



## Organização



## Patrocinadores



### Ficha Técnica

Titulo: II Workshop (Bio) Energia

Coordenação: José Rafael Marques da Silva; Adélia Sousa; Cristina Gonçalves; Fátima Baptista; Luís Leopoldo Silva; Dina Murcho.

Autores: Vários

Data: 16 de Abril de 2013

Local: Universidade de Évora

ISBN: **978-989-8550-13-2**

## II Workshop (Bio)Energia

---

Hoje em dia quando se fala de energia pensamos inevitavelmente na pegada de carbono, no entanto, raramente se pensa na pegada social. Optar hoje por uma determinada fonte de energia não é socialmente inócuo, existem fontes de energia que criam emprego lá fora e fontes de energia que criam emprego cá dentro.

A (Bio)Energia, ou as diferentes variantes da mesma é de longe uma das fontes energéticas com balanço social mais elevado. Para que a mesma se desenvolva e se torne competitiva necessitamos de um investimento sério em investigação científica, pois, só por essa via, poderemos descobrir e desenvolver as múltiplas externalidades que este tipo de energia pode promover. A partir dos resíduos biológicos da indústria, da agricultura, da floresta e das cidades, será futuramente criada riqueza económica e social que favorecerão o aparecimento de modelos societários mais equilibrados e sustentáveis.

Este workshop em (Bio)Energia pretendeu reunir vários investigadores que isoladamente não fazem muito sentido, no entanto, em conjunto, demonstram que a (Bio)Energia é uma via promissora e sustentável que pode criar valor local, promovendo sociedades mais estáveis e ambientalmente mais responsáveis.

José Rafael Marques da Silva

### Conteúdo

#### **Second Generation Ethanol from Residual Biomass: Research and Perspectives in Ecuador**

Javier Carvajal Barriga .....6

#### **Culturas Energéticas – Potencialidades do Sorgo Sacarino nas Condições de Portugal**

José M. G. Calado, Gottlieb Basch .....25

#### **Variação Espacial e Temporal da Concentração de Biogás Produzido no Aterro Sanitário de Évora**

Mafalda Fernandes, Ana Silva, José Rafael Marques da Silva.....34

#### **Inventário de Biomassa Florestal por Imagens de Satélite de Alta Resolução Espacial**

Adélia M. O. de Sousa, José R. Marques da Silva, Ana Cristina Gonçalves, Paulo A. Mesquita.....42

#### **Transforming a Kraft Pulp Mill into a Biorefinery. Application TO the Production of Bioethanol and Surface Active Agents**

Christine Chirat.....48

#### **Culturas de Fungos Basidiomicetos em Resíduos Agroindustriais para Produção de Compostos Bioativos**

C Salvador , M F Candeias, M R Martins, AT Caldeira.....56

#### **Potencialidade Energética do Subcoberto de Montado de Sobre**

I.C. Menezes, N. Ribeiro, J. Corte-Real, P. Surový, S. Freitas.....68

#### **Florestas em Climas Mediterrânicos e Biomassa para Energia: um Caso de Estudo para o Pinheiro Bravo**

A.C. Gonçalves , A. Sousa, J.R.M. Silva.....79

#### **Biocombustíveis: uma Oportunidade ou um Problema para Portugal**

F. Gírio, R. Bogel-Lukasik, C. Matos, C. Oliveira, L. Silva.....86

#### **El Desafío de las Microalgas para la Producción de Biocombustibles de Segunda Generación**

Luis Manuel Navas Gracia , Jorge Miñón Martínez .....92

#### **Sistemas de Concentração Solar em Aplicações Agro Industriais**

João Farinha Mendes, João Pereira Cardoso.....102

#### **Energia, Ambiente, Economia e Olival no Alentejo. Estudo Preliminar.**

F. Baptista, D. Murcho, L. L. Silva, J. R .Silva, C. Marques, A.Dias, J. O. Peça, A. Sousa..... 116

### **SECOND GENERATION ETHANOL FROM RESIDUAL BIOMASS: RESEARCH AND PERSPECTIVES IN ECUADOR**

Javier Carvajal Barriga<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Centro Neotropical para la Investigación de la Biomasa. [www.cnib.com.ec](http://www.cnib.com.ec)

Ecuador is located between 1°N and 5°S on the west coast of South America. Although relatively small in size, mainland Ecuador can be subdivided nevertheless into three different and quite distinctive climatic regions: the Pacific coastal plain, the Andean highlands and the Amazon basin. In addition, Ecuador possesses a fourth region, namely the Galapagos Islands.

Climatically, the Pacific coastal plain is hot all year, with a rainy season between December and May. In the Andean highlands, the climate is markedly cooler, varying according to altitude. In contrast, the Amazon basin is hot, humid and wet all year round, while the Galapagos Islands are dry, with an annual average temperature of 25° C (77° F).

These characteristics provide Ecuador with a huge potential to develop second generation ethanol from industrial biomass, to replace a portion of the gasoline needed and, thus, the reduction of CO<sub>2</sub> emissions. The climatic conditions as well as the photoperiods and rainfall along the year make this country an excellent candidate to develop second generation biofuels technology from biomass.

Tropical cultures such as bananas, oil palm, sugar cane, and others that are produced mainly in the coastal region of the country generates each year enough cellulose to produce almost all the ethanol the country needs. The current situation in terms of the use of these lignocellulosic materials is still in its very beginning and much work is to be developed to establish a market for the lignocellulosic residues.

Additionally, microbial biodiversity and its research is becoming one important issue in terms of the development of innovative technologies based on biotechnology, pointing out the search for novel genes and metabolic abilities especially in wild yeasts studied in natural environments all around the country. Local researchers are devoted to the metabolic engineering of yeasts to improve the fermentation yields.

In this chapter we report some results from the or Sustainable Resources for Ethanol (RESETA) project, from the quantification and characterization of the most important cultures in Ecuador, its residues and characteristics, to the development of genetic engineered yeasts and the design and construction of a biorefinery at pilot scale.

The above mentioned project involves one of the most important researches the Ecuadorian Government has founded since 2008. The advances and results of this project can be taken as models for other tropical countries in the world.

Finally, we present the economic viability analysis of second generation ethanol projects in large scale in Ecuador, looking forward the industrial production of ethanol, biogas, biofertilizers and renewable chemicals in biorefineries in Ecuador.

### 1. Biomass: a qualitative and quantitative approach to the concept

The concept of biomass is largely extended among the bioenergy, agricultural, biotechnology and other specialists. When a farmer talks about biomass, he or she is referring to the foliage, fruits, grains, stems or waste materials produced in crops.

In the animal husbandry activities, biomass is referred to the manure and purines excreted by farm animals. On the other hand, talking about cell's biotechnology, biomass is referred to the cell production in a culture: biomass of yeast produced during fermentative processes.

In other terms, biomass constitutes a broad range of biological matter including the vegetal coverage of the planet, the micro and macro organisms living on the planet, including humankind.

Displaying in this manner the concept of biomass, allows the broadening of its quantitative and qualitative applications and uses. This way of thinking on biomass plays with the absolute and relative values of the concept and may certainly boost the current scheme of exploitation of biomass sources.

### 2. The cellulosic biomass potential worldwide.

Cellulose is the most abundant carbohydrate polymer in the planet. This remarkable molecule is composed by monomers of glucose linked up by glycosidic ( $\beta$  1—4) boundaries that provides this molecule with the capacity of forming linear, fibrous shapes of straight chains. These simple chains are joined by hydrogen bonds, provoking the formation of resistant and strong fibers which are the main components of plant cell walls.

Cellulose, itself is not only a strong, flexible and resistant fiber, but also insoluble and hard to be decomposed molecule. Nevertheless, fungal and bacterial micro flora which is abundant in nature has developed certain enzymes groups that allow them to decompose the glycosidic links and use the released glucose contained in cellulose. Thus, cellulose is recycled very efficiently in nature, sustaining the carbon equilibrium in biosphere, which relies fundamentally in anabolic and catabolic cycles of cellulose, where microbes play a main role.

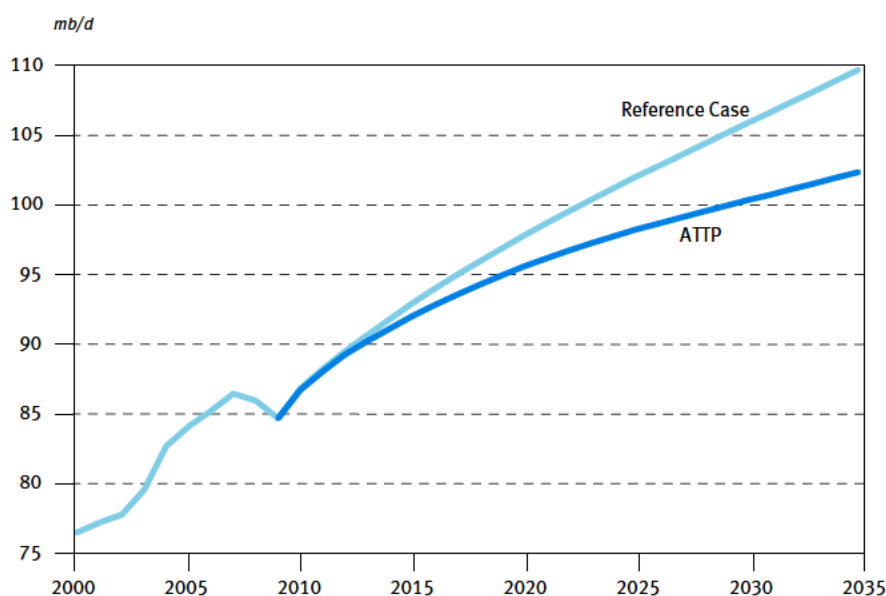
Cellulose is formed during photosynthesis, where  $\text{CO}_2$  and the energy from the sun are taken by plant cells, where this transformation takes place. Cellulose naturally is a structural molecule synthesized by plants to allow them to grow. Glucose is also a fuel molecule in as much as the bonds are in the  $\alpha$  configuration, thus forming fuel reserve molecules such as amylose and amylopectin, both molecules components of starch.

Cellulose recycling in nature is in the order of  $10^{15}$  kg per year (1). This number is so high that we could make enough fuel ethanol to supply 100 times the energy requirements of the entire world in a rampant development scenario projection for 2035 (2). In other words, we may probably need “only” 1 per cent of the cellulose synthesized by plants in one year, so we can have enough liquid fuel to run our vehicles and industries. In this calculation, it is not taken into account the biogas (to run power plants) and biofertilizers (to return minerals to soil) production if all the ethanol from cellulose were produced within biorefineries. If humankind had the technology, cultural and economic conditions to efficiently pick this cellulose up, we may probably reach the sustainable and clean environmental goals for future. Nevertheless, this utopia is not yet possible in current historical conditions, so we need to focus on much less ambitious objectives, such as the recovery and technological transformation of agricultural feedstocks and industrial leftovers. Figure 1 shows the crude oil



## II Workshop (Bio)Energia

we'll need in 2035. The amount is very impressive, that is 110 million barrels crude per day to keep running our industrial and mobilization needs.



**Figure 1.** The projection for the crude oil needs of the OPEC (Organization of Petroleum Exporters Countries) in the ATTP scenario (Accelerated Transportation Technology and Policy) for 2035. (2)

Before the worldwide petroleum reserves are depleted, humankind must change the energetic matrix based on oil and look for sustainable and clean sources to produce fuels. An analysis made by Bruce Dale from the Department of Chemical Engineering and Materials Science at Michigan State University (USA), show a clear disadvantage in terms of energy input of gasoline production compared to first and second generation ethanol (Table 1). In this scenario, the issues are not necessarily lying on the economic or technical feasibility of the conversion processes, but in political and ethical issues.

**Table 1.** Energy Inputs of various energy carriers in MJ per MJ of fuel produced and Greenhouse Gas (GHG). Outputs in kg of carbon dioxide equivalents per MJ fuel produced for various fuels. \* Credit for coal not consumed due to process residues being burned to provide heat (3)

	<b>petroleum</b>	<b>natural gas</b>	<b>coal</b>	<b>other</b>	<b>total</b>	<b>GHG emissions</b>
<b>gasoline</b>	1.10	0.03	0.05	0.01	1.19	94
<b>ethanol today</b>	0.04	0.28	0.41	0.04	0.77	77
<b>cellulosic ethanol</b>	0.08	0.02	0.02 *	0.02	0.10	11

The energy input to produce gasoline is 0.19 times higher than the energy harvested; the GHG emission are the highest (94 kg/MJ). The cellulosic ethanol case exhibits a much higher energy output than the energy required to produce it. Moreover, GHG emissions are much lower than gasoline case (11 kg/MJ). In the case of corn ethanol the energy balance is still positive even though the margin remains narrow.

## II Workshop (Bio)Energia

---

### 2.1 Is there enough biomass to replace oil?

There is a tendency to believe that there is not enough biomass in the world to replace fossil fuels that nowadays fulfill our energetic necessities. Taking into account that in the planet every year about  $10^{15}$  kg of cellulose are naturally recycled, we can do a simple calculation to better understand the real potential of biomass in a hypothetical scenario where we can transform this cellulose material into second generation ethanol.

That huge amount of cellulose is understood that is produced in forests, seas, rivers and crops all around the planet. In this calculation it is not considered the economic feasibility of getting that cellulose; nevertheless it can illuminate a possible future scenario.

In Table 2 it is shown a calculation of the crude necessities for 2035.

**Table 2.** The volume of crude oil needs projected to 2035 vs. the potential cellulosic ethanol from cellulose annual production on Earth. Bold numbers show that the cellulosic ethanol potential volume is 100 times more than the oil necessities.

CRUDE OIL			CELLULOSIC ETHANOL			
Crude necessities mb/d (data OPEC)	L crude/day 2035 (1 bbl. crude=158,98 liters)	Liters crude oil/year (2035)	Kg cellulose recycled/ year	Enzymatic cellulose hydrolysis (Yield~70%)	Conversion to ethanol (0,45kg ethanol/kg glucose)	Liters ethanol/year (ethanol density 0,789Kg/l)
110	$1,75 \times 10^{10}$	<b><math>6,38 \times 10^{12}</math></b>	$1 \times 10^{15}$	$7 \times 10^{14}$	$3,15 \times 10^{14}$	<b><math>3,99 \times 10^{14}</math></b>

Talking in terms of volume may allow us to understand the ethanol potential production from cellulose, but it does not explain the energetic issues concerning to both energy carriers when being compared. Ethanol is a fuel that possesses less calorific energy per kilogram than crude oil. If we want to calculate the amount of cellulosic fuel ethanol needed to replace oil it is necessary to take a look at the equivalences.

Crude Oil calorific value is about 40,000 MJ/Kg., while fuel ethanol's calorific value is about 28,800 MJ/Kg. Then, we can consider that one Kg. of ethanol is equivalent to 0.72 Kg of crude oil. In other words, crude oil's calorific power is about 1.4 times higher than fuel ethanol.

In Table 2, it is important to notice that the calculation intends to show that in nature there is enough cellulose to fulfill the necessities of energy to replace oil (at least in theory), but not the energy contained in both fuels; the cellulosic ethanol production from such a huge amount of cellulose may overwhelm in two orders of magnitude the figure of the crude oil requirements by 2035.

As a resulting corollary of this analysis, it is possible to infer that the need of cellulose produced naturally on Earth in order to replace crude oil may be only 1% of its total weight. However, it still represents an immense amount of cellulose to be collected and

technologically processed in an efficient and financially feasible way (i.e. ~10 billion MT of pure cellulose/year).

In this scenario, the easiest and more efficient way to start producing second generation ethanol is by utilizing the residual lignocellulosic feedstocks such as by-products from agriculture or industrial activities.

In this analysis, we have taken into account only cellulose—a glucose polymer—to be converted into fuel ethanol by alcoholic fermentation. Nonetheless, most of cellulose in nature is associated with hemicellulose and lignin. Hemicellulose is mainly composed by pentoses such as xylose and arabinose, while lignin is composed mainly by aromatic compounds.

### **3. Availability of residual biomass in Ecuador.**

Ecuador is a biodiverse country with rich and fertile natural regions. In the coastal zone of Ecuador there is the large scale agriculture of a wide variety of crops which have positioned this country as one of the most important producers of bananas, palmito (palm heart), oil palm and other valuable products in South America. Moreover, Ecuador has unique vegetal species that are being exploited in small scale, presenting novel and potential sources of lignocellulose for the future.

In terms of abundance of lignocellulosic residues, the most conspicuous industries producing leftovers—as a consequence of the harvest or the extraction of valuable commodities—are the bananas farms, and the oil palm and sugar cane mills. There are still other important industries located mainly in the highlands such as flowers and cereals that produce lignocellulosic material potentially usable. Nevertheless, the amounts of these residues are not enough for huge biorefining installations, nor even available in an economical and technical way.

As for the availability of residues, studies carried out by researchers from the Neotropical Center for the Biomass Research at the Pontificia Universidad Católica del Ecuador, reveal that there is a very high potential for lignocellulosic ethanol and biorefineries setting up in Ecuador. Nevertheless, there still exist constraints due to the disperse areas where the agricultural and industrial lignocellulosic materials are disposed; the local roads infrastructure and networks; the lack of development of markets for certain specific residues; the traditional uses and ways of final disposal; the physical and chemical composition of residues; and, the prices per dry ton. There are also social and environmental components to be taken into account when projecting lignocellulosic biorefineries to take the most of the agricultural and industrial byproducts, leftovers or residual material. In our survey we have considered the above-mentioned factors to develop the feasibility study for a biorefinery based on local lignocellulosic residues in the country.

In this survey we have pursued the following general objectives:

1. Evaluate the abundance and the potential of the main crops produced in Ecuador.
2. Determine the utilization, destiny, and availability of the agricultural residues.
3. Estimate the evolution of the agricultural production and residues generation in 5 years (until 2014).

Moreover, we have focused the following specific goals:

## II Workshop (Bio)Energia

---

1. Determine the main crops in Ecuador, its exact geographical location, and the quantity of biomass residues produced per year.
2. Establish the temporality of crops and harvest.
3. Take current and historical data on volume of waste biomass produced to project future volumes, considering a period of five years. Analyze the succession of crops
4. Determine on the basis of the previous information, the more adequate zones where to install a future biorefinery plant.

In Ecuador there are three crops that worth to be studied with biorefining ends, because of their characteristics in terms of composition, final disposal, abundance and lack of sustainable use. These crops are: bananas, sugar cane and oil palm.

Table 3 shows the complete results of our survey on 13 different crops in Ecuador, the calculation of its dry mass and cellulose average contents as well as the potential for ethanol production. As it is going to be seen, Ecuador potentially could provide at least half of the ethanol needs for replacing gasoline in vehicles if the cellulose contained in agricultural residues were transformed into ethanol.

This suggests that biorefinery plants can be a reasonable and sustainable option for the post oil economy in Ecuador. Moreover, there still exists a huge potential for power generation if biogas from stills and residual lignin are burned in biorefineries.

There still exist other valuable products from biorefining of second generation ethanol such that can be produced from the residual water generated after distillation which, after an anaerobic digestion process, yields biogas, liquid and solid fertilizers (sludge). The non-hydrolyzed fibers as well as yeast biomass obtained after fermentation can be dried and sold as animal feed solid matter. The solid matter that can be recovered from fermenters before distillation is really considerable. Moreover, carbon dioxide from fermentation can be collected and treated to be sold in as much as during the fermentation for ethanol production, almost the same amount of CO<sub>2</sub> is released. Theoretically, the production ratio of ethanol to CO<sub>2</sub> in fermentation is 92:88. The uses for this gas are very wide including food, drink and chemical industries. CO<sub>2</sub> is widely used in soft drinks and beer to carbonation of these beverages. It is also used to fill packs of vegetables and meat to keep it fresh. CO<sub>2</sub> can also be used as raw material for the synthesis of methanol, formic acid, and urea. Other applications of CO<sub>2</sub> include its use as a medium in supercritical CO<sub>2</sub> extraction and in fire extinguishing equipment (4).

## II Workshop (Bio)Energia

*Table 3. The hypothetical potential of lignocellulosic biomass in Ecuador to produce cellulosic ethanol*

<b>POTENTIAL OF SECOND GENERATION ETHANOL PRODUCTION FROM AGRICULTURAL RESIDUES IN ECUADOR</b>					
<b>Residues by Product</b>	<b>Dry weight (MT/year)</b>	<b>Average cellulose content (MT/year)</b>	<b>Theoretical potential ethanol (Gal)</b>	<b>Potentially supplied vehicles/year</b>	<b>Percent of potentially supplied vehicles per year (Total number of cars: 1.4 MM to 2014)</b>
Soy bean	19,873	7,949	1'510,192	3,020	0,2
Palmito	24,285	9,714	1'845,509	3,691	0,3
Flowers	29,259	11,704	2'223,489	4,447	0,3
Potatoes	66,790	26,716	5'075,609	10,151	1
Rice	90,742	36,297	6'895,808	13,792	1
Plantain	138,787	55,515	10'546,915	21,094	2
Soft corn	288,340	115,336	21'911,914	43,824	3
Sugar cane	327,422	130,969	24'881,855	49,764	4
Cocoa	343,249	137,300	26'084,624	52,169	4
Bananas	351,031	140,412	26'675,973	53,352	4
Dry corn	447,365	178,946	33'996,714	67,993	5
Coffee	568,736	227,494	43'220,137	86,440	6
Oil palm	2'071,995	828,798	157'457,762	314,916	22
<b>TOTALS</b>	<b>4'767,873</b>	<b>1'907,149</b>	<b>362'326,502</b>	<b>724,653</b>	<b>51,8</b>

#### **4. Second generation ethanol from residual feed stocks generated in industrial activities.**

##### **4.1. Xylose fermenting yeast in natural environments of Ecuador**

Lignocellulosic biomass is composed by mainly three different fractions of molecules: cellulose, hemicellulose and lignin. We have already talked about some applications for cellulose and lignin, mainly as ethanol and fuel biomass. Nevertheless, hemicellulose which is mainly composed of xylose, a five carbon sugar, is a very important and abundant source that accounts for 23% to 32% of the dry lignocellulosic biomass weight. This sugar can also be used for the production of ethanol as well as other valuable products.

As part of a survey in biodiversity in Ecuador, the CLQCA or Catholic University Yeast Collection has collected some isolates of yeast that exhibit fermentation skills when xylose and a Nitrogen base are mixed up in culture broths.

Xylose fermenting yeasts have been collected from different provinces of Ecuador, including the Galapagos Islands and the Amazonia. Nevertheless, none of these yeast isolates present high ethanol tolerance nor quick fermentation rates, which make these organisms not suitable for industrial processes. It can probably discourage someone to study natural occurring xylose fermenting yeasts, nonetheless, the genes involved in this physiological processes are still useful for metabolic engineering approaches.

## II Workshop (Bio)Energia

---

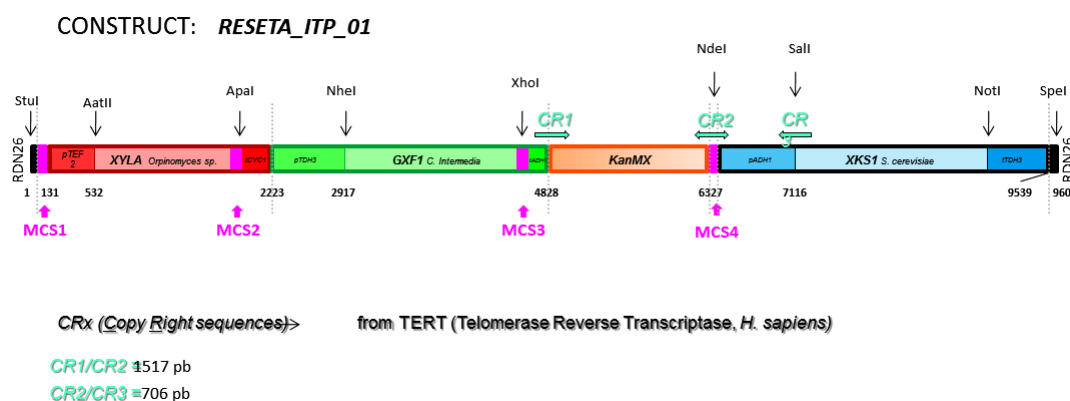
**Table 4.** Xylose fermenting yeast isolates collected in Ecuador (Galapagos Islands) and deposited at the Catholic University Yeast Collection (CLQCA). S: slow positive, W: weakly positive, +: positive.

ISOLATE CODE	YEAST SPECIES	SUBSTRATE	XYLOSE ASSIMILATION	XYLOSE FERMENTATION
CLQCA-24SC-002	<i>Yamadazyma mexicana</i>	<i>Inga Vera</i> (MUCILAGE)	S	W
CLQCA-24SC-016	<i>Yamadazyma mexicana</i>	<i>Bursera graveolens</i> (EXUDE)	W	W
CLQCA-24SC-312	<i>Galactomyces geotrichum</i>	<i>Scalesia</i> sp. (ROTTEN WOOD)	+	W
CLQCA-24SC-320	<i>Scheffersomyces stipitis</i>	<i>Scalesia</i> sp. (ROTTEN WOOD)	+	+
CLQCA-24SC-321	<i>Scheffersomyces stipitis</i>	<i>Scalesia</i> sp. (ROTTEN WOOD)	+	+

As seen on table 4, only two strains of *Scheffersomyces (Pichia) stipitis* are positive to ferment xylose. This yeast species has been reported to ferment xylose as will be seen further in this chapter.

In terms of ethanol production, there have been a lot of different approaches; in the last times the metabolic engineering of *Saccharomyces cerevisiae* was regarded as a suitable solution to ferment xylose, arabinose and other non-conventional sugars.

One example of this line of research is to be shown in the following scheme, where there are three different genes in charge of the transport, isomerization and phosphorylation in the process to ferment xylose. This construct has been designed at the Neotropical Center for the Biomass Research as part of the RESETA project. This genetic tool is very versatile and has been thought to be used as a genetic platform where to assay a wide variety of genes. The design of this construct was made by Carvajal et al. in 2011.



**Figure 2.** RESETA ITP 01 Construct. Composed by a XYL4 gene from *Orpinomyces sp.*; GXC1, from *Candida intermedia*; and, XKS1, from *Saccharomyces cerevisiae*. As a resistant marker it has been used the KanMX4 gene which provides resistance against Geneticin.

This genetic construction is being tested in laboratory conditions, integrated in industrial *Saccharomyces cerevisiae*. This first step forward to the metabolic engineering is expected to give new perspectives to the residual biomass transformation into valuable products in the context of biorefineries in Ecuador and worldwide.

### 4.2. Xylose to Xylitol fermentation.

Xylose to ethanol conversion in nature is been done by a few organisms such as yeasts like *Scheffersomyces stipitis*, an ascomycetous yeast that has been extensively investigated for the fermentation of xylose to ethanol, L-lactic acid for its further polymerization into PLA (Poly Lactic Acid) and other products from hemicellulose, the second abundant component of cellulosic biomass (5), (6), (7). Laboratory strains of *Schef. stipitis*, which are amenable to genetic and physiological manipulation, have been developed by metabolic engineering for xylose utilization (5), (7), (8)). The genome sequence was recently obtained for this yeast and will provide a valuable resource for enhancement of xylose utilization and other industrial attributes by *Schef. stipitis* (8). Genes from *Schef. stipitis* have also been introduced into *Saccharomyces cerevisiae* to enable fermentation of pentoses (5), (7), (8)).

### 4.3. Agro-industrial residues for xylitol production

Xylitol is a five-carbon sugar alcohol of high value added as a sweetener for high power, anticariogenic properties and insulin metabolism independent that guarantee its application in food and pharmaceutical industries. The power as a sweetener is similar to sucrose, and higher than ordinary polyols in addition to reduce caloric value, can be tolerated by diabetics. It is an anticariogenic and cariostatic compound that is not metabolized by microorganisms of the oral microbiota; thus, it is used in the manufactures of sweets. Can be used clinically for the prevention of otitis media because it inhibits the growth and adhesion of *Pneumococcus* spp and *Haemophilus influenzae* in nasopharynx cells, and it has skin smoothing properties (9); (10); (11); (12); (13); (14)). Owing to all these characteristics, xylitol is a feedstock of particular interest to the food, odontological and pharmaceutical industries.

Xylose is a sugar widely distributed in nature. Plants and fruits contain relatively low concentration, and extraction from natural sources is usually not profitable (10). Nowadays, xylitol is derived industrially via a chemical process from hydrolyzates of lignocellulosic wastes by either chemical reduction or microbial fermentation (9). However, due to a requirement for several chemical purification steps, such a process is very expensive.

Therefore, this conversion could be alternatively performed by bacteria, filamentous fungi, yeasts or purified enzymes from these microorganisms which are capable of reducing xylose to xylitol as a first step in D-xylose metabolism (15). Nevertheless, to make this process exploitable and economical at an industrial level, the bioconversion must be rapid, offer high yield, employ an alternative and cheap culture media and allow for results comparable to those of the present technology.

Lignocelluloses are the most abundant organic mass in the biosphere, which accounts for approximately 50% of the biomass. In nature the annual production of biomass is estimated to 10 to  $50 \times 10^9$  tons (16) Their major components, cellulose, hemicellulose and lignin, vary with plant species. The pentose fraction, composed of D-xylose (usually not less than 95%) and L-arabinose is much higher in hardwoods (19 to 33%) than in softwoods (10 to 12%) (17)

Hemicellulose is a branched polymer, which is composed of both linear and branched heteropolymers of D-xylose, L-arabinose, D-mannose, D-glucose, D-galactose and D-glucuronic acid with a high content of xylans, that consist essentially in  $\beta$ -1,4 links with branching variables; due to its heterogeneous structure and low degree of polymerization, it is easily hydrolyzed to xylose ( (16); (15)). Xylan accounts for 11-35% (dry weight basis) of lignocellulosic materials such as hardwoods and agricultural residues, such as sugarcane bagasse ( (14); (18)), rice straw ( (19)), and soy hulls ( (20); (21)) which are xylan-rich substrates and have been satisfactorily used as alternative media for xylitol production through different treatments (22) and cultivation conditions (23), aimed at increasing process yield and productivity.

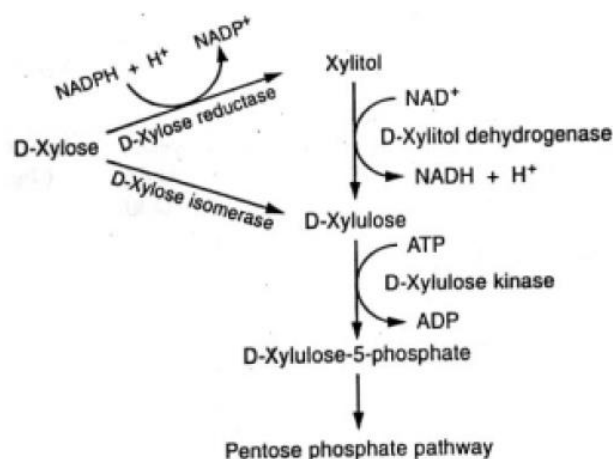
D-xylose, also can be converted into a range of substances of industrial interest such as fuels and solvents (ethanol, butanol, 2,3-butanediol, acetone and 2-propanol), alditols (xylitol and glycerol) and organic acids (lactic, acetic and butyric acid). It can also be used as a substrate for production of glucose isomerase (14).

For this process of xylitol production, pure xylose is necessary. The process starts with the production of xylose from xylan after acid-catalysed hydrolysis from hard-wood; however, the chemical process requires several purification steps, because only pure xylose can be used for chemical reduction. Therefore, overall xylitol yield is relatively low (50 – 60 %) from the total xylan content of the wood hemicelluloses ( (24); (11), (15)).

Furthermore, the choice of cultivation and/or conversion system is another crucial point for the success of this bioprocess. Different bench-scale cultivation systems were investigated, utilizing batch, fed-batch and continuous processes (15). Another important factors which affect the xylitol production is the quantity of inocula, substrate, media, temperature, pH and aeration ( (17); (25))

On the other hand, the biotechnological procedures are based on the utilization of microorganisms and/or enzymes. These procedures are interesting because they do not require a pure xylose solution as is the case when xylitol is produced by the chemical pathway. The bioconversion process would hold more promises of both hexoses and pentose sugars from lignocellulosic materials. The promising yeast species include the generous *Candida*, *Pichia*, *Debaryomyces* and *Pachysolen* ( (9); (26); (14); (16)) by NADPH-dependent xylose reductase, enzyme which can ferment hemicelluloses hydrolysate from woody plant materials (Figure3).





**Figure 3.** Pathway for microbial xylose utilization (9)

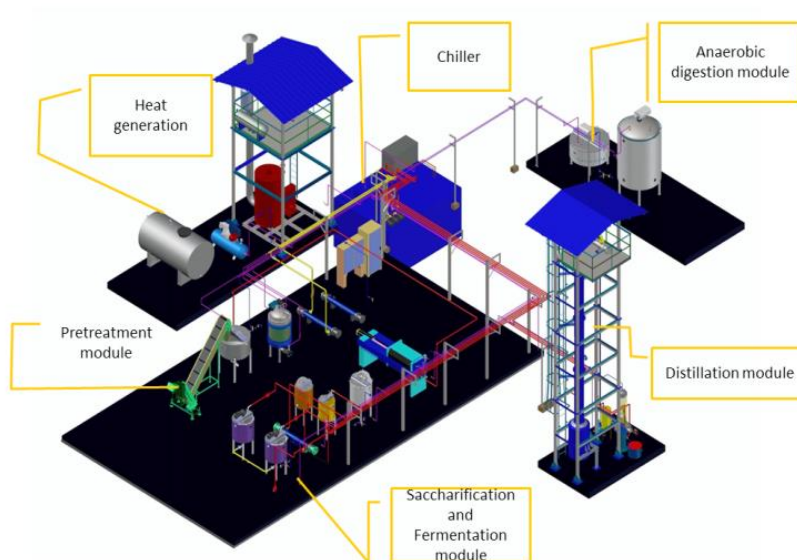
The first step in the metabolism of D-xylose is the transport of the sugar across the cell membrane. Once inside the yeast cell, D-xylose is reduced to xylitol by either NADH- or NADPH-dependent xylose reductase. Xylitol is either secreted from the cell or oxidized to xylulose by NAD- or NADP-dependent xylitol dehydrogenase. The first two reactions are considered to be limiting in D-xylose fermentation. The phosphorylation of xylulose to xylulose 5-phosphate is catalyzed by xylulokinase, which is a prerequisite for its utilization by the central catabolic pathways ( (23); (17); (16)).

In most studies on xylitol production by fermentative processes, xylose of analytical grade is commonly the major substrate. The main problem in the fermentation of these hydrolysates is the presence of toxic compounds released from the lignocellulosic structure during the hydrolytic process, as well as those originated from the sugar degradation, which inhibit the microbial growth and the fermentative activity of the yeasts. In this way, several approaches have been assayed to minimize this effect. According to Silva *et al*, 1998 the maximum xylitol production (54 g/L) occurs when the hydrolysate is first treated with CaO until reaching pH 8.4 and then treated with H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> until the pH decreases to 6.0. Thus, pH is an important factor to take into account for the xylitol fermentation. Its effect is related to the acetic acid concentration in the hydrolysate, which concentration, if it is higher than 3.0 g/L, can inhibit the yeasts capability to convert xylose into xylitol (27). Nonionized acetic acid, which is found in the medium at pH < 7.0, has been found to be the main inhibitor compound in yeast metabolism ( (28)).

The hemmicellulosic hydrolysates from agroforest residues can be efficiently utilized in fermentative processes for xylitol production after an initial treatment designed to remove or reduce the compounds known to be toxic to cell metabolism. This technology is still in its research and development stage, but the results attained points that it may be feasible to

### **5. The biorefinery concept from the perspective of RESETA project**

The RESETA project has focused a basic model of biorefinery for producing up to 45,000 liters ethanol/year; 450.000 liters fertilizer. This concept includes the production of ethanol, biogas, biodiesel, fertilizers and animal food (Figure 4). The whole plant is installed in an area of 1,200 m<sup>2</sup>.



*Figure 4. Isometric plan of the biorefinery built for the RESETA project.*

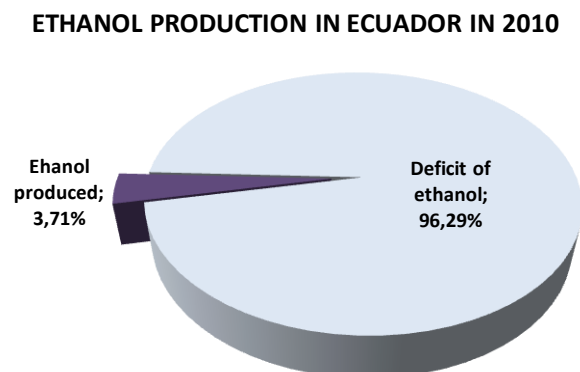
This biorefinery is also able to produce first and second generation ethanol from sugar, starch or cellulose containing feedstocks. From that point of view, the biorefinery concept can be applied not only to large scale, but also in mid and small scale production. In Ecuador, there are communities that produce a wide variety of residues that can be utilized. The biorefinery concept is applicable to promote a sustainable economy in vulnerable and underdeveloped zones.

An important achievement of this R&D project was the development of local technology in order to reduce the dependence of foreign technicians. The RESETA project biorefinery is completely automated which permits the operators scoring historical data of the trials performed during experimentation. Researchers and engineers are working together in the optimization of processes and designs. The resulting ideas and philosophy are being of great value looking forward the future technological independence in these strategic issues for Ecuador.

### **6. Economical and financing analysis on a hypothetical biorefinery in Ecuador**

Ecuadorian National Planning and Development Department, has determined a new energetic matrix where it is established the use of 5% ethanol in regular gasoline to be used in vehicles until 2020 in the whole country (29).

To accomplish this endeavor, in 2010 Ecuador's fuel ethanol needs were 32'187,903 gallons; nonetheless, the ethanol production reached was just 1'195,427 gallons (30). This is, only 3.71% of the national requirements were fulfilled, which demonstrates that there exists a huge unsatisfied demand of fuel ethanol, representing an interesting market for ethanol producers as seen on Figure 5.



*Figure 5. In Ecuador, only 3.71% of the demand of ethanol was satisfied in 2010 (30)*

The price of ethanol per liter has been fixed in 0.76 Dollars by the Ecuadorian Government. This is a very competitive price that the sugar mills are interested in producing this renewable fuel using molasses as feedstock; molasses are byproducts rich in sugars that represent a valuable source of energy in animal husbandry.

The RESETA Project (the acronym of Sustainable Sources for Ethanol) studies the second generation ethanol production from lignocellulosic materials as well as leftovers and industrial effluents. One of the objectives of such project is the development of a financial model based on a baseline survey on lignocellulosic materials in Ecuador (31). By means of the data obtained in such survey, it was possible to determine that there are three candidate raw materials taken into account its amount, localization and availability. The sources are banana stems, sugar cane bagasse and empty fruit bunches from oil palm.

Laboratory analysis demonstrated that the high level of moisture in banana stems, as well as the final disposition of the biomass, which is very dispersed in the field, makes its use an unfeasible task in terms of economy. On the other hand, sugar cane bagasse is already been used by sugar cane mills to generate power, thus, just a few biomass of this kind is really available. Finally, empty fruit bunch from oil palms present good characteristics for being used as feedstock in an industrial scale biorefinery. Empty fruit bunches account for about 45% cellulose dry weigh; which is enough to provide the raw material to run about 22% gasoline cars in Ecuador (Table 1).

One of the key factors influencing the feasibility studies to install a biorefinery is the price of the raw materials. Currently, the lignocellulosic residues represent a big environmental problem in Ecuador as well as an unsolved trouble to farmers and industries. One of the most common fates for lignocellulosics is the composting or decomposition on soil to provide organic matter for cultures and as mulch in a number of crops. The uncontrolled decomposition generates lixiviates, as well as greenhouse gases that finally are disposed in the subsoil and the atmosphere (31). It is necessary to provoke a change in the current situation that makes a real shift in terms of the use of the lignocellulosics. One strategy proposed by the RESETA project is pushing to the creation of a market for the lignocellulosics in sustainable and fair conditions for the owners of the biomass as well as for the biorefinery project to be successful. The establishment of companies where the owners of the biomass can participate as shareholders is one of the strategies proposed by our study.

In these terms, we have designed a financial analysis based on the data obtained by laboratory and field surveys. The factors taken into account were:

## II Workshop (Bio)Energia

---

- a. The implementation zone would be in La Concordia town (Latitude - 0.000017°; Longitude - 79,383563°), which is located in a strategic point for its big oil palm production and oil mill concentration.
- b. The raw material in terms of empty fruit bunch is about 640 MT per day.
- c. Enzymes, chemicals, yeasts, are calculated in 0.62 Dollars/Gal of ethanol.
- d. Other costs are about 0.45 Dollars/Gal, as it is detailed in Table 5. Additionally, it has been established an income per by products commercialization. These by products are represented by liquid and solid fertilizers.
- e. Another issue to be taken into account is the energy savings by means of the use of power co-generated using biogas from the biorefinery's processes.

*Table 5. Detailed costs of raw material and other inputs for ethanol production from empty fruit bunch palm in Ecuador.*

<b>COSTS OF RAW MATERIAL</b>	<b>USD/gal.</b>
Empty fruit bunch oil palm	0.28
Enzymes	0.55
Reactive	0.04
Yeast	0.03
<b>TOTAL COSTS PER RAW MATERIAL</b>	<b>0,9</b>
<b>OTHER COSTS</b>	<b>USD/gal.</b>
Transport	0.11
Electricity	0.05
Fuel	0.11
Waste management	0.02
Water	0.03
Chemicals	0.02
Research & Development	0.05
Administration costs	0.04
Others	0.02
<b>TOTAL OTHER COSTS</b>	<b>0.45</b>
<b>TOTAL COST PER GALLON</b>	<b>1.35</b>

A similar European project (i.e. PERESE project from Spain) establishes that the cost for the construction of a biorefinery plant for 500 MT of biomass per day is about 12 to 15 million Euros. In terms of the RESETA project, we may need to process about 640 MT/day. The criteria for building up a biorefinery are to consider a future growth, so the capacity must be overestimated in about 30% (32). Then, the investments may overcome in about 1.6 times those of the European PERESE project. In terms of Dollars, the total investment is among 24.96 to 31.2 million Dollars. We will use the highest number for our calculations.

## II Workshop (Bio)Energia

It has been determined the cost per liter ethanol from lignocellulosics from empty fruit bunch of oil palm in 0,49 Dollars, which is shown in Table 6.

*Table 6. Production costs of ethanol from empty fruit bunch palm in Ecuador*

<b>PRODUCTION COSTS USD/L etanol</b>		
DEPRECIATION	\$	0,10
MAINTENANCE	\$	0,01
OTHER FIXED COSTS	\$	0,12
<b>TOTAL FIXED COSTS</b>	<b>\$</b>	<b>0,23</b>
RAW MATERIAL	\$	0,24
DIRECT LABOR	\$	0,02
<b>TOTAL VARIABLE COSTS</b>	<b>\$</b>	<b>0,26</b>
<b>TOTAL PRODUCTION COSTS</b>	<b>\$</b>	<b>0,49</b>

In this calculation it has been taken into account a 1% growth in costs and incomes with the aim of using the whole installed capacity at the end of the project. Following in Table 7, it is shown the cash flow of the project, where the initial investment (31,2 million Dollars), the investment recovery period; the IRR and NPV are shown. Table 8 is a resume of such values.

*Table 7. Cash flow of the project*

CASH FLOW									
Year	Investment	Cash Inflows (Income)	Cash Outflows (Expenses)	Gross profit	Utilities employees	Income Tax	Depreciation	Net Income	Accumulated Cash
0	(31.200.000,00)							(31.200.000,00)	(31.200.000,00)
1		12.480.156,38	7.748.346,30	4.731.810,08	709.771,51	1.005.509,64	1.560.000,00	4.576.528,93	(26.623.471,07)
2		12.604.957,94	7.825.829,76	4.779.128,18	716.869,23	1.015.564,74	1.560.000,00	4.606.694,22	(22.016.776,86)
3		12.731.007,52	7.904.088,06	4.826.919,46	724.037,92	1.025.720,39	1.560.000,00	4.637.161,16	(17.379.615,70)
4		12.858.317,60	7.983.128,94	4.875.188,66	731.278,30	1.035.977,59	1.560.000,00	4.667.932,77	(12.711.682,93)
5		12.986.900,77	8.062.960,23	4.923.940,54	738.591,08	1.046.337,37	1.560.000,00	4.699.012,10	(8.012.670,84)
6		13.116.769,78	8.143.589,83	4.973.179,95	745.976,99	1.056.800,74	1.560.000,00	4.730.402,22	(3.282.268,62)
7		13.247.937,48	8.225.025,73	5.022.911,75	753.436,76	1.067.368,75	1.560.000,00	4.762.106,24	1.479.837,62
8		13.380.416,85	8.307.275,99	5.073.140,87	760.971,13	1.078.042,43	1.560.000,00	4.794.127,30	6.273.964,92
9		13.514.221,02	8.390.348,75	5.123.872,27	768.580,84	1.088.822,86	1.560.000,00	4.826.468,58	11.100.433,50
10		13.649.363,23	8.474.252,23	5.175.111,00	776.266,65	1.099.711,09	1.560.000,00	4.859.133,26	15.959.566,76
11		13.785.856,86	8.558.994,76	5.226.862,11	784.029,32	1.110.708,20	1.560.000,00	4.892.124,59	20.851.691,35
12		13.923.715,43	8.644.584,70	5.279.130,73	791.869,61	1.121.815,28	1.560.000,00	4.925.445,84	25.777.137,19
13		14.062.952,59	8.731.030,55	5.331.922,04	799.788,31	1.133.033,43	1.560.000,00	4.959.100,30	30.736.237,49
14		14.203.582,11	8.818.340,86	5.385.241,26	807.786,19	1.144.363,77	1.560.000,00	4.993.091,30	35.729.328,79
15		14.345.617,93	8.906.524,26	5.439.093,67	815.864,05	1.155.807,40	1.560.000,00	5.027.422,21	40.756.751,00
16		14.489.074,11	8.995.589,51	5.493.484,61	824.022,69	1.167.365,48	1.560.000,00	5.062.096,44	45.818.847,44
17		14.633.964,85	9.085.545,40	5.548.419,45	832.262,92	1.179.039,13	1.560.000,00	5.097.117,40	50.915.964,84
18		14.780.304,50	9.176.400,86	5.603.903,65	840.585,55	1.190.829,52	1.560.000,00	5.132.488,57	56.048.453,41
19		14.928.107,55	9.268.164,86	5.659.942,68	848.991,40	1.202.737,82	1.560.000,00	5.168.213,46	61.216.666,87
20		15.077.388,62	9.360.846,51	5.716.542,11	857.481,32	1.214.765,20	1.560.000,00	5.204.295,59	66.420.962,47

With such calculations and with a discount rate of 13.76%, calculated in basis to the established formula shown next, we have attained an IRR biggest than the discount rate.

$$\text{Discount Rate} = R_f + \beta(R_m - R_f) + R_p,$$

$R_f$ : Risk of the treasure funds bonus in the USA.

$\beta$ : Sensitivity or risk of the Project in the market

R<sub>m</sub>: Stock market index.

R<sub>p</sub>: Country-risk

*Table 8. Resume of the main financial indicators of the project*

<b>DISCOUNT RATE</b>	13,96%
<b>IRR</b>	14,15%
<b>NPV</b>	\$ 307.655,43
<b>INVESTMENT RECOVERY PERIOD</b>	6 years

This Project exhibits a positive NPV, combined with a reasonable IRR value; both values can be interpreted as indicators of a feasible project. This financial study doesn't consider the externalities and the social benefits a biorefinery can give the surrounding populations and environment.

### **7. Perspectives and conclusions.**

Ecuador is a very rich country in terms of biomass, produced by agricultural activities as well as biomass from natural forests. Nevertheless, this biomass is now misused and underestimated, because of the lack of mature technologies to take the best from it.

Ecuador has a high potential for the production of lignocellulosic ethanol, if we take a look of the amount of lignocellulosic waste materials that are being produced every year in crops such as bananas, palm oil, sugar cane, etc. Nevertheless it is to be understood that social and economic costumes are deeply rooted so it's going to be a big task changing the current uses of several waste materials. The case of empty fruit bunches is a typical example where it is possible to analyze the behaviors and preferences of the farmers and industry people.

It is necessary to establish rules and laws to regulate the raising biomass markets, moreover if the biomass is going to be transformed in valuable and useful products such as xylitol, ethanol, foods and renewable chemicals.

The technologies are being improved to get better yields and lower production costs. A demonstrative scale biorefinery has recently sat up in Ecuador at the Neotropical Center for the Biomass Research, under the Pontificia Universidad Catolica del Ecuador. This biorefinery was completely designed and constructed in Ecuador and is the very first in its genus in the country as well as one of the few in South America.

### **8. Acknowledgements**

The authors want to acknowledge the Pontificia Universidad Católica del Ecuador and the SENESCYT (Secretariat of Science and Technology of Ecuador) for financing the RESETA project and scientific activities at the Neotropical Center for the Biomass Research.

### 9. Bibliography

1. **Berg, Jeremy Mark, Tymoczko, Jhon L. and Lubert, Stryer.** *Biochemistry*. New York : Freedman and Company, 2007.
2. **OPEC.** *World Oil Outlook*. Vienna, Austria : Secretariat OPEC, 2011.
3. **DALE, BRUCE.** Biofuels: Thinking Clearly about the Issues. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 56, 2008, 3885–3891.
4. **Cheng, J.J., et al., et al.** *Biomass to Renewable Energy Processes*. New Jersey : Taylor & Francis Group, 2010.
5. *High activity of xylose reductase and xylitol dehydrogenase improves xylose fermentation by recombinant Saccharomyces cerevisiae.* **Karhumaa, K., et al., et al.** 2007, *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, pp. 73, 1039–1046.
6. *Efficient production of L-lactic acid from xylose by Pichia stipitis.* **Ilmén, M., et al., et al.** 2007, *Appl. Environ. Microbiol.*, pp. 73, 117–123.
7. *Engineering yeasts for xylose metabolism.* **Jeffries, T.W.** 2006., *Curr. Opin. Biotechnol.*, pp. 17, 320–326.
8. *Genome sequence of the lignocellulose-bioconverting and xylose-fermenting yeas.* **Jeffries, T.W., et al., et al.** 2007, *Nat. Biotechnol.*, pp. 25, 319-326.
9. **Affleck, R.P.** *Recovery of Xylitol from Fermentation of Model Hemicellulose Hydrolysates Using Membrane Technology*. Virginia, USA : Dissertation for the degree of Master of Science in Biological Systems Engineering at Virginia Polytechnic Institute and State University, 2000.
10. **Sampaio , F.** *Seleção de Microrganismos para a Conversão de Xilose em Xilitol*. Brasília : Dissertação apresentada na Universidade de Brasília para obtenção do título do Mestre em Microbiologia Agrícola., 2001.
11. **Granström, T.** *Biotechnological production of xylitol with Candida yeasts*. Espoo, Finland : Dissertation for the degree of Doctor in Chemical Technology at Helsinki University of Technology, 7th of June, 2002.
12. *Xilitol: Edulcorante com efeitos benéficos para a saúde humana.* **Mussatto, S. I. and Roberto, I. C.** 2002 : s.n., 2002, *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas.*, pp. 38:401-413.
13. **Lima, L. H.** *Estudos moleculares dos genes XYL1 e XYL2 de Candida tropicalis visando a produção de xilitol*. Brasília : Dissertação apresentada a Universidade de Brasília para obtenção do título do Doutor em Ciências Biológicas- Biologia Molecular, 2006.
14. *Crescimento e consumo de Xilose de Candida guilliermondii na fermentação submersa utilizando-se bagaço de cana-de-açúcar.* **Jucoski, M. C., et al., et al.** 2007, *Evidência*, Joaçaba, pp. V. 7, N.2, P. 119-130.
15. *Bioconversion of D-xylose to xylitol by Debaryomyces hansenii UFV-170: Product formation versus growth.* **Sampaio, F. C., et al., et al.** 2005, *Process Biochemistry.*, pp. 40, 3600–3606.
16. *Review, Bioconversion of pentose sugars into ethanol: A review and future directions.* **Chandel, A. K., et al., et al.** 2010, *Biotechnology and Molecular Biology Review*, Vol. 6(1), pp. 008-020.

17. *Microbial conversion of D-Xylose to Xylitol*. **Winkelhausen, E. and Kuzmanova, S.** 1998, Journal of Fermentation and Bioengineering., pp. 86: 1-14.
18. *Evaluation of Sugarcane bagasse acid hydrolyzate treatments for xylitol production*. **Gurgel, P. V., et al., et al.** 1998, Brazilian Journal of Chemical Engineering vol.15, n.3, pp. 309-312.
19. *Improvement of xylitol production by Candida guilliermondii FTI 20037 previously adapted to rice straw hemicellulosic hydrolyzate*. **Silva, C.J.S. and Roberto, I.C.** 2001, Letters in Applied Microbiology 2001, pp. 32, 248-252.
20. **Schmirmer, A.C.** *Produção biotecnológica de xilitol e etanol a partir de hidrolisado de casca de soja*. Rio Grande do Sul : Dissertação apresentada na Universidade Federal de Rio Grande do Sul para obtenção do mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos., 2007.
21. **Ribeiro, A.** *Otimização da hidrólise da casca de soja (Glycine max) e avaliação da capacidade de produção de xilitol e etanol por microrganismos sobre este hidrolisado*. Rio Grande do Sul : Dissertação apresentada na Universidade Federal de Rio Grande do Sul para obtenção do mestre em Ciencia e Tecnologia de Alimentos, 2010.
22. *Pretreatment of sugarcane bagasse hemicellulose hydrolysate for xylitol production by Candida guilliermondii*. **Alves, L. A., et al., et al.** 1998, Applied Biochemical Biotechnology, pp. 70-72: 89-97.
23. *Factors that affect the biosynthesis of Xylitol by Xylose-Fermenting Yeasts*. **Silva, S.S., Felipe, M.G.A. and Mancilha, I.M.** . 1998, Applied Biochemistry and Biotechnology. São Paulo., pp. vol. 70-72.
24. *Biotechnological production of xylitol. Part 3: Operation in culture media made from lignocellulose hydrolysates*. **Parajó, J. C., Domínguez, H. and Domínguez, J. M.** 1998b, Bioresource Technology., pp. 66: 25-40.
25. *Chemostat study of xylitol production by Candida guilliermondii*. **Granström, T., Ojamo, H. and Leisola, M.** 2001, Applied Microbiology Biotechnology, pp. 55: 36-42.
26. *Reclassification of the Candida guilliermondii FTI20037 as Candida tropicalis based on molecular phylogenetic analysis*. **Lima, L. H., Felipe, M. G.F. and Gonçalves, F. A.** 2003, Brazilian Journal of Microbiology., pp. 34 (Suppl.1) 96-98.
27. *Effect of acetic acid on xylose fermentation to xylitol by Candida guilliermondii*. **Felipe, M. G. A., et al., et al.** 1995, Journal of Basic Microbiology, pp. vol 35: 171-177.
28. *Biotechnological Production of Xylitol from Agroindustrial Residues. Evaluation of Bioprocesses*. **Rodrigues, D. C., et al., et al.** 1998, Applied Biochemistry and BiotechnologyY., pp. Vol. 70-72.
29. **Erazo, Paúl Mena.**  
[http://www.bbc.co.uk/mundo/ciencia\\_tecnologia/2010/01/100112\\_0245\\_ecuador\\_gasolina\\_verde\\_jrg.shtml](http://www.bbc.co.uk/mundo/ciencia_tecnologia/2010/01/100112_0245_ecuador_gasolina_verde_jrg.shtml). *Ecuador arranca venta de biocombustible*. enero 13, 2010, p. digital.
30. **PETROECUADOR. INFORME CIFRAS PETROLERAS, PERIODO ENERO - DICIEMBRE 2010.** Quito : EP PETROECUADOR, 2010.
31. **SmartResearch.** *Estudio desechos agricolas en el Ecuador, Proyecto RESETA: Recursos Sustentables para Etanol*. Quito : PUCE, 2009.
32. **Cedeño, N. M., León, J. E. and Cedeño, J. C.** *Modelo de Estimación de Precio para un Combustible de Composición 95% Gasolina Extra y 5% Etanol, que Ayude a Disminuir la*



*Contaminación Ambiental en la ciudad de Guayaquil*. Guayaquil : ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL, 2010.

33. *Biotechnological production of xylitol. Part 1: Interest of xylitol and fundamentals of its biosynthesis*. **Parajó, J. C., Domínguez, H. and Domínguez, J. M.** 1998a, *Bioresource Technology.*, pp. 65, 191-2111.

34. *High capacity xylose transport in Candida intermedia PYCC 4715*. **Gárdonyi, M. , et al., et al.** 2003, *FEMS Yeast*, pp. Res. 3, 45–52.

# CULTURAS ENERGÉTICAS – POTENCIALIDADES DO SORGO SACARINO NAS CONDIÇÕES DE PORTUGAL

José M. G. CALADO<sup>1,2</sup> & Gottlieb BASCH<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Universidade de Évora, Departamento de Fitotecnia, Apartado 94, 7002-554 Évora, Portugal. E-mail: jcalado@uevora.pt, Tel: 351 266 760822

<sup>2</sup>Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas (ICAAM), Apartado 94, 7002-554 Évora, Portugal.

### Resumo

O *Sorghum bicolor* (L.) Moench ssp. *saccharatum*, sorgo sacarino, é um espécie que se caracteriza por apresentar uma boa capacidade de adaptação a diversas regiões, sendo possível encontrá-la desde os 52° de latitude N e os 40° de latitude S. A capacidade de adaptação permite-lhe tolerar climas quentes e secos e solos com alguma acidez, produzindo grande quantidade de biomassa.

A capacidade de produção de biomassa pelo sorgo sacarino foi verificada no ensaio de vinte génotipos, realizado na herdade da Mitra no verão de 2012. O solo utilizado foi um Luvisol e o delineamento experimental foi em blocos casualizados com três repetições.

Os resultados permitem concluir que o sorgo sacarino em regime de regadio, com uma dotação de rega, em condições mediterrânicas, de aproximadamente 5000 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, produziu 69.7 ton ha<sup>-1</sup> de biomassa verde dos caules e 44.5 ton ha<sup>-1</sup> de biomassa seca dos caules (valores médios de dez génotipos). Daqui é possível estimar uma produção de 6675 l ha<sup>-1</sup> de etanol. Apesar dos valores da produção verificada serem altos, o sucesso da cultura em Portugal dependerá da eliminação de alguns constrangimentos, sobretudo da existência de unidade de transformação.

**Palavras-chave:** sorgo sacarino; biomassa, etanol.

### Abstract

*Sorghum bicolor* (L.) Moench ssp. *saccharatum*, sweet sorghum, is characterized by its capacity to grow under very different climate and soil conditions. Thus this crop produces considerable biomass between 52° N and 40° S, in hot and dry climates, and even under poor and acid soil conditions.

Biomass yield of sweet sorghum was verified in twenty genotypes. The experiment was carried out at the Mitra farm in the summer of 2012 on a Luvisol and the experimental layout was a randomized block design with three replications.

The results showed that the top ten sweet sorghum genotypes produced an average of 69.7 ton ha<sup>-1</sup> of fresh weight of stalks, corresponding to 44.5 ton ha<sup>-1</sup> of dry matter. This biomass production was obtained with approximately 5000 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> of irrigation applied over a period of 4 months. The respective ethanol production could reach 6675 l ha<sup>-1</sup>. Despite the promising yield level verified in this field evaluation, the success of this crop in Portugal will entirely depend on the interest in and the existence of a well located processing unit.

**Keywords:** sweet sorghum, biomass, ethanol.

### INTRODUÇÃO

O sorgo parece ser originário da África Central e Ocidental, provavelmente da Etiópia ou Sudão, com maior rusticidade do que o milho, suportando melhor a secura e tolerando doenças e pragas de forma mais eficiente. As plantas caracterizam-se por grande desenvolvimento vegetativo, podem atingir valores superiores a 4 m de altura e acumulam açúcares nos caules (Munteanu & Tabără, 2012). A tolerância à secura é devida à existência de eficientes mecanismos morfológicos e bioquímicos, que permitem uma melhor adaptação do sorgo, relativamente a outros cereais, aos climas secos (exemplo milho).

O sorgo é uma das espécies vegetais com maior capacidade para produzir energia acumulada devido a ser uma planta C4 com alta eficiência fotossintética (Kundiyan, 2006; Almodares & Hadi, 2009; Souza, 2011), por isso, cresce rapidamente e utiliza menos água e nutrientes relativamente a outras culturas em que a produção pode ser utilizada para obter bioetanol, como a cana-de-açúcar e o milho. Os altos rendimentos são atingidos em um período curto de tempo, sendo, assim, uma vantagem da espécie.

A cultura do sorgo sacarino, *Sorghum bicolor* (L.) Moench ssp. *saccharatum*, pode ser fácil de generalizar, devido às técnicas culturais serem similares às que se aplicam no milho, que é uma cultura conhecida da agricultura portuguesa. Além disso, não compromete o aprovisionamento alimentar pois pode ser utilizada com dupla aptidão (bioetanol e forrageira) e caracteriza-se por ser uma das culturas mais eficientes em termos energéticos.

A partir da presente procura de combustíveis fósseis e o impacto que essa procura terá nos recursos existentes no mundo, parece inevitável encontrar soluções que contribuam para que no futuro o sistema de energia seja renovável, sustentável, nas componentes económica e ambiental, e mais seguro.

Bioenergia pode ser produzida a partir de hidratos de carbono (mono, di e polissacarídeos) provenientes de diversas culturas e quando são utilizadas com essa finalidade designam-se de energéticas. As principais matérias-primas para a indústria atual de etanol em grande escala incluem a cana-de-açúcar (Brasil), a beterraba sacarina e o trigo (Europa), o milho e o sorgo (Estados Unidos). Com a produção destas matérias-primas aproveitam-se as oportunidades emergentes do mercado, a necessidade de desenvolvimento rural, a redução de impacto ambiental, a diversidade de aumento de energia e segurança, a diminuição de emissões de carbono fóssil e a procura crescente de energia e materiais com tecnologias sustentáveis (Kundiyan, 2006).

A cultura do sorgo sacarino pode, assim, ajudar o sistema de energia do futuro, que nos últimos anos tem beneficiado de um esforço e impulso acentuado para identificar, desenvolver e comercializar tecnologia para esse sistema.

### CARACTERIZAÇÃO

O sorgo sacarino, *Sorghum bicolor* (L.) Moench ssp. *saccharatum*, é considerado uma cultura com elevado potencial para produzir energia, com um alto poder calorífico, 4125 kcal/kg (Grassi *et. al.*, 2004), em consequência de atingir produções de biomassa superiores a oitenta toneladas por hectare e caracteriza-se por apresentar rusticidade (Kundiyan, 2006).

As características que permitem ao sorgo suportar o défice hídrico, são um sistema radical muito desenvolvido e fibroso, sendo muito eficiente na extração de humidade do solo, em que a área de extração é o dobro do milho, um baixo nível de transpiração relativamente à capacidade de absorção radical, uma superfície foliar funcional mais reduzida do que o milho,

um enrolamento das folhas que permite reduzir a superfície foliar exposta à transpiração e uma cobertura cerosa dos caules e das folhas que garante uma proteção contra a secura.

O sorgo suporta temperaturas elevadas, pode desenvolver-se de forma aceitável em zonas secas e quentes com altas produções de matéria seca (Kundiyana, 2006), sendo uma espécie mais exigente em temperaturas do que o milho, com uma mínima para crescimento de 15 °C, que condiciona o período de sementeira, e ótimas entre 24 e 30 °C. Alguns trabalhos referem valores de 32 °C para se maximizar o crescimento das plantas.

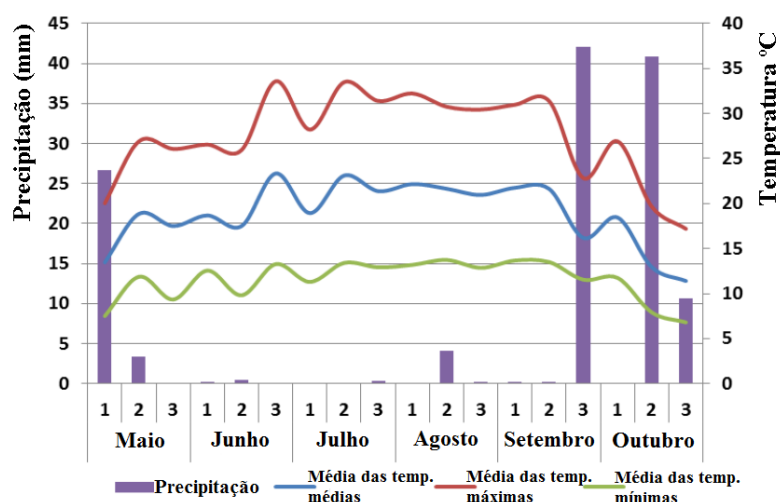
Quanto aos solos, suporta solos arenosos e apresenta alguma tolerância à acidez. Assim, poder-se-á considerar que o sorgo tem alguma flexibilidade para se adaptar a diferentes condições de solo (Grassi *et. al.*, 2004; Almodares & Hadi, 2009).

Normalmente, 10 a 15% de açúcar é extraído a partir de sumo de sorgo sacarino, sendo esse teor em açúcar registado a partir da floração, que é o estado considerado para a fase inicial de colheita, uma vez que os açúcares fermentáveis tendem a acumular-se nesse estado (Kundiyana, 2006).

### MATERIAL E MÉTODOS

Alguns dados analisados nos resultados foram obtidos numa experimentação realizada no ano de 2012 na horta da Herdade da Experimental da Mitra da Universidade de Évora, concelho de Évora, distrito de Évora, localizada a uma latitude de 38°31'50''N e uma longitude de 8°00'57''W do meridiano de Greenwich.

As condições climáticas verificadas nos meses em que decorreu a experimentação, apresentam-se na Figura 1. Os valores mensais da precipitação e da média das temperaturas máximas, mínimas e médias do ar foram registados na estação meteorológica instalada na Herdade da Mitra.



**Figura 1** - Condições termo pluviométricas registadas na estação meteorológica da Mitra nos meses de maio a outubro de 2012.

## II Workshop (Bio)Energia

---

As condições edáficas sobre as quais decorreu a experimentação foi o Solo Mediterrâneo Pardo de quartzodioritos (Pmg), Luvisol, de textura franco-limoso.

No ensaio foram testados vinte genótipos de sorgo sacarino da empresa CERES Sementes, sendo apresentada uma análise dos resultados para dez genótipos que atingiram uma boa produção quer em quantidade de biomassa quer em teor de sólidos solúveis (°Brix).

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com três repetições. Cada talhão foi constituído por quatro linhas distanciadas 75 cm e com um comprimento de 6 a 8 m, sendo a colheita realizada em 4 m das duas linhas centrais do talhão, para evitar o efeito de bordadura, correspondendo a uma área de colheita de aproximadamente 6 m<sup>2</sup>.

Quanto à preparação do solo foi efetuada uma mobilização primária realizada por um escarificador pesado e mobilização de preparação da cama da semente efetuada com recurso a gradagens.

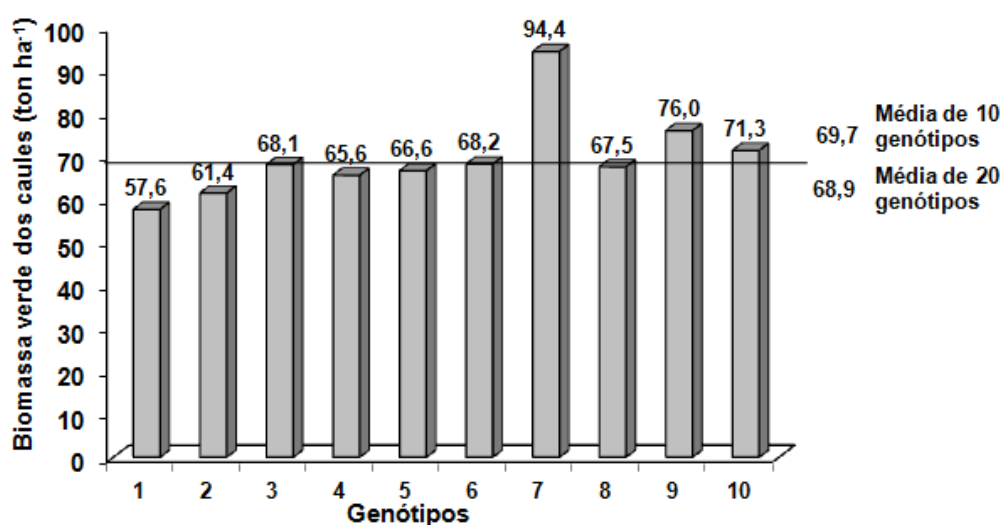
A sementeira foi realizada no início da segunda quinzena de maio de 2012 (17/05/2012) com uma densidade de 133333 sementes por hectare, utilizando-se um espaçamento de 0,75 m na entre linha e 0,10 m na linha. A partir da densidade de sementeira utilizada pretendia-se obter uma população entre 100000 plantas por hectare, que será a recomendada para o sorgo sacarino, enquanto a profundidade de sementeira varia com o teor de humidade e a textura do solo entre 1 e 4 cm.

A fertilização e o consumo da água foram outros fatores utilizados e na adubação de fundo aplicaram-se 100 kg N ha<sup>-1</sup>, 100 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> e 120kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>, enquanto em cobertura, recorrendo à fertirrigação, foram aplicados 60 kg N ha<sup>-1</sup>. Por sua vez, a água aplicada a partir de um sistema de rega localizada oscilou entre os 4300 e os 5400 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Esta oscilação resultou da duração do ciclo vegetativo dos genótipos, que condicionou a data de colheita efetuada para cada genótipo no estado de grão leitoso. Devido à variabilidade da duração do ciclo vegetativo até ao estado de grão leitoso nos diversos genótipos, a data de colheita decorreu desde a 2ª quinzena de agosto até ao fim de setembro.

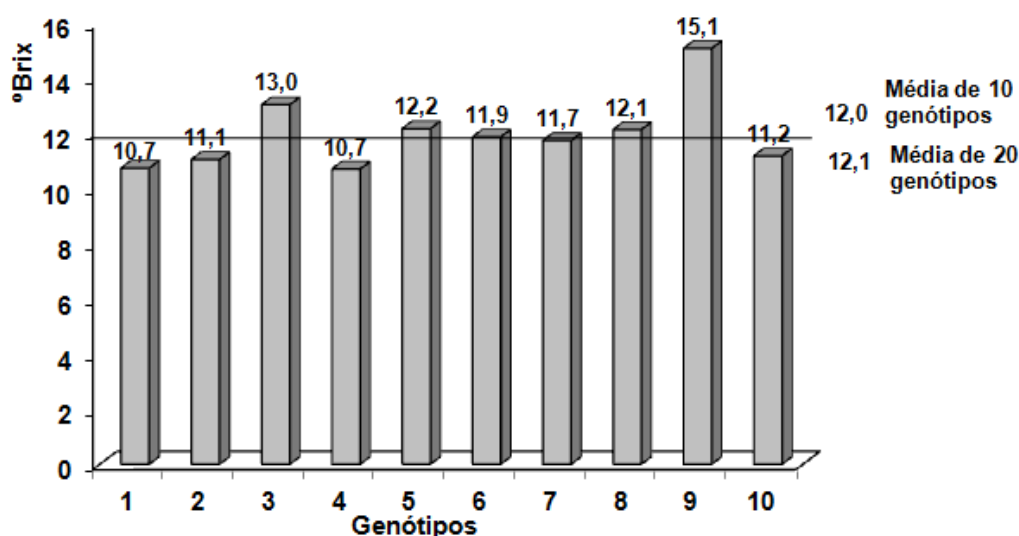
Conforme já foi referido, a produção de biomassa de sorgo sacarino foi verificada na zona central dos talhões, correspondendo a uma área de seis metros quadrados, sendo o teor de humidade estimado a partir do peso seco em estufa (60 °C ± 48 horas) de seis caules. Quanto ao teor de sólidos solúveis (°Brix) foi estimado numa amostra de três caules e de três entrenós em cada caule, o 3º, 6º e 9º a partir da base.

### **ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS VERIFICADOS EM ENSAIOS REALIZADOS NO ANO 2012**

Conforme podemos verificar nas Fig. 2, a produção média de biomassa de caules verdes de 10 genótipos em ensaio na horta da Mitra foi de 69.7 ton ha<sup>-1</sup> e no total dos 20 genótipos testados foi atingida uma produtividade 68.9 ton ha<sup>-1</sup> de biomassa dos caules verdes. A média do teor de sólidos solúveis (°Brix) obtida para os 10 genótipos foi de 12 (Fig. 3). Como se constata e também tem sido verificado em outros trabalhos (Munteanu & Tabără, 2012), há influência dos genótipos na produção de biomassa sorgo, que exerce influência no teor de açúcares.



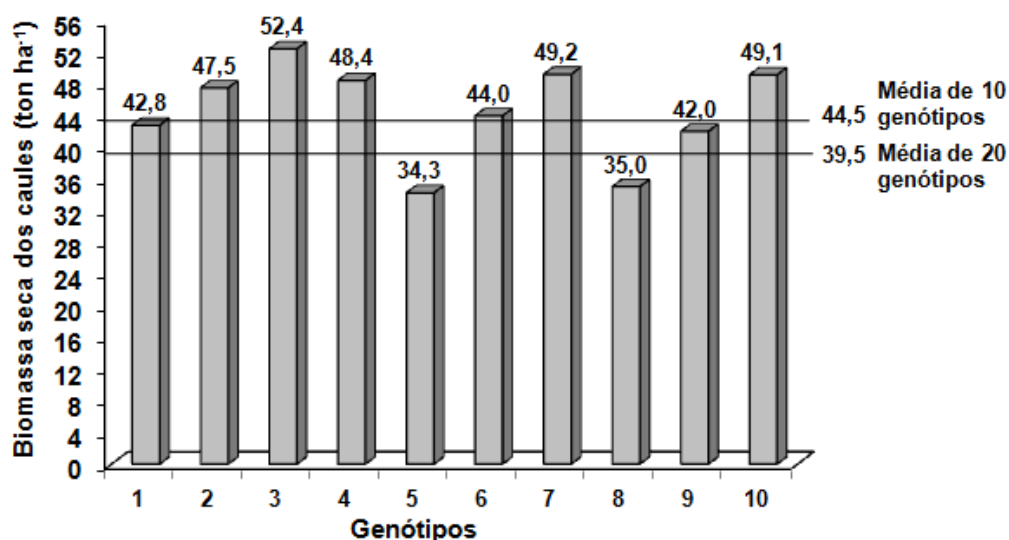
*Figura 2 – Produção de biomassa dos caules verdes de 10 genótipos de sorgo sacarino em ensaio no verão de 2012 na herdade da Mitra, Universidade de Évora.*



*Figura 3 – Teor de sólidos solúveis (grau brix) de 10 genótipos de sorgo sacarino em ensaio na herdade da Mitra no verão de 2012, Universidade de Évora.*

Na Fig. 4 apresentam-se os valores médios da biomassa dos caules secos em estufa. Para os valores médios obtidos, 44.5 kg ha<sup>-1</sup> (10 genótipos) e 39.5 kg ha<sup>-1</sup> (20 genótipos) contribuíram três genótipos com valores a tenderem para 50 ton ha<sup>-1</sup> (49.1, 49.2 e 52.4), em que o mais produtivo em caules secos (52.4 kg ha<sup>-1</sup>) atingiu 13 °Brix. A partir destes valores e considerando o valor de 30% para a concentração de açúcares nos caules secos, indicado como limite mínimo em diversos trabalhos (Lourenço *et al.*, 2007), pode ser estimada a produção de açúcar. Para a biomassa média dos caules secos obtida em 10 genótipos a estimativa da produção de açúcares é 13.35 ton ha<sup>-1</sup> e para a média de 20 genótipos é 11.85 ton ha<sup>-1</sup>, sendo para o genótipo com maior produção de biomassa de caules secos de 15.72 ton

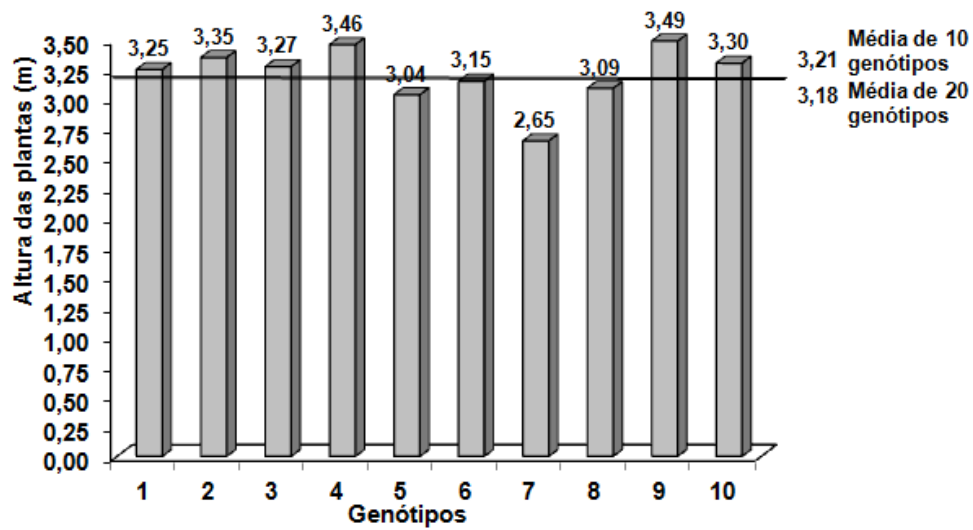
ha<sup>-1</sup>. De acordo com estes valores e considerando que 2 kg de açúcar correspondem a 1 l de etanol (Lourenço *et al.*, 2007), temos para 13.35 ton ha<sup>-1</sup> de açúcares um valor de 6675 l ha<sup>-1</sup> de etanol, para 11.85 ton ha<sup>-1</sup> de açúcares corresponde o valor de 5925 l ha<sup>-1</sup> de etanol e para 15.72 ton ha<sup>-1</sup> de açúcares, o valor de etanol é de 7860 l ha<sup>-1</sup>.



*Figura 4 – Produção de biomassa dos caules secos de 10 genótipos de sorgo sacarino em ensaio na herdade da Mitra no verão de 2012, Universidade de Évora.*

Os valores obtidos no ensaio são superiores aos valores obtidos em regiões de latitude mais elevada (Munteanu & Tabără, 2012) e estão ao nível dos melhores resultados obtidos em outras regiões do mundo, notando-se um acréscimo relativamente ao que foi verificado por Lourenço *et al.* (2007), em consequência de um acréscimo acentuado na altura das plantas, que apresentaram, em geral, valores entre 3 e 3.4 m até à inflorescência, ou seja, de altura dos caules (Fig. 5). Além disso, estes novos genótipos demonstram alguma capacidade de afilhamento, o que permite aumentar a produção de biomassa dos caules (Fig. 6).

Como o consumo da água é um fator muito relevante na cultura do sorgo, que é efetuada em regime de regadio, para os valores obtidos foi necessário uma quantidade de água que oscilou entre os 4300 e os 5400m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.



*Figura 5 – Altura das plantas, até à inflorescência, de 10 genótipos de sorgo sacarino em ensaio na herdade da Mitra no verão de 2012, Universidade de Évora.*



*Figura 6 – Aspetto do desenvolvimento de plantas de sorgo sacarino no início de Agosto de 2012 na horta da Mitra, região de Évora.*



### **Perspetivas para a cultura do sorgo sacarino em Portugal**

Apesar da capacidade de adaptação que o sorgo sacarino apresenta a diversos ambientes, incluindo as condições mediterrânicas do Sul de Portugal, há condicionantes muito fortes em Portugal para conseguir generalizar a cultura, mesmo em locais que têm disponibilidade de água para suportar o regime de regadio.

Nessas condicionantes encontra-se a falta de uma unidade transformadora, uma vez que é inviável transportar para locais muito afastados os milhares de toneladas de matéria verde que é produzida em cada hectare. Mesmo sem efetuar cálculos rigorosos, compreende-se que valores de produção de 70 toneladas de biomassa verde de caules de sorgo obtida por hectare, como verificámos no ensaio realizado na horta da Mitra no verão de 2012, necessita de uma unidade de transformação próxima do local de obtenção do produto (caules de sorgo sacarino).

Além disso, é necessário que o mercado disponibilize semente das variedades mais produtivas e que seja analisado com algum cuidado o equipamento de colheita. No caso da semente parece que há algum avanço, resultante da investigação de grandes empresas na área do melhoramento de culturas energéticas que estão a trabalhar para disponibilizarem variedades no mercado europeu (exemplo: Ceres que é responsável/obtentor dos génotipos utilizados no ensaio).

No entanto, as condicionantes referidas poderiam ser minimizadas com políticas setoriais, que permitissem a eliminação de alguns constrangimentos e conseguissem dinamizar a possibilidade de criação de uma unidade de transformação, em consequência da necessidade de produzir matéria-prima a nível nacional para a produção de bioetanol.

### **CONCLUSÕES**

Nos próximos anos devemos assistir a uma grande expansão da cultura do sorgo sacarino a nível mundial devido à sua utilização como matéria-prima para a produção de etanol, sobretudo em países quentes e secos, para reduzir, como referem Almodares & Hadi (2009), a importação de gasolina, os gases do efeito estufa e resolver os problemas resultantes da libertação de octano.

O sorgo sacarino apresenta pontos fortes e, se existir uma unidade transformadora, existem algumas oportunidades. Como pontos fortes, a capacidade de adaptação a diversas condições ambientais, incluindo as mediterrânicas, expressa por uma boa capacidade de produção de caules e respetivo teor em açúcares para se obter o etanol. Além disso, é menos exigente em alguns recursos relativamente a outras gramíneas (milho e trigo) que podem produzir etanol.

Apesar de depender das características do solo, nomeadamente da reserva de água útil do solo, e da duração do ciclo vegetativo da variedade, a cultura de sorgo sacarino, em condições mediterrânicas, consegue suportar dotações de rega a tenderem para 5000 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Daqui conclui-se que o sorgo sacarino consegue atingir o seu potencial produtivo com dotações de rega inferiores às que permitem obter o potencial produtivo que caracteriza a cultura do milho.

Assim, a capacidade produtiva garante algumas oportunidades, se existir unidade de transformação e semente disponível no mercado, que já está a ser trabalhada no mercado europeu. A maior restrição ou risco está associada com a unidade de transformação, que

dependerá da existência de políticas setoriais e pode viabilizar a cultura do sorgo sacarino para a produção de etanol.

### AGRADECIMENTOS

A realização da experimentação neste trabalho recebeu o apoio da empresa CERES Sementes, o qual se agradece, assim como a todas as pessoas que contribuíram para a sua execução.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almodares, A.; Hadi, M. R. (2009) - Production of Bioethanol from Sweet Sorghum: A review. *African Journal of Agricultural Research*, 4 (9): 772 – 780.
- Grassi, G.; Tondi, G.; Helm, P. (2004) - Small-sized commercial bioenergy technologies as an instrument of rural development. *Biomass and Agriculture: Sustainability, Markets and Policies*. OECD Publication Service, Paris: 277-287.
- Kundiyan, D. K. (2006) - “Sorganol”: In-field Production of Ethanol from Sweet Sorghum. *Dissertação de Mestrado, Faculty of the Graduate College of the Oklahoma State University, Stillwater, Oklahoma*, 132p.
- Lourenço, M. E. V.; Massa, V. M. L.; Palma, P. M. M.; Rato, A. E. M. (2007) - Potencialidades do Sorgo Sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] para a Produção Sustentável de Bioetanol no Alentejo. *Rev. de Ciências Agrárias*. 30 (1): 103-110.
- Munteanu, L. M.; Tabără, V. (2012) - Study of Elements of Productivity in Sugar Sorghum (*Sorghum B. Var. Saccharatum*) Grown in Caras Severin. *Research Journal of Agricultural Science*, 44 (1):112-115.
- Souza, V. F. (2011) - Adaptabilidade e Estabilidade de cultivares de Sorgo Sacarino. *Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Montes Claros, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido, para obtenção do título de “Magister Scientiae”*. 53 p.

# VARIAÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DA CONCENTRAÇÃO DE BIOGÁS PRODUZIDO NO ATERRO SANITÁRIO DE ÉVORA

Mafalda Fernandes<sup>(1a)</sup>; Ana Silva<sup>(2)</sup>; José Rafael Marques da Silva<sup>(1b)</sup>

<sup>(1)</sup>Universidade de Évora: a) mafalda.marques.fernandes5@gmail.com; (b) jmsilva@uevora.pt

<sup>(2)</sup>GESAMB: ana.silva@gesamb.pt

## RESUMO

Atualmente toneladas de resíduos são depositadas em aterros sanitários e esta deposição acarreta elevadas emissões de gases com efeito de estufa para atmosfera. Um dos principais gases é o metano, o qual, se for captado, poderá ser utilizado na produção de energia. Neste sentido, muitos têm sido os modelos que têm surgido para estimar a produção de metano pelos aterros sanitários e consequentemente a energia que se poderia obter da sua valorização. O Aterro Sanitário de Évora está em funcionamento desde 2002 e recebe anualmente cerca de 76906 toneladas de lixo, esta quantidade de resíduos poderá dar origem a cerca de 6355 MWh ano<sup>-1</sup> de energia térmica e 2224 MWh ano<sup>-1</sup> de energia elétrica. Para melhor perceber o potencial de produção de Biogás deste aterro foram analisados os valores de metano, no espaço e no tempo (2002-2012), tendo-se constatado uma enorme variabilidade dos mesmos. Tal variabilidade esteve quase sempre associada a fenómenos de variação da temperatura média do ar e a fenómenos de precipitação persistente que alteravam a dinâmica de lixiviado do aterro bem como a atividade das bactérias metano-génicas.

**Palavras-chave:** Resíduos, Aterro Sanitário, Metano, Biogás, Temperatura, Precipitação, Lixiviado

## INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da sociedade e o aumento da preocupação com o ambiente tem levado a que os Aterros Sanitários se tenham generalizado levando ao fecho de inúmeras lixeiras a céu aberto (Scott et al, 2005). No que concerne aos atuais Aterros Sanitários existe também preocupação no sentido de minimizar a eventual poluição de terrenos e águas subterrâneas, tendo estes evoluído de aterros superficiais a céu aberto, onde ocorria a degradação aeróbica dos resíduos, para aterros de grandes dimensões e profundos onde ocorre a degradação anaeróbica dos resíduos. Para impedir a contaminação difusa do ar, solo e água os Aterros Sanitários são normalmente impermeabilizados para evitar todo o tipo de fugas, especialmente do lixiviado, sendo este último, normalmente enviado para o relector (Scott et al, 2005 e Hughes et al, s.d.). Segundo a Diretiva Comunitária 1999/31/EC de 26 de Abril de 1999, os Aterros Sanitários são locais à superfície ou abaixo deste onde são depositados resíduos em camadas finas e compactadas com o objetivo de serem eliminados. A classificação do tipo de Aterros Sanitários tem mudado ao longo do tempo e quase que de país para país, no entanto, em Portugal, estes são classificados consoante o tipo de resíduo que recebem, nomeadamente: i) aterros de resíduos perigosos; ii) aterros de resíduos não-perigosos; e iii) resíduos inertes (Diretiva Comunitária 1999/31/EC).

Num Aterro Sanitário a degradação natural dos resíduos ocorre normalmente num espaço de décadas. Para acelerar a taxa de decomposição dos resíduos podem ser criadas

determinadas condições favoráveis aos microrganismos, nomeadamente a manutenção de um valor de humidade favorável à atividade das bactérias, funcionando um aterro como um reator biológico. Os Aterros Sanitários podem funcionar como reatores aeróbios-anaeróbios, aeróbios, anaeróbios e facultativos. Nos reatores aeróbios-anaeróbios, o principal objetivo é combinar as vantagens de cada sistema de modo a maximizar a degradação dos resíduos, nomeadamente a degradação rápida de resíduos facilmente biodegradáveis na fase aeróbia o que facilita a etapa de metanogénese que ocorre na fase anaeróbia. A degradação dos resíduos nos reatores aeróbios ocorre mais rapidamente pois os microrganismos aeróbios são mais eficientes na produção de energia através da respiração celular, esta atividade é promovida através da injeção de oxigénio na massa de resíduos e da recirculação do lixiviado com o objetivo de manter as condições ideais de humidade para os microrganismos aeróbios. Nos reatores anaeróbicos, os resíduos são degradados em ácidos orgânicos e posteriormente em metano e dióxido de carbono pelas bactérias metanogénicas. A etapa anaeróbica ocorre naturalmente num reator não sendo por isso muito exigente em termos das condições físicas e químicas que se devem verificar na massa de resíduos, no entanto deve-se manter a humidade entre 35 a 45%. Já os reatores facultativos funcionam de modo aeróbico e tem a particularidade de conter bactérias que transformam o amoníaco presente nos lixiviados em nitrato, ou seja, efetuam a nitrificação e bactérias facultativas que transformam o nitrato em azoto, realizando assim um processo de desnitrificação do qual se obtém um gás não prejudicial para o ambiente (U.S. EPA, 2012).

### 1. O Aterro Sanitário de Évora

O Aterro Sanitário de Évora é um reator anaeróbico que entrou em funcionamento em 2002, sendo composto por 4 células (A,B,C,D). Todas as células possuem resíduos depositados, sendo que o grau de enchimento de cada uma não é uniforme, no entanto, a cota máxima final da plataforma deverá rondar os 248m - 250m. Neste momento encontra-se em fase final de construção uma unidade de Tratamento Mecânico e Biológico que tem como principal objetivo a diminuição da deposição de resíduos biológicos em aterro, o que irá aumentar o tempo de vida deste. Os resíduos resultantes desta nova unidade serão depositados numa nova célula (E), pois possivelmente no final de 2013 será atingido a cota máxima da plataforma. A exploração do aterro é feita de modo convencional, ou seja, através da deposição dos resíduos em camadas com 2m de altura, sendo estas depois compactadas e cobertas com terra. Atualmente as células A, B e C já se encontram seladas pois os taludes laterais estão dentro da cota máxima.

Para que haja uma perfeita drenagem do biogás, foram instalados 30 poços que acompanham a subida do aterro, estes são constituídos por um gabião na base a partir do qual se desenvolve uma tubagem de captação em PEAD ranhurado com um diâmetro de 160 mm, por ligação de sucessivos troços. Estes tubos são rodeados por brita envolta em geotêxtil, no entanto nas zonas de exploração já finalizadas, os poços são selados com cabeça em PEAD e ligados ao coletor periférico que conduz o biogás ao queimador. O aterro sanitário contém ainda uma rede de drenagem das águas lixivantes, sendo o lixiviado tratado por uma unidade de osmose inversa. Presentemente está a ser preparado o sistema de captação, drenagem e tratamento de biogás, para que este possa ser queimado ou para futuro aproveitamento energético. Este possui ainda instalações de apoio (báscula de pesagem dos resíduos, refeitório, vestiários e balneários, oficina, armazém e unidade de lavagem de contentores e viaturas, sendo o aterro vedado (AMBIRUMO, 2012).

### 2. Modelos de produção de biogás

A decomposição dos resíduos presentes em Aterros Sanitários leva à emissão de gases, nomeadamente o Biogás composto essencialmente por metano e dióxido de carbono, dois gases com um impacto considerável no efeito de estufa, e também embora em menor concentração por amoníaco, monóxido de carbono, hidrogénio, ácido sulfídrico, nitrogénio e oxigénio. O Biogás produzido pelos aterros contém cerca de 90% de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>, o que implica que os aterros sejam sujeitos a uma forte monitorização (Demirbas, 2006).

A decomposição dos resíduos e consequentemente a produção de gases de aterro ocorre, de acordo com Farquhar e Rovers (1973), em cinco etapas: i) a Fase Inicial, na qual ocorre essencialmente uma degradação aeróbia dos resíduos; ii) a Fase de Transição, onde se começam a verificar condições anaeróbicas; iii) a Fase Ácida, na qual os constituintes com maior massa molar sofrem uma transformação enzimática por hidrólise destes, passando de seguida por um processo de acidogénese microbiológica dos constituintes resultantes, nesta fase, o dióxido de carbono é o principal gás produzido; iv) a Fase Metanogénica, onde os produtos resultantes da fase anterior são convertidos em metano e dióxido de carbono devido à ocorrência de fermentações metanogénicas; e por fim v) a Fase de Maturação, em que a produção de Biogás diminui ao longo do tempo por decrescimento dos constituintes já degradados nesse momento.

O volume de Biogás produzido depende normalmente: i) da idade e do tipo de resíduos, existindo resíduos de fácil degradação, que se decompõem num espaço de dias a cinco anos e resíduos que demoram entre cinco e cinquenta anos para serem degradados; ii) da forma como os resíduos orgânicos se encontram distribuídos pelo aterro; iii) da quantidade de nutrientes existentes; iv) da humidade contida na massa de resíduos; v) da variação térmica; e vi) da profundidade das células e do grau de compactação dos resíduos (O'Leary e Tchobanoglous, 2002).

A possibilidade de utilização do Biogás como fonte energética despertou o interesse da comunidade científica que rapidamente desenvolveu inúmeros modelos, que a partir do volume de Biogás produzido anualmente, conseguem prever a energia que se pode obter a partir da sua rentabilização. Os modelos desenvolvidos são normalmente classificados como de: i) ordem zero; ii) primeira ordem; ou iii) multi-fase, em função de como é quantificado o Biogás, ou seja, se esta quantificação é referente a um parâmetro genérico fixo ou se esta é baseada num parâmetro genérico que se altera, consoante os processos físico-químicos existentes no processo de degradação de resíduos.

Nos modelos de ordem zero considera-se que a produção é constante ao longo do tempo, sendo que esta não difere consoante a idade do aterro nem com o fato de serem depositados diferentes tipos de resíduos, o que torna este modelo um pouco incompleto (Kamalan *et al.*, 2011).

Os modelos de primeira ordem tomam em conta o fato de haver emissão de biogás assim que um resíduo é depositado, por esta razão no momento em que se inicia a decomposição existe uma produção exponencial de biogás, a qual decresce ao longo tempo em que ocorre a decomposição total dos resíduos (Kamalan *et al.*, 2011). Como exemplo de modelo de cinética de primeira ordem pode realçar-se o modelo desenvolvido pela U.S. EPA (2008). Neste modelo os valores para a taxa de geração de metano (k) e para o potencial de metano (L<sub>0</sub>) estão pré-estabelecidos a partir de valores obtidos em relatórios da U.S. EPA sobre aterros, os quais devem ser utilizados quando não há valores reais referentes à geração de metano. Os valores de k variam entre 0.2 e 0.4 consoante os valores de precipitação média

anual de cada local, enquanto que o valor de  $L_0$  é o valor fixo de  $100 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{t}$  resíduo porque foi este o valor onde se verificou correspondência entre as emissões medidas e as emissões previstas (U.S. EPA, 2008).

Nos modelos multi-fase são utilizadas diferentes equações para cada fração de resíduo porque a taxa de decomposição não é constante, pois esta difere de resíduo para resíduo. Um modelo multi-fase de primeira ordem é o de Afvalzorg, no qual se distinguem oito categorias de resíduos e três frações, esta divisão tem em conta a degradação lenta, moderada e rápida dos resíduos (Kamalan *et al.*, 2011)

### 3. Estimativa da produção de Biogás

Foi estimada a quantidade de biogás gerada anualmente no Aterro Sanitário de Évora e a partir dos valores de produção, foi também possível estimar a quantidade de energia térmica e elétrica que se poderá obter a partir da valorização do metano gerado por este aterro. A estimativa da produção de metano foi feita a partir de um modelo de cinética de primeira ordem (Eq. 1) (U.S. EPA,2008):

$$Q_{\text{CH}_4} = L_0 \times R \times (e^{-kc} - e^{-kt}) \quad (1)$$

onde:

$Q_{\text{CH}_4}$  – Taxa de geração de produção de  $\text{CH}_4$  por ano –  $4.563.835 \text{ (m}^3 \text{ ano}^{-1}\text{)}$ ;

$L_0$  - Potencial de Geração de Metano –  $100 \text{ (m}^3\text{CH}_4/\text{t resíduo)}$ ;

$R$  – Média anual de entrada de lixo -  $76906 \text{ (toneladas/ano)}$ ;

$k$  – Taxa de geração de metano  $-0.09 \text{ (ano}^{-1}\text{)}$ ;

$c$  – Anos desde o encerramento do aterro –  $0 \text{ (anos)}$ ;

$t$  – Anos desde o início da atividade – desde 2002 até à atualidade (anos).

Para um valor anual de 4.563.835 toneladas de resíduos poderiam ser obtidos cerca de  $6355 \text{ MWh ano}^{-1}$  de energia térmica e  $2224 \text{ MWh ano}^{-1}$ . A estimativa da produtividade de metano (ver gráfico 1) indica que o aterro atingirá o seu pico de produção em 2016 e a partir daí começará a diminuir pois essa é a data em que este será selado.

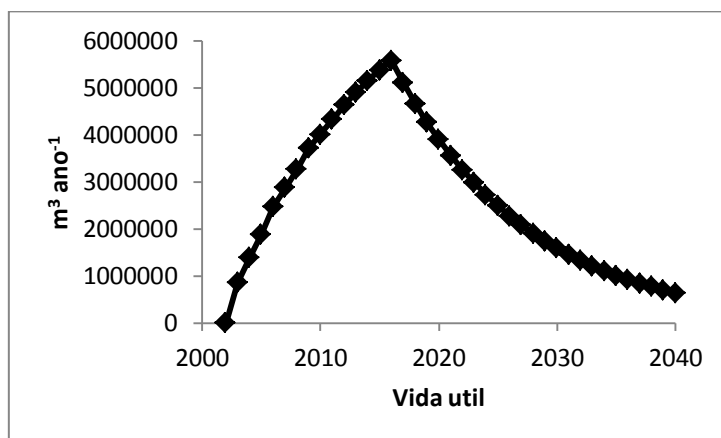


Gráfico 1. Caudal estimado da produção de  $\text{CH}_4$

### 4. Fatores que condicionam a produtividade espacial e temporal de CH<sub>4</sub>

A concentração de metano, como já fora referido anteriormente, não é constante no espaço e no tempo.

Do ponto de vista espacial o tipo de resíduos depositados, o grau de compactação, bem como o teor de humidade do mesmo pela dinâmica diferenciada dos lixiviados, não é uniforme, o que faz com que uns poços possam ser mais produtivos que outros (Fig. 1).

Do ponto de vista temporal a dinâmica da temperatura média do ar e a precipitação pareceram-nos ser dois dos mais importantes fatores a condicionarem a concentração de metano.



*Fig.1 - Variabilidade espacial da concentração de CH<sub>4</sub> – Outubro de 2010*

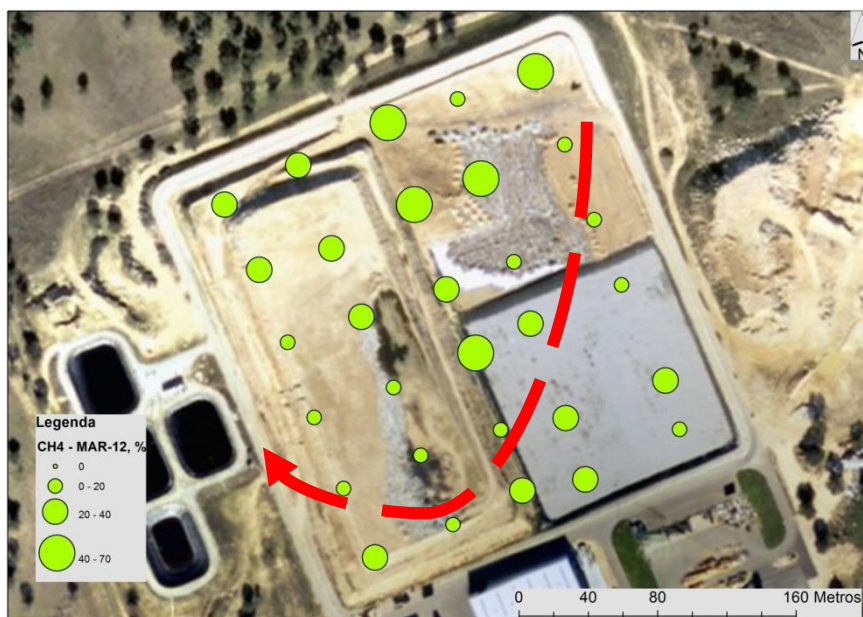
No estudo efetuado verificamos que nos poços mais periféricos do aterro, sobretudo nos das pontas (Fig. 2), a variação da concentração de metano era bem mais sensível à temperatura do que os poços mais localizados no centro do aterro, muito provavelmente por o aterro possuir no seu interior uma inercia térmica superior. O poço 15 (Gráfico 2) é o exemplo de um poço periférico, no qual, a variação da concentração de metano está intimamente relacionada com a variação da temperatura pois, à medida que esta aumenta a produção de metano também aumenta.



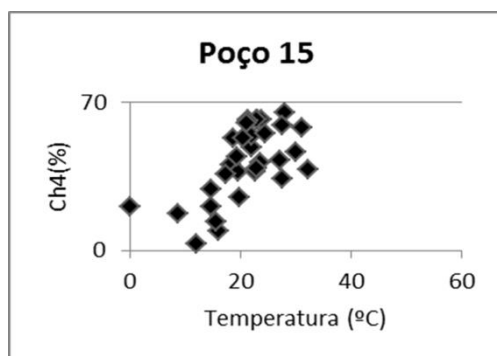
*Fig. 2 - Variabilidade espacial da produção de CH<sub>4</sub> – Outubro de 2011*

Dobson (1964) e Ramaswamy (1970) (citados em Farquhar e Rovers, 1973) demonstraram que a produção máxima de metano ocorre entre os 30-35°C, suportando desta forma o comportamento dos poços mais periféricos. Por sua vez, o poço 6 (Gráfico 3), é um poço que se encontra no meio do aterro, apresentando desta forma uma quase insensibilidade às variações térmicas, no entanto, existem pequenas exceções de produtividade de metano que parecem estar associadas à precipitação persistente e há dinâmica do lixiviado dentro do aterro (Fig. 3). Dado que este poço sempre apresentou uma produção estável, essa diminuição muito possivelmente dever-se-á a uma bolsa de lixiviado pois, durante Fevereiro a Maio de 2012 verificaram-se valores de precipitação consideráveis. A presença de lixiviado diminui a concentração de metano, pois a sua presença provoca o aumento da Carência Química de Oxigênio (CQO) a Carência Bioquímica de Oxigênio (CBO) e os Sólidos Dissolvidos Voláteis (SDV) e por contrário diminui a alcalinidade e pH, o que compromete a geração de metano pela inibição das bactérias metanogénicas. A infiltração de água provoca entrada de ar e diminuição das temperaturas, dois fatores que têm um papel primordial na geração de metano (Farquhar e Rovers, 1973).

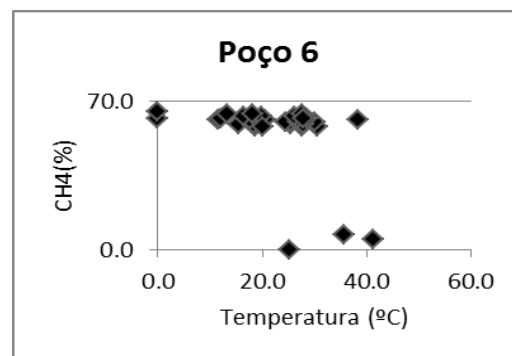




*Fig.3 Variabilidade espacial da produção de CH<sub>4</sub> – Março de 2012*



*Gráfico 2. Variação do metano com a temperatura média do ar- Poço 15*



*Gráfico 3. Variação do metano com a temperatura média do ar – Poço 6*

### CONCLUSÃO

Os aterros sanitários funcionam como reatores biológicos produzindo biogás, tal produção é normalmente variável no espaço e no tempo e nem sempre se ajusta aos modelos que estimam a produtividade de biogás, nomeadamente pela via da concentração de metano. Esta falta de ajustamento espacial e temporal deriva fundamentalmente de fatores como: i) o tipo de resíduos; ii) a forma como é colocada em aterro; iii) as variações térmicas; iv) a precipitação persistente; e a v) a dinâmica de lixiviado dentro do aterro. A variabilidade temporal da produtividade de metano coloca aos sistemas de aproveitamento deste, seja pela via térmica, seja pela via elétrica, problemas de estabilidade temporal da energia produzida, desta forma, os sistemas têm que estar preparados com sistemas alternativos por forma a compensar tais flutuações temporais do aterro. Este problema chama à atenção para a necessidade de cada aterro ter que desenvolver modelos de previsão da produção temporal de metano, por forma a

anteciparem temporalmente tais variações de produtividade e conseqüentemente variações nos sistemas de aproveitamento energético sejam eles térmicos ou elétricos.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMBIRUMO (2012) Central de valorização energética do biogás do aterro sanitário da GESAMB. Memória descritiva e justificativa.

Demirbas, A. (2006): Biogas Production from the Organic Fraction of Municipal Solid Waste, Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 28:12, 1127-1134

Diretiva Comunitária 1999/31/EC de 26 de Abril de 1999. Disponível em [http://europa.eu/legislation\\_summaries/environment/waste\\_management/121208\\_pt.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/environment/waste_management/121208_pt.htm)

Farquhar, G.; Rovers, F.A. (1973) Gas production during refuse decomposition. Water, Air, and Soil Pollution, 2 (4): 483-495

Hughes, K.L.;Christy, A.D.; Heimlich, J.E. (s.d.) Landfill Types and Liner Systems. Extension Fact Shett. The Ohio State University. Disponível em <http://ohioline.osu.edu/cd-fact/pdf/0138.pdf>

Kamalan, H., Sabour, M., Shariatmadari, N., (2011). A review on available gas models. Journal of Environmental Science and Technology 4: 79 – 92

O’Leary, P. R.; Tchobanoglous, G. Landfilling. In: Handbook of solid waste management. USA. McGraw-Hill; 2002

Scott, J.; Beydoun, D.; Amal, R.; Low, G; Cattle, J. (2005) Landfill Management, Leachate Generation and Leach Testing of Solid Wastes in Australia and Overseas., Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 35(3): 239-332.

USEPA, (2008) Background information document for updating AP-42 section 2.4 for estimating emissions from municipal solid waste landfills. United States Environmental Protection Agency.

U.S. EPA (2012) Bioreactors. Disponível em

<http://www.epa.gov/osw/nonhaz/municipal/landfill/bioreactors.htm>

# INVENTÁRIO DE BIOMASSA FLORESTAL POR IMAGENS DE SATÉLITE DE ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL

Adélia M. O. de Sousa<sup>1a</sup>; José R. Marques da Silva<sup>1b</sup>; Ana Cristina Gonçalves<sup>1c</sup> e Paulo A. Mesquita<sup>d</sup>

<sup>1</sup>Universidade de Évora, Departamento de Engenharia Rural, Escola de Ciências e Tecnologia, Apartado 94 - 7002-554 - Évora, Portugal, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas, Apartado 94, 7002-774 Évora, Portugal, asousa@uevora.pt<sup>a</sup>, jmsilva@uevora.pt<sup>b</sup>, acag@uevora.pt<sup>c</sup>, paulomesquita00@gmail.com<sup>d</sup>

## RESUMO

A biomassa florestal, pela via das aplicações em bioenergia, no desenvolvimento de bioprodutos e nas questões associadas à redução das emissões dos gases de estufa, tem tido uma cada vez maior importância na economia global. A biomassa florestal é pois uma reserva estratégica global que convém inventariar e monitorizar. As técnicas atuais de inventariação e monitorização da biomassa florestal são normalmente morosas e caras, urge pois, desenvolver técnicas fiáveis e a custos relativamente reduzidos que permitam realizar esta inventariação e monitorização da biomassa florestal. Face à problemática apresentada este trabalho utilizou imagens de satélite de alta resolução para inventariar e monitorizar a biomassa acima do solo a partir da projecção horizontal de copa das árvores. A metodologia usada permite desenvolver técnicas de inventário florestal para as espécies *Quercus rotundifolia* e *Quercus suber* considerando a Projecção Horizontal de Copa Cumulativa medida com base em imagens de satellite de alta resolução especial, com um erro previsão inferior a 5%.

**Palavras-chave:** Quickbird, segmentação multi-resolução, classificação orientada a objecto, biomassa.

## 1. INTRODUÇÃO

O sector florestal e a sua gestão são de elevada importância à escala mundial, pela relevância das funções económicas, ambientais, sociais e culturais a ela associadas.

A floresta em Portugal ocupa 38% do território nacional, apresentando diferentes taxas de arborização nas várias regiões do País. Portugal à escala Europeia é um país especializado no sector florestal, com uma contribuição elevada para o Produto Interno Bruto.

A avaliação da evolução da área florestal, em Portugal, é efetuada através do Inventário Florestal Nacional (IFN), elaborado a nível nacional, com periodicidade de 10 anos.

A procura de meios alternativos de energia surge como prioridade para alguns países, sendo a biomassa uma fonte de bioenergia muito importante. A avaliação deste potencial energético é de fundamental importância, tornando-se assim pertinente desenvolver métodos mais expeditos na sua quantificação e com uma boa relação custo-benefício.

No estudo aqui apresentado vem de encontro a esta temática, onde o objectivo é avaliar o potencial de imagens de satélite de alta resolução espacial na identificação de espécies florestais e estimar a sua biomassa para as espécies dominantes na região Sul de Portugal (*Quercus suber* e *Quercus rotundifolia*).

### 2. METODOLOGIA DE TRABALHO

#### 2.1 Área de estudo

A área de estudo localiza-se na região Sul de Portugal, designada por Alto Alentejo, no distrito de Évora, com uma dimensão aproximada de 133 km<sup>2</sup>.

Na região Sul de Portugal, predomina o montado que é constituído por povoamentos abertos de *Quercus suber* e *Quercus rotundifolia* e em menor área surge o *Pinus pinaster*, *Pinus pinea* e *Eucalyptus globulus*, quer em formações puras quer em mistas.

#### 2.2 Dados

A imagem utilizada para o estudo é do satélite Quickbird da *Digital Globe*. A imagem foi adquirida no modo “*Pan-Sharpned*” correspondendo à fusão da banda pancromática com as 4 bandas espectrais, b1-azul (0.45-0.52  $\mu$ m), b2-verde (0.52-0.60  $\mu$ m), b3-vermelho (V) (0.63-0.69  $\mu$ m) e b4- infravermelho próximo (IVP) (0.76-0.90  $\mu$ m), resultando as 4 bandas com uma resolução espacial de 0.70 metros e resolução radiométrica de 16 bits. A data de registo da imagem é de Agosto de 2006.

#### 2.3 MÉTODOS

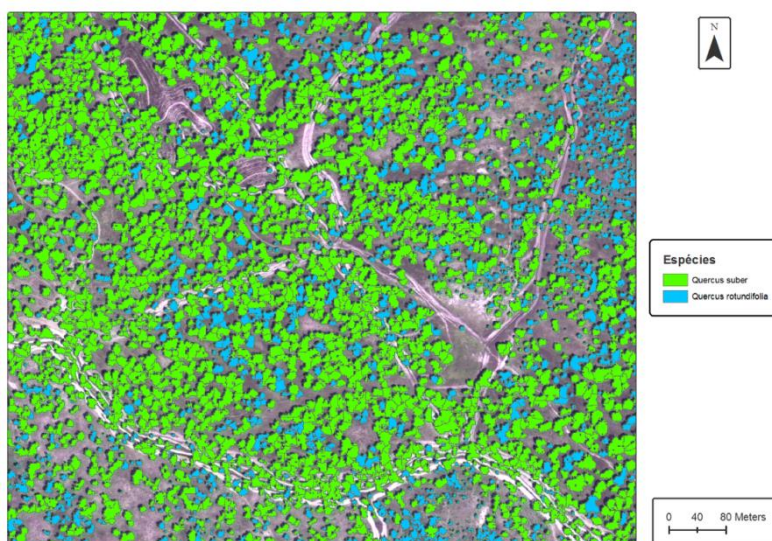
##### 2.3.1 Segmentação e classificação

Numa primeira fase procedeu-se à deteção e identificação das espécies florestais presentes na área em estudo através do método de segmentação multi-resolução e classificação orientada a objeto recorrendo ao programa de processamento de imagem, ENVI (versão 4.8) e *Definiens Developer* (versão 8.0.1).

No processo de segmentação multi-resolução foi utilizado o índice de vegetação *Normalized Difference Vegetation Index*,  $NDVI = (IVP - V) / (IVP + V)$  (Tucker, 1979), que é um bom identificador da vegetação arbórea. Para a obtenção da máscara de vegetação, este índice é utilizado como banda adicional, com o objetivo de diminuir os problemas na discriminação da vegetação relativamente ao solo e arbustos de pequenas dimensões, resultantes da resolução espectral limitada do satélite Quickbird (KEY *et al.*, 2001).

Em seguida realizou-se o processo de classificação digital da imagem, onde foi utilizado o algoritmo do vizinho mais próximo. Esta metodologia encontra-se descrita com mais pormenor em Sousa *et al.* (2010).

A Figura 1 ilustra o resultado da classificação de uma pequena área da imagem, nas duas espécies florestais dominantes na área, *Quercus suber* e *Quercus rotundifolia*.



**Figura 1.** Ilustração do processo de classificação orientada a objeto para as duas espécies florestais.

Posteriormente foi aplicada à área uma malha quadrada, 45.5m x 45.5m (2070.25 m<sup>2</sup>). Com base na classificação da imagem de satélite procedeu-se à avaliação do grau de coberto, quantificando a área horizontal da projecção da copa para uma grelha, agrupando-se em dois estratos em função do grau de coberto: i) 10% a 30%, ii) 30-50%. Foi usada uma amostragem estratificada casual para a selecção das parcelas de inventário. A base de dados é composta por 26 parcelas puras e mistas, em que se mediram as variáveis dendrométricas, nomeadamente diâmetro à altura do peito, altura total e o raio da copa em 4 raios (Norte, Sul, Este e Oeste) (Avery e Burkhart, 1994) e ainda foi registada a localização de cada árvore com GPS. Considerou-se o povoamento principal definido por todas as árvores com diâmetro à altura do peito superior a 20 cm.

A biomassa foi estimada com base nas funções alométricas de Paulo e Tomé (2006), indicadas a seguir:

$$ww = 0.164185 \times d^{2.011002} \quad (1)$$

$$wb = 0.600169 \times d^{1.355957} \quad (2)$$

$$wc = 1.909152 \times d^{1.200354} \quad (3)$$

$$\text{Biomassa} = ww + wb + wc \quad (4)$$

onde ww é a biomassa do lenho, wb da casca e wc da copa.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

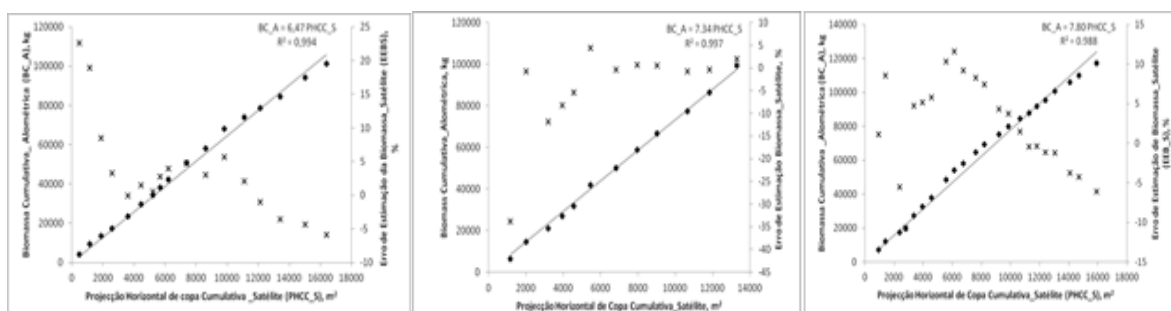
#### 3.1 Relação entre a área de projecção horizontal de copa e a sua respectiva biomassa para as espécies florestais *Quercus rotundifolia* e *Quercus suber*

Numa primeira fase foi estabelecida uma relação entre a projecção horizontal de copa (PHC) e a biomassa calculada com base nas funções alométricas (B\_A) para povoamentos puros e mistos. Quando temos árvores isoladas torna-se fácil relacionar a PHC com a respectiva B\_A, mas na maior parte das situações as copas estão em contacto entre si, tornando assim difícil obter a PHC isoladamente para cada árvore com base nas imagens de

satélite. Tendo em conta esta situação, faz mais sentido calcular a biomassa considerando árvores agregadas. Para tal foram considerados os parâmetros cumulativos das árvores e das parcelas em termos de área de PHC cumulativa obtida por satélite (PHCC\_S) e biomassa cumulativa obtida com as funções alométricas (BC\_A), obteve-se assim a relação indicada na Figura 2 para a) *Quercus rotundifolia* e para b) *Quercus suber*.

Na Figura 2 verificamos que a relação entre as duas variáveis para as respectivas espécies, têm um padrão linear. Se considerarmos uma relação linear entre as duas variáveis, a passar na origem, obtemos um declive da recta de  $6.47 \text{ kg m}^{-2}$  e um  $R^2$  de 0.99, para a *Quercus rotundifolia* (Figura 2 a) e um declive da reta de  $7.34 \text{ kg m}^{-2}$  e um  $R^2$  de 0.99, para a *Quercus suber* (Figura 2 b). Verificamos que para ambas as espécies florestais a partir dos  $4000 \text{ m}^2$  de PHCC\_S o erro de estimação da biomassa por satélite (EEB\_S) centra-se entre os -5% e os +5%, o que nos parece bastante aceitável considerando o facto de que muitos inventários florestais chegam a admitir erros até 25%, como erros aceitáveis.

Na Figura 2 c) pode-se observar a relação entre os valores de área cumulativa por parcela, a PHCC\_S e BC\_A. Se da mesma forma, como fizemos para as parcelas puras, considerarmos uma relação linear entre estas duas variáveis, a passar na origem, obtemos um declive da recta de  $7.80 \text{ kg m}^{-2}$  e um  $R^2$  de 0.98. No entanto e ao contrário dos valores encontrados anteriormente, neste caso, só a partir dos  $8000 \text{ m}^2$  de PHCC\_S o EEB\_S centra-se entre os -5% e os +5%.



a)

b)

c)

**Figura 2.** Relação entre a BC\_A e a PHCC\_S, a) povoamentos puros de *Quercus rotundifolia* e b) povoamentos puros de *Quercus suber* e c) povoamentos mistos de ambas as espécies.

No caso dos povoamentos mistos, face à maior variabilidade dos dados, muitas vezes com proporções distintas, parece ser necessário uma maior área PHCC\_S para que os erros se estabilizem à volta dos 5%, no entanto os valores de biomassa por unidade de área mantém alguma semelhança.

Considerando o anteriormente exposto poderemos dizer que é possível estimar a biomassa das espécies florestais *Quercus rotundifolia* e *Quercus suber* a partir da projecção horizontal de copa cumulativa obtida com base nas imagens de satélite. A razão de ser do valor cumulativo prende-se com o facto de existir uma variabilidade elevada no fenómeno em estudo quando visto do ponto de vista unitário, no entanto, tal variabilidade, é compensada positiva e negativamente quando é calculada de uma forma cumulativa. Esta metodologia de estimação da biomassa atinge erros inferiores a 5% se considerarmos os valores cumulativos de projecção horizontal de copa superiores a  $4000 \text{ m}^2$ , quer medidos em campo, quer medidos por intermédio de imagem de satélite de alta resolução. Através das equações 5 e 6 e da Tabela 1, poderemos então estimar a BC\_A, podendo nós concluir que para valores de PHCC superiores a  $4000 \text{ m}^2$  e medidos no campo poderemos ter como referência uma relação proporcional entre biomassa e projecção horizontal de copa cumulativa de aproximadamente

## II Workshop (Bio)Energia

10 kg m<sup>-2</sup>. Para a projecção horizontal de copa cumulativa medida com as imagens de satélite de alta resolução (PHCC\_S) e considerando a metodologia apresentada anteriormente a relação de proporcionalidade ronda os 6.5 kg m<sup>-2</sup>. Considerando estas premissas é pois possível inventariar a biomassa florestal da espécie *Quercus rotundifolia* e *Quercus suber*, a partir de imagens de satélite de alta resolução, com erros inferiores a 5%.

$$BC\_A = a * PHCC \quad (5)$$

$$BC\_A = b * PHCC\_S \quad (6)$$

**Tabela 1.** Parâmetros de estimação de biomassa para *Quercus rotundifolia* e *Quercus suber* por parcela.

Povoamento	Equação	a, b (kg m <sup>-2</sup> )	Válido para
Puro <i>Quercus rotundifolia</i>	5	9.87	PHCC > 4000 m <sup>2</sup>
	6	6.47	PHCC_S > 4000 m <sup>2</sup>
Puro <i>Quercus suber</i>	5	13.94	PHCC > 4000 m <sup>2</sup>
	6	7.34	PHCCP_S > 4000 m <sup>2</sup>
Misto <i>Quercus rotundifolia</i> / <i>Quercus suber</i>	5	13.74	PHCC > 5000 m <sup>2</sup>
	6	7.80	PHCCP_S > 8000 m <sup>2</sup>

#### 4. CONCLUSÕES

Neste estudo desenvolveu-se uma metodologia para a estimação da biomassa com base em imagens de satélite de alta resolução espacial com resultados bastante satisfatórios, com erros de estimação inferiores a 5%. Para parcelas puras de *Quercus rotundifolia* e *Quercus suber* pode-se estimar o valor da biomassa desde que a projecção horizontal de copa cumulativa obtida com base em imagens de satélite tenha valores superiores a 4000 m<sup>2</sup>. Para povoamentos mistos de ambas as espécies, a estimação da biomassa, com um erro de 5% é conseguido para valores projecção horizontal de copa cumulativa obtida com base em imagens de satélite superiores a 8000 m<sup>2</sup>.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Programa Operativo de Cooperação Transfronteiriço Espanha - Portugal (POCTEP), que financiou o projecto Altercexa - Medidas de Adaptación y Mitigación del Cambio Climático a Través del Impulso de las Energías Alternativas en Centro, Alentejo y Extremadura, no âmbito do qual este estudo foi desenvolvido. (Ref<sup>a</sup> 0317\_Altercexa\_4\_E).

### 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Avery, T.E. e Burkhart, H.E. Measurements, 4ª Edição. Macgraw-Hill Inc., New York. 1994. 408 p.

Key, T.; Warner, T.A.; McGraw, J.B. e Fajvan, M.A. A comparison of multispectral and multitemporal information in high spatial resolution imagery for classification of individual tree species in a temperate hardwood forest. Remote Sensing of Environment, v. 75, n. 1, p. 100-112, 2001.

Sousa, A.M.O.; Mesquita, P.; Gonçalves, A.C. e Marques da Silva, J.R. Segmentação e classificação de tipologias florestais a partir de imagens Quickbird. Ambiência, n. 6 (Ed. Especial), p. 57 – 66, 2010.

Tucker. C.J. Red and photographic infra-red linear combinations for monitoring vegetation. Remote Sensing of Environment, v. 8, n. 2, p. 127-150, 1979.



# TRANSFORMING A KRAFT PULP MILL INTO A BIOREFINERY. APPLICATION TO THE PRODUCTION OF BIOETHANOL AND SURFACE ACTIVE AGENTS

Christine CHIRAT <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Grenoble INP- PAGORA, 461 rue de la Papeterie – BP 65 38402 Saint-Martin d'Hères Cedex, France. Tel : 33 4 76 82 69 07. Fax : 33 4 76 82 69 33. Mail : [Christine.Chirat@pagora.grenoble-inp.fr](mailto:Christine.Chirat@pagora.grenoble-inp.fr)

**ABSTRACT:** Wood, composed of cellulose, lignin and hemicelluloses, is the main raw material used to produce paper cellulosic fibers used for the production of paper and board. Worldwide, the production of cellulosic fibers is about 150 million tons, using about 310 millions tons of wood. The main process used to produce cellulosic fibers is an alkaline process called the Kraft process. These mills look very much like biorefineries : the cellulose is isolated almost pure in the kraft process, and then valorised principally as paper, the hemicelluloses and the lignin are degraded and solubilised during the process, and form a very complex mixture, called “black liquor” that would be difficult to be valorised chemically. They are thus burnt in a recovery boiler, which covers very largely the energetic needs of the mill (in many cases, these mills are net electricity producers). The aim of this work is to define an extraction process of the hemicelluloses from softwood, prior to its transformation into cellulosic paper pulp by the process described above. The hemicellulose fractions (mainly composed of sugar in C6 for softwood species, and of sugars in C5 for hardwood species) that are extracted are relatively pure (contrary to the case where they are solubilised in the black liquor), and the cellulose fraction continues to be obtained as fibers. The lignin is thus left alone in the effluent of the kraft process and continues to be valorised thermically for the energetic needs of the mill. The hemicelluloses extracted can then be valorised either under monomeric or oligomeric form. In the present study, the hexoses extracted from softwood species were valorised into ethanol, and the pentoses extracted from Eucalyptus wood chips were valorised into surface active agents.

## 1. INTRODUCTION

The biorefinery concept is quite old in the pulp and paper industry, as kraft and sulfite mills have always been working as biorefineries (figure 1), producing material (fibres), chemicals (e.g. tall oil and turpentine), the energy needed for the process, and even ethanol. In modern kraft mills extra electricity is also produced and sold to the market. Large scale fermentation of sugars of the sulfite waste liquor into ethanol started in 1909 in Skutskär, Sweden [1]. Utilization of wood and wood components for chemicals and energy by other ways than sulfite and kraft processes has been an area of interest for a long time also. Fengel and Wegener summarised these ways in 1984 [2].

The need for sustainable energy sources, the strong rise and fluctuation of oil price and political incentives to work on bioenergies, led to a renewed interest in biorefineries these last years [3,4], and to the emergence of new conferences devoted to that topic (e.g. Nordic Wood Biorefinery Conference, since 2008). Some put their efforts on wood and black liquor gasification [2,5, 6], other teams work on production of ethanol from entire wood or plant, or focus on simultaneous production of fibers and sugars in a single mill and work on processes that would hydrolyse hemicelluloses from wood chips prior to kraft cooking (Figure 2) [2, 7-

## II Workshop (Bio)Energia

10,12,13]. Hexoses can be fermented quite easily to ethanol, whereas work on viable fermentation of pentoses into ethanol is still on going [11]. Other valorisations than ethanol could be envisaged for pentoses and also for hexoses if ethanol production is not looked for, such as the production of surface-active agents. Our group have different projects on simultaneous production of sugars and cellulosic fibres, for both hardwood and softwood species [13,14]. The aim is to optimise the hydrolysis of wood chips prior to kraft cooking with regards to cooking ability, bleaching ability, strength properties and ethanol production in the case of softwoods, and specialty chemicals in the case of hardwoods.

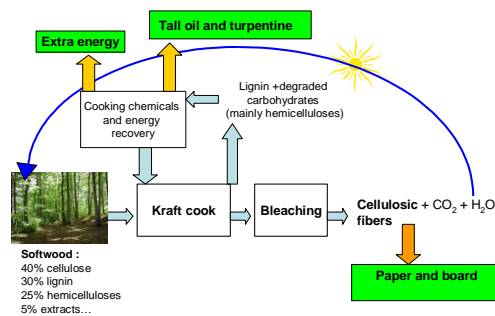


Figure 1. Today's kraft pulp mill

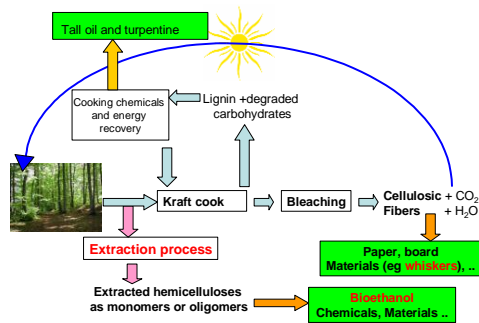


Figure 2. Tomorrow's kraft biorefinery mill

## 2. EXPERIMENTAL

### Wood samples

**Softwood case :** wood sample, representing the current raw material used in one of the French kraft mills was a mixture of several softwood species (35 % Sylvestre Pine, 24 % Black Pine, 18 % Alep Pine, 16 % Spruce, 7 % Douglas fir). The average hemicellulose content was 28.0%.

**Hardwood case :** Eucalyptus globulus kindly provided by RAIZ.

**Prehydrolysis :** the pre-hydrolysis step was performed in autoclaves placed in an oil bath to adjust the desired temperature. The system is rotating. Autohydrolysis consisted in an acidic hydrolysis without addition of any external acid. Acetic acid released from the wood when it is heated in water served as the acid source. In the case of the mixed softwood species, both autohydrolysis and acid hydrolysis were performed. The operating conditions were : liquor to wood ratio of 4, time to temperature of 50 minutes, 160°C, time at temperature varied between 0 and 120 minutes. In the case of acid hydrolysis, sulfuric acid (0,7, 1,4 and 3,5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> on wood) was added to favor the release of monomers from the hemicelluloses. The hydrolysis liquors were collected for further analysis and the wood chips were washed prior to the kraft cooking step.

**Sugar analysis :** sugar monomers analysis was performed by ionic chromatography. The hydrolysates were filtered (0.45 microns), neutralized with sodium hydroxide, diluted 500 times, and 10 mg l<sup>-1</sup> fucose was added as an internal standard. The method was 30 minutes analysis with 2 % sodium hydroxide (0.2 mol l<sup>-1</sup> eluent) and 98 % water, and then 15 minutes column wash with 100 % sodium hydroxide. The quantity of oligomers was determined after a secondary hydrolysis of the first hydrolysates (4 % H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 120°C, 1h) and a second analysis of the new hydrolysates. The conversion of monomers into new products during the secondary hydrolysis was taken into account by applying this secondary hydrolysis to synthetic sugar solutions with the same amount of monomers as in the corresponding hydrolysates.

**Fermentation :** the fermentation was carried out in 100 ml flasks. A 20 ml hydrolysate sample was introduced in the flask and then was neutralized to pH = 6 with a known volume of 1 mol l<sup>-1</sup> sodium hydroxide solution. 30 ml of a phosphate buffer (1.1 g l<sup>-1</sup> Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> and 8.3 g l<sup>-1</sup> KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>), 5 ml of a 5 g l<sup>-1</sup> ammonium sulphate solution, and 5 ml of a 1 g l<sup>-1</sup> magnesium sulphate solution were then added. The dried yeast (*S. cerevisiae*) was introduced and the solution was shaken. A test tube, which was filled with 1 cm height solid sodium hydroxide, was placed in every flask in order to neutralize and destroy the carbon dioxide which was emitted during the fermentation. The flasks were nitrogen flushed, sealed, and kept at 30°C for 24h on an agitator at 150 rpm. The fermentation was stopped by filtrating the fermentation medium on 0.45 microns filters to remove the yeasts, and the samples were stored at 4°C before analysis.

**Ethanol analysis :** ethanol analysis was performed by GC-FID using a Trace GC (*Thermo Finnigan*) and a *J&W Scientific* DB-MS 5 column (30 m x 0.32 mm, 1 micron phase width).

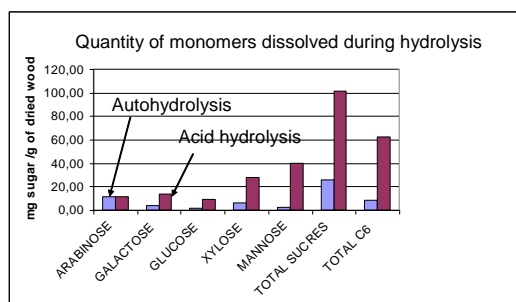
### Surface active agents preparation

Alkylpolyxyloside syntheses were carried out using syrups with 65% (in weight) of sugar content : in a 250 mL jacketed glass reactor equipped with a condenser with a Dean Stark apparatus and mechanical stirring; 2.8 excess of synthesis grade n-butanol and 2% of 96% sulphuric acid were heated to the reaction temperature under atmospheric pressure. The syrup was added dropwise under stirring. Water was removed from the reactor by distillation using the water/butanol azeotrope. The reaction medium (a yellow to black liquid) was removed from the reactor for analysis. The saccharide solution mentioned above was a filtrated (0.45  $\mu\text{m}$ ) prehydrolysate concentrated under reduced pressure to reach a 65% saccharide concentration. Products from the APX synthesis were analysed after silylation by GC.

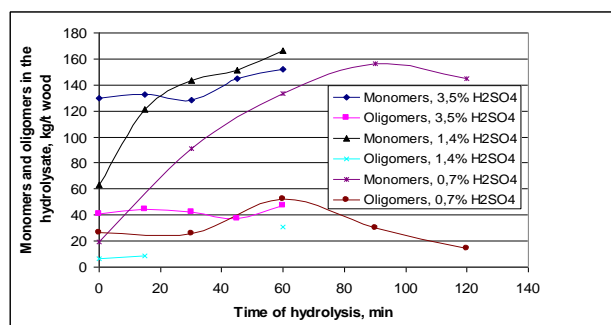
### 3. RESULTS AND DISCUSSION

#### 3.1. Prehydrolysis of softwood chips for direct ethanol production

Autohydrolysis of softwood chips mainly leads to the dissolution of oligomers (Figure 3). If the intention is to produce ethanol directly on the hydrolysate without any additional hydrolysis stage, the hydrolysis should be conducted under stronger conditions to yield a majority of monomers. Prehydrolysis of mixed softwood was thus carried out using 0,7 to 3,5% sulphuric acid on wood under various time and temperature conditions. Comparison was made with autohydrolysis. The results show that acid hydrolysis yielded much more monomers than autohydrolysis, except in the case of arabinose.



**Figure 3.** Quantity of monomers released from softwood during autohydrolysis versus acid hydrolysis (auto-hydrolysis : 160°C, 2 hours at T, acid hydrolysis : 160°C, 40 min at T, 0,7%  $\text{H}_2\text{SO}_4$ )



**Figure 4.** Formation of monomers and oligomers during pre-hydrolysis at 160°C with 0,7, 1,4 and 3,5%  $\text{H}_2\text{SO}_4$

The objective was to solubilise at least 50% of the hemicelluloses present in wood in the form of monomers : by varying the hydrolysis time and the amount of acid, about 160 kg monomers/ton of wood could be obtained (Figure 4). The hydrolysates were fermented into ethanol. Figure 5 shows that the best result led to the production of about 89 liters ethanol/ ton wood, that could be obtained for the highest acid charge. The lowest charges led to a maximum of about 77 liters/ton. These values are maximum potential values that could be obtained.

Typical French pulp mills have a capacity of 300 000tons of pulp per year, starting from 600 000 tons of wood per year. The ethanol production in such mills would then be 39 000 tons/year in parallel to the production of fibers.

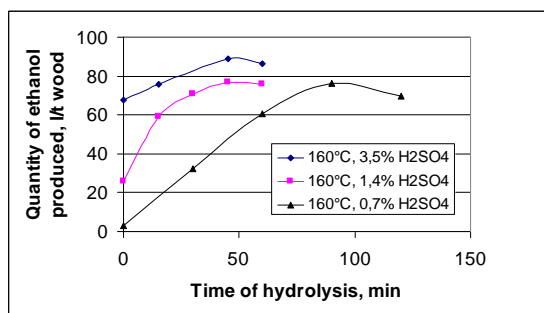


Figure 5. Potential production of hemicellulosic ethanol from wood hydrolyzate

### 3.2. Prehydrolysis of Eucalyptus chips for the production of surface active agents

The principle of the production alkyl polyglycosides with xylose and *n*-butanol is shown in Figure 6. The sugar is refluxed in the fatty alcohol along with an acid; the water which is produced can be removed via a Dean-Stark type apparatus which drives the equilibrium to the right. As the reaction is proceeding it is also possible that instead of the hydroxyl group of the alcohol condensing with the sugar, a hydroxyl group from another sugar in the mixture will condense instead. This leads to the formation of alkyl polyglycosides with multiple sugars in the head group. This is termed the degree of polymerisation (DP), with an alkyl polyglycoside with one sugar called DP 1 and two sugars DP 2 and so on. When analysing the resulting product, one of the important properties is the average DP of the alkyl polyglycoside formed.

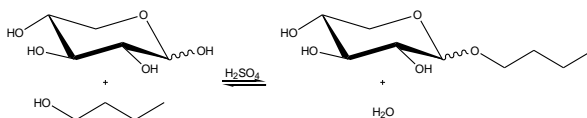


Figure 6. The production of alkyl polyxyloside showing the DP 1 product.

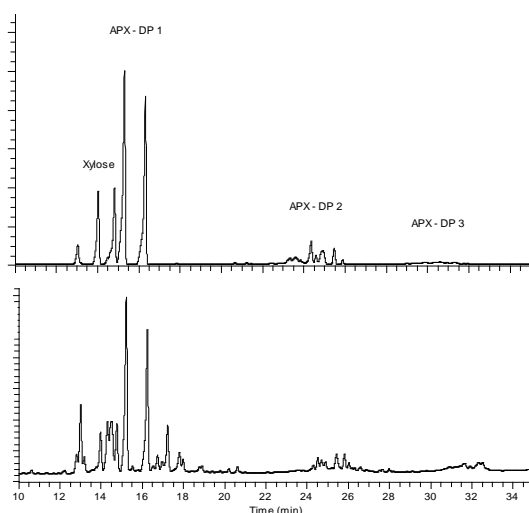
Autohydrolysis treatments were performed on the Eucalyptus globulus wood chips. An example of the composition of the resulting hydrolysate is given in Table 1.

## II Workshop (Bio)Energia

The pre-hydrolysate was first concentrated to syrups of 65% xylose content. When the reaction was carried out on this pre-hydrolysate the reaction failed to work with only very minor traces of alkyl polyxyloside (APX) observed. In order to determine what impurity if any in the pre-hydrolysate was causing the problem, a series of experiments were carried out on xylose syrups with added impurities. It was shown that dissolved lignin was the main reason for the failure to produce APX (14). One way to overcome this problem was to treat the hydrolysate with activated charcoal to remove most part of the lignin. When the resulting pre-hydrolysate was reacted the analysis showed that alkyl polyxyloside had been formed as well alkyl polyglycosides derived from the other sugars present (glucose, mannose, arabinose and galactose), although in much lower quantities (Figure 6).

**Table 1.** Autohydrolysate from *Eucalyptus globulus* wood chips (150°C, 1 hour, liquor to wood ratio 4)

	Concentration (g/L)	% as monomer	% as oligomer
Xylose	28,1	21	79
Glucose	4,7	14	86
Galactose	3,4	32	68
Arabinose	3,9	45	55
Methanol	0,46 g/L		
Acetic acid	5,95 g/L		
HMF	0,22 g/L		
Furfural	1,73 g/L		
Lignin	7,2		



**Figure 7.** Portion of some GC-FID spectra, the upper spectrum shows the APX formed from the 65% pure xylose syrup, while the lower spectrum is for the pre-hydrolysate that has been treated with activated charcoal.

### 4. CONCLUSIONS

The results presented in this study have shown that it is possible to remove significant quantities of hemicelluloses as oligomers and monomers from wood via autohydrolysis or acid hydrolysis processes.

In the case of softwood, the objective was to produce ethanol from the hydrolysed hemicelluloses in parallel to the production of cellulose. Applying a prehydrolysis with the addition of sulfuric acid would yield to a majority of C6 monomers, that could directly be fermented into ethanol. A potential production of 77 to 89 liters of hemicellulosic ethanol per ton of wood could be obtained, in parallel to the production of cellulose fibers.

In the case of hardwood (Eucalyptus), it was shown that hemicelluloses extracted with an autohydrolysis process could be used to produce surface active agents, provided that the main part of the lignin solubilized along with the hemicelluloses, has been removed. The next steps of this research are to study the possibilities of industrialization.

### 5. ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank Institut Carnot Energie du Futur for funding part of this study and The French Research Agency, ANR, is also thanked for the funding of the SUCROL project.

### 6. REFERENCES

- [1] Carlson, G., et al (1958), *Svensk Papperstidning*, 61, 815
- [2] Fengel, D., Wegener, G. (1984), "18. Utilization of wood and wood components for chemicals and energy", in *Wood. Chemistry, Ultrastructure, Reaction*, pp526-566, Ed Walter de Gruyter.
- [3] Ragauskas, A.J., Williams, C.K., Davidson, B.H., Britovsek, G., Cairney, J., Eckert, C.A., Fredericj, W.J., Hallett, J.P., Leak, D.J., Liotta, C.L., Mielenz, J.R., Murphy, R., Templer, R., Tschaplinski, T. (2006), "The Path forward for Biofuels and biomaterials", *Science*, vol 311, pp 484-489
- [4] Gellerstedt, G.(2008), "Biorefinery solutions – The future of the forest based industry", *European Workshop on Lignocellulosics and Pulp*, Stockholm, proceedings, pp1-4.
- [5] Mc Keough, P, Kurkela, E. (2008), "Production and conversion of biomass derived synthesis gas", *Nordic Wood Biorefinery Conference*, Stockholm, proceedings, pp 10-15.
- [6] Genart, R., Ohrman, O., Marklund, M., Petterson, E., Risberg, M., Carlsson, P.(2008), "Turning a pulp mill into a biorefinery – a possible outcome from the second black liquor gasification program", *Nordic Wood Biorefinery Conference*, Stockholm, proceedings, pp 56-61.

- [7] Ragauskas, A.J., Nagy, M., Kim, D.H., Eckert, C.A., Hallett, J.P. and Liotta, C.L. (2006), "From wood to fuels-Integrating biofuels and pulp production", *Industrial Biotechnology*, vol2, n°1, pp 55-65.
- [8] Larsson, S., Palmqvist, E., Hahn-Hägerdal, B., Tengborg, C., Stenberg, K., Zacchi, G. and Nilvebrant, N.O. (1999), "The generation of fermentation inhibitors during dilute acid hydrolysis of softwood", *Enzyme Microb. Technol.*, vol 24, pp151-159.
- [9] Tunc, M.S. and van Heiningen, A.R.P. (2008), "Hydrothermal dissolution of mixed southern hardwoods", *Holzforschung*, vol 62, pp 539-545.
- [10] Kämppi, R., Lepoliemi, A., HÖrhammer, H., van Heiningen, A. (2009), "Pre-extraction and PSAQ pulping of siberian larch", 95th CPPA Annual meeting, proceedings, pp 255-259.
- [11] van Maris, A.J.A., Abbott, D.A., Bellissimi, E., van den Brink, J., Kuyper, M., Luttik, M.A.H., Wisselink, H.W., Scheffers, W.A., van Dijken, J.P., Pronk, J.T. (2006), "Alcoholic fermentation of carbon sources in biomass hydrolyzates by *Saccharomyces cerevisiae* : current status", *Antonie van Leeuwenhoek* 90 : 381-418.
- [12] Lloyd, J., Suckling, I.D., Allison, R.W., Manley-Harris, M., Mc Donald-Wharry, J.S., Lachenal, D. and Chirat, C. (2009), "Hot-water prehydrolysis of radiate Pine – Hemicellulose extraction, 15<sup>th</sup> ISWFPC, June 15-18, 2009, Oslo.
- [13] CHIRAT,C., LACHENAL,D., DUFRESNE, A., "Biorefinery in a kraft pulp mill : from bioethanol to cellulose nanocrystals", *Cellulose Chemistry and Technology*, vol 44 n° 1-3, pp 59-74, 2010
- [14] Sanglard, M., Chirat, C., Jarman, B., Lachenal, D., « Biorefinery in a pulp mill: simultaneous production ofcellulosic fibres from *Eucalyptus globulus* by soda/anthraquinone cooking and surface-active agents", *Holzforschung*, DOI 10.1515/hf-2012-0178, February 2013, pp 1-8



# CULTURAS DE FUNGOS BASIDIOMICETOS EM RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS PARA PRODUÇÃO DE COMPOSTOS BIOATIVOS

C Salvador<sup>1,2</sup>, M F Candeias<sup>1,4</sup>, M R Martins<sup>1,3,4</sup>, AT Caldeira<sup>\*1,2,3</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Química, Universidade de Évora, Évora 7000 - 671, Portugal; <sup>2</sup> Centro de Química de Évora, Universidade de Évora, Évora 7000 - 671, Portugal; <sup>3</sup> Laboratório HERCULES, Universidade de Évora, Évora 7000 - 809, Portugal; <sup>4</sup> ICAAM - Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas, Universidade de Évora, Apartado 94, 7002-774- Évora, Portugal.

\* Autor correspondente: atc@uevora.pt; Tel.+351266745313

### Resumo

Neste trabalho, utilizaram-se diversos resíduos agroindustriais (resíduos de beterraba, repiso de tomate, palha de girassol, palha de trigo e casca de arroz) para desenvolver culturas líquidas de fungos Basidiomicetos, permitindo a produção de compostos proteína-polissacárido inovadores (Arteiro, et al. 2012, Salvador, et al. 2012). Os compostos produzidos não apresentaram toxicidade em *Artemia salina*, após 24 horas de incubação nem hepatotoxicidade em ensaios *in vivo* em ratos *Wistar*. Os compostos e extratos EPS foram administrados por via oral (0,250 g kg<sup>-1</sup>). Os parâmetros bioquímicos séricos, nomeadamente, transaminases (ALT e AST), fosfatase alcalina (ALP) e gama-glutamil transferase ( $\gamma$ -GT) foram quantificados e os resultados mostraram que a administração oral dos complexos proteína-polissacarídeo não causou alterações significativas nos níveis séricos hepáticos destes enzimas. Os resultados positivos destes ensaios aliados à não toxicidade dos compostos tornam-nos bastante atrativos, constituindo a sua produção uma importante forma de valorização deste tipo de resíduos.

### Abstract

Several agro-industrial residues (beet wastes, tomato pomace, sunflower straw, wheat straw and rice peel) were used to develop liquid cultures of Basidiomycetes, allowing the production of innovative protein-polysaccharide compounds (Arteiro, et al. 2012, Salvador, et al. 2012). These complexes show no toxicity in *Artemia salina* after 24 hours of incubation and caused no hepatotoxicity in *in vivo* assays using *Wistar* rats. The biochemical serum parameters, including transaminases (ALT and AST), alkaline phosphatase (ALP), and gamma-glutamyl transferase ( $\gamma$ -GT) were quantified and the results showed that oral administration of the polysaccharide-protein complexes caused no significant changes in the level of hepatic serum enzymes. The positive results of these tests associated with the non-toxicity of the compounds make them very attractive and their production an important procedure to the valorization of agro-industrial wastes.

**Palavras-chave:** resíduos agroindustriais, culturas de basidiomicetos, compostos bioativos, atividade antioxidante, efeito hepatoprotetor.

## 1. INTRODUÇÃO

O setor agroindustrial produz grandes quantidades de resíduos, tanto líquidos como sólidos. Esses resíduos podem apresentar elevados problemas de deposição final e potencial poluente, além de representarem perdas de nutrientes de alto valor. Num mercado global extremamente competitivo, produzir compostos bioativos utilizando produtos de baixo valor, como os resíduos agroindustriais, pode ser uma importante via

para a sua valorização. Culturas puras de alguns microrganismos tem sido usadas na degradação/despoluição de resíduos agroindustriais de mais difícil biodegradabilidade mas poderão também ser encaradas como uma forma de produção de compostos bioativos de elevado valor acrescentado. De entre os microrganismos potencialmente interessantes para a utilização deste tipo de resíduos alguns fungos do tipo *White Rot Fungi* revelam capacidade para sintetizar diferentes complexos proteína-polissacárido com propriedades antitumorais e immunoestimuladoras. Alguns polissacáridos produzidos por *Pleurotus* spp., nomeadamente proteoglicanos, apresentam grande importância como modificadores de resposta biológica (BRMs), estimulando o sistema imunitário do hospedeiro e exercendo inúmeras atividades imunofarmacológicas, em particular atividade antitumoral, com inibição de metastases e estimulação da hematopoiese (Sarangi, et al. 2006, Gern, et al. 2008). Contudo, a toxicidade associada a alguns compostos pode limitar a sua utilização. As lesões hepáticas podem ocorrer por inalação, ingestão ou administração de vários agentes farmacológicos, químicos e também derivados de plantas ou cogumelos. Na maioria das vezes em que a agressão hepática ocorre, existe a participação de mais de um mecanismo de lesão hepática. No caso de lesão observa-se o aumento de atividades enzimáticas séricas, o qual pode estar associada a alterações reversíveis ou irreversíveis da permeabilidade da membrana, indução dos enzimas microsossomais ou lesão estrutural resultante de isquemia hepatobiliar, necrose, neoplasia ou colestase. As transaminases AST e ALT catalisam a conversão de aspartato e alanina em oxaloacetato e piruvato, respetivamente, e são parâmetros úteis para a avaliação das lesões hepáticas agudas. Elevações séricas das transaminases são geralmente indicadoras de lesões hepáticas. A fosfatase alcalina e a gama-glutamil transferase são enzimas relacionadas com a fração microsossomal, associadas geralmente à cronicidade da lesão. A gama-glutamil transferase é um marcador sensível de doença inflamatória ou lesão hepática crónica (Lu, et al. 2007, Refaie, et al. 2010).

Neste trabalho, utilizaram-se diversos resíduos agroindustriais: repiso de tomate, palha de girassol, casca de arroz, resíduos de beterraba e palha de trigo, para desenvolver culturas líquidas de fungos basidiomicetos, permitindo a produção de compostos bioativos, proteína-polissacárido, inovadores e não tóxicos.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### I. Produção de complexos proteína-polissacárido a partir de culturas líquidas de Basidiomicetos

Estirpes de *P. ostreatus*, *T. versicolor* e *A. ponderosa* foram mantidas a 4°C, em meio PDA. Para as culturas líquidas, procedeu-se à preparação do inóculo em soro fisiológico, contendo  $10^8$  UFC/ mL de cultura, utilizando culturas com sete dias de crescimento a 28°C. As culturas foram desenvolvidas em meio basal contendo  $10\text{ g L}^{-1}$  de glucose e incubadas a 28°C em agitador orbital, a 160 rpm durante 14 dias (Arteiro, et al. 2012).

### II. Determinação da biomassa

Procedeu-se à separação do caldo de fermentação e do micélio, por centrifugação a 10 000g, durante 15 minutos. As amostras (micélio e caldo de fermentação) foram guardadas a -20°C para posteriores determinações. O peso seco da biomassa foi determinado após secagem do micélio a 60°C, durante 48 horas, a peso constante.

### III. Extração e quantificação dos complexos proteína-polissacárido extracelulares (EPS) e intracelulares (IPS)

A extração dos complexos proteína-polissacárido extra e intracelulares efetuou-se de acordo com Lee et al. (2006). Os polissacáridos do sobrenadante da cultura (EPS) foram precipitados por adição de 2 volumes de etanol a 96%. A mistura foi deixada a repousar “*overnight*” a 4°C, para facilitar a precipitação dos complexos. Para isolamento dos polissacáridos intracelulares (IPS) o micélio, previamente seco a 60°C, foi colocado em banho de água a 95°C, durante 5 horas e posteriormente centrifugado a 10 000g, durante 10 minutos. Para precipitar os IPS adicionaram-se 2 volumes de etanol a 96% ao sobrenadante e deixou-se a repousar “*overnight*” a 4°C (Lee, et al. 2006).

Para obtenção dos complexos proteína-polissacárido EPS e IPS procedeu-se à centrifugação das misturas etanólicas de EPS e IPS a 3000g, durante 15 minutos, a 4°C. Os precipitados foram colocados a 60°C para remoção dos resíduos de etanol e, posteriormente, ressuspensos em volume mínimo de tampão fosfato de potássio 50mM, pH 7 e, posteriormente, foram liofilizados (Lin and Sung 2006). A concentração de polissacáridos presentes nos extratos de EPS e de IPS foi determinada pelo método do fenol - ácido sulfúrico de acordo com o método descrito por (Dubois, et al. 1956).

### IV. Ensaios de toxicidade aguda

#### IV.I Estudos de citotoxicidade em *Artemia salina*

Procedeu-se à avaliação da toxicidade aguda dos extratos utilizando o teste com *Artemia salina* (Artoxkit M<sup>TM</sup>, Microbiotest). Para avaliação da toxicidade dos extratos, colocaram-se 900µL de meio salino e 100µL de amostra em cada poço da placa. Em cada poço colocaram-se 10 artémias (no I/II estado larval), previamente reidratadas e desenvolvidas a partir dos cistos, que foram colocados em meio salino, na ausência de luz, a 24°C, durante 48 horas. Procedeu-se à incubação da placa na ausência da luz, a 25°C, durante 24 horas. Posteriormente, efetuou-se a contagem do número de microcrustáceos imobilizados em cada um dos poços. Utilizou-se o dicromato de potássio como controlo positivo e uma solução de água do mar como controlo negativo. Para determinação do valor de LC 50 (concentração letal para 50% da população) para o dicromato de potássio utilizaram-se soluções de K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> com concentrações compreendidas entre 10 e 100mg/L. Foram efetuadas seis réplicas para cada um dos compostos testados. O valor de LC 50 para o dicromato de potássio foi determinado usando a correlação dose-resposta, utilizando a seguinte equação:

$$y = A_1 + \frac{A_2 - A_1}{1 + 10^{(\log X_0 - X)p}} \quad (1)$$

em que A<sub>2</sub> e A<sub>1</sub> são, respetivamente, as respostas máxima e mínima de *Artemia salina* com uma amostra controlo, p é o parâmetro de declive da curva dose-resposta, X é a concentração usada e log X<sub>0</sub> é a concentração que corresponde a 50 % da toxicidade. Este modelo não linear foi ajustado utilizando o Origin 7.1 (OriginLab<sup>®</sup> Corporation, 2003).

### IV.II Avaliação da toxicidade aguda em ratinhos Swiss

Procedeu-se à avaliação da toxicidade aguda dos extratos liofilizados de cogumelo e micélios das culturas líquidas utilizando murganhos *Swiss* (*Mus musculus*). Para determinação da DL<sub>50</sub>, utilizou-se o protocolo *up and down*, OEDC/OCDE 425, estabelecido de acordo com as orientações da Organização Económica de Cooperação e Desenvolvimento (OCDE 2001). Os extratos liofilizados foram administrados por via oral com o auxílio de uma sonda gástrica, na concentração de 2000 mg kg<sup>-1</sup>, utilizando água destilada como veículo. Os animais foram divididos em grupos de três animais do sexo masculino com aproximadamente dois meses, tendo deixados em jejum 24h antes do ensaio, com água à descrição. Para avaliação do comportamento dos animais foi efetuado um *screening* farmacológico, de forma a observar a conduta e atividade dos animais, às 0, 1, 2, 4, 6 e 24h após administração. Os estudos basearam-se em: testes de reflexos (pineal, corneal, postura, ipsolateral anterior e posterior), testes de atividade motora (catalepsia, tração) e observação de conduta (agressividade, passividade e temor). Os animais foram mantidos em observação durante 15 dias (OCDE 2001).

### V. **Avaliação das propriedades antioxidantes**

#### V.I Determinação da atividade antioxidante através do método de redução do radical DPPH

Procedeu-se à avaliação da atividade antioxidante dos extratos pelo método fotométrico do DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazilo), baseado na descoloração da solução de cor violeta composta por radicais estáveis de DPPH, quando há adição de substâncias que podem ceder um átomo de hidrogénio ( $\text{DPPH}^\bullet + [\text{AH}]_n \rightarrow \text{DPPH-H} + [\text{A}^\bullet]_n$ ), sendo a redução do radical DPPH, quantificada por espectrometria de UV/Vis a 490nm, um bom índice para estimar a capacidade antioxidante (Duarte-Almeida, et al. 2006, Tepe, et al. 2007).

Uma curva de calibração foi preparada utilizando como padrão soluções de ácido ascórbico de concentrações compreendidas entre 1 e 50 µg mL<sup>-1</sup>. Os ensaios foram realizados em sextuplicado. A percentagem de inibição (%I) foi determinada correlacionando o decréscimo do valor de absorvância das amostras com o valor de absorvância do branco de acordo com a seguinte fórmula matemática:

$$\% I = \frac{\text{Abs}_{490} (\text{Branco}) - \text{Abs}_{490} (\text{Amostra})}{\text{Abs}_{490} (\text{Branco})} \times 100 \quad (2)$$

A atividade antioxidante foi expressa em µg equivalentes de ácido ascórbico/mL cultura.

#### V.II Determinação da atividade antioxidante utilizando-se sistema β-caroteno/ácido linoléico

Neste ensaio, a capacidade antioxidante foi determinada pela medição da inibição dos compostos orgânicos voláteis e os hidroperóxidos de dieno conjugados resultantes da oxidação do ácido linoleico (Vaz, et al. 2011, Pereira, et al. 2012).

Foi efetuada uma curva de calibração com ácido ascórbico com concentrações correspondidas entre 0,2 e 16mg mL<sup>-1</sup> e os resultados foram expressos em mg equivalentes de ácido ascórbico por mL de cultura. Os ensaios foram realizados em sextuplicado.

A diminuição do valor de absorvância das amostras ( $Abs_{amostra}$ ) foi correlacionada com a diminuição do valor de absorvância do branco ( $Abs_{branco}$ ), obtendo-se a percentagem de inibição da oxidação (% Inibição), de acordo com a equação:

$$\begin{aligned} Abs_{branco} &= Abs_{inicial} - Abs_{final} \\ Abs_{amostra} &= Abs_{inicial} - Abs_{final} \\ \% \text{ Inibição} &= \frac{Abs_{branco} - Abs_{amostra}}{Abs_{branco}} \times 100 \quad (3) \end{aligned}$$

### V.III Atividade catalase (CAT)

A capacidade de mimetização da atividade CAT foi quantificada pela redução do H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e monitorizada a 240nm, de acordo com (Yoo, et al. 2008).

### V.IV Atividade superóxido dismutase (SOD)

A capacidade de mimetização da atividade SOD foi determinada de acordo com McCord e Fridovich, (1969). Esta atividade foi medida pela capacidade de inibição da taxa de redução do citocromo c pelo radical superóxido, observada a 550 nm. Uma unidade irá inibir 50% da taxa de redução do citocromo c, num sistema acoplado, utilizando xantina e xantina oxidase (McCord and Fridovich 1969).

## VI. Avaliação do efeito hepatoprotetor

Na avaliação do efeito hepatoprotetor foram utilizados ratos *Wistar*, do género masculino, com idade aproximada de 60 dias com peso médio de 300 g provenientes do Biotério da Universidade de Évora. Estes foram divididos em 4 grupos cada um com 6 elementos. O grupo 1 serviu de controlo negativo, o grupo 2 serviu de controlo positivo, ao grupo 3 foi administrada por via oral um fármaco padrão silimarina (0,05 g kg<sup>-1</sup>) e o grupo 4 foi administrado o extrato liofilizado de EPS (0,250 g kg<sup>-1</sup>) por via oral. As administrações orais ocorreram durante 10 dias. Após esse período, os animais foram submetidos a uma administração de etanol (5,0 g kg<sup>-1</sup>), por via oral (Lu, et al. 2007, Refaie, et al. 2010, Salvador, et al. 2012).

Após 18 horas os animais foram anestesiados por inalação de éter, e amostras de sangue foram recolhidas por punção cardíaca. O sangue centrifugou-se a 2000g e a temperatura ambiente durante 10 minutos para obtenção do soro. As atividades enzimáticas alanina aminotransferase (ALT), aspartato aminotransferase (AST), fosfatase alcalina (ALP) e gama glutamil-transferase ( $\gamma$ -GT) foram quantificadas no soro dos animais utilizando kits comerciais (Sentinel diagnostics).

## VII. Produção de complexos EPS e IPS em culturas de *P. ostreatus* com resíduos agroindustriais de palha de girassol

Para uma produção de complexos proteína-polissacárido EPS e IPS efetuaram-se culturas de 100 mL de *P. ostreatus* em meio líquido contendo resíduos agroindustriais como fonte de carbono. As culturas foram desenvolvidas em meio basal contendo 10 g L<sup>-1</sup> de resíduos de beterraba, repiso de tomate, palha de girassol, palha de trigo e casca de arroz. As culturas foram incubadas a 28°C em agitador orbital, a 160 rpm durante 14 dias.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Efetuararam-se culturas líquidas de três Basidiomicetes: *P. ostreatus*, *T. versicolor* e *A. ponderosa* com vista à produção complexos proteína-polissacárido extra e intracelular (EPS e IPS). Após a obtenção destes extratos EPS e IPS procedeu-se à avaliação das suas potenciais atividades biológicas, propriedades antioxidantes e efeitos toxicológicos.

#### Avaliação da toxicidade dos extratos EPS e IPS

A citotoxicidade dos extratos de EPS e de IPS foi avaliada em ensaios com *Artemia salina*. No controlo negativo, utilizando água do mar, tal como era esperado, não se observou mortalidade, enquanto que no controlo positivo, utilizando dicromato de potássio  $56 \text{ mg L}^{-1}$ , observou-se 96,67% de mortalidade. Embora os extratos de IPS tenham apresentado uma percentagem de mortalidade ligeiramente superior aos extratos de EPS pode-se considerar que tanto os extratos de EPS, como os extratos de IPS apresentaram uma baixa toxicidade, com valores de mortalidade de *A. salina* inferiores a 10%.

A toxidade aguda dos extratos proteína-polissacárido dos micélios das culturas obtidos foi também avaliada em ratinhos *Swiss*. Procedeu-se à administração dos micélios liofilizados das culturas de *P. ostreatus*, *T. versicolor* e *A. ponderosa* por via oral, com sonda, na concentração de  $2000 \text{ mg Kg}^{-1}$ , não se observando toxicidade, nenhum dos ratinhos administrados morreu. Os extratos não apresentaram toxicidade para a dose testada, com valores de  $DL_{50}$  superior a  $2000 \text{ mg Kg}^{-1}$ . No *screening* hipocrático, baseado em testes de reflexos (pineal, corneal, postura, ipsolateral anterior e posterior), testes de atividade motora (catalepsia, tração) e observação de conduta (agressividade, passividade e temor), os animais não apresentaram sinais de toxicidade quer a nível motor, cognitivo e sensorial, bem como mental, para os testes efetuados, aos tempos de ensaio 1,2,4,6 e 24h.

#### Avaliação de propriedades antioxidantes dos extratos EPS e IPS

Os valores de atividade antioxidante obtidos para os extratos de EPS e de IPS estão apresentados na tabela 1, variando entre  $0,019 \pm 0,001$  e  $0,065 \pm 0,003 \text{ mg}$  de ácido ascórbico  $^{-1} \text{ mg}$  polissacárido e  $12,835 \pm 0,807$  para o método do DPPH e  $82,400 \pm 0,700 \text{ mg}$  de ácido ascórbico  $^{-1} \text{ mg}$  polissacárido para o método do  $\beta$ -caroteno/ácido linoleico.

**Tabela 1:** Avaliação das atividades antioxidantes presentes em extratos EPS e IPS de culturas de *P. ostreatus*, *T. versicolor* e *A. ponderosa* avaliadas pelos métodos do radical livre DPPH e  $\beta$ -caroteno/ácido linoleico.

		DPPH (mg ácido ascórbico $\text{mg}^{-1} \text{ dw}$ )	$\beta$ - Caroteno/ácido linoléico (mg ácido ascórbico $\text{mg}^{-1} \text{ dw}$ )
<i>P. ostreatus</i> (1 mg $\text{mL}^{-1}$ )	IPS	0.019 $\pm$ 0.001 <sup>a</sup>	22.400 $\pm$ 0.240 <sup>a</sup>
	EPS	0.026 $\pm$ 0.003 <sup>a</sup>	82.400 $\pm$ 0.700 <sup>b</sup>
<i>T. versicolor</i> (1 mg $\text{mL}^{-1}$ )	IPS	0.030 $\pm$ 0.001 <sup>a</sup>	26.090 $\pm$ 0.600 <sup>a</sup>
	EPS	0.054 $\pm$ 0.002 <sup>b</sup>	59.200 $\pm$ 1.500 <sup>b</sup>
<i>A. ponderosa</i> (1 mg $\text{mL}^{-1}$ )	IPS	0.025 $\pm$ 0.002 <sup>a</sup>	12.835 $\pm$ 0.807 <sup>c</sup>
	EPS	0.065 $\pm$ 0.003 <sup>b</sup>	39.363 $\pm$ 2.532 <sup>a</sup>

Letras diferentes indicam diferenças significativas ( $p < 0.01$ ).

Valores apresentados são a média de três determinações  $\pm$  desvio padrão (SD).

Ambos os extratos apresentaram atividade antioxidante pelos métodos do radical livre DPPH e do  $\beta$ -caroteno/ ácido linoleico, para os complexos produzidos pelas três espécies de Basidiomicetos.

Com o objetivo de avaliar as propriedades antioxidantes dos complexos EPS e IPS, procedeu-se também à avaliação da capacidade dos extratos para mimetizar a atividade catalase (CAT) e superóxido dismutase (SOD).

A tabela 2 mostra os valores de atividade dos enzimas séricos nos animais administrados com os extratos EPS e IPS obtidos em culturas líquidas das três estirpes de basidiomicetos estudadas. Os extratos de EPS e IPS apresentaram capacidade para mimetizar a atividade CAT e SOD, com valores de atividade entre  $4,450 \pm 0,120$  e  $54,315 \pm 7,693$  U mg<sup>-1</sup> dw, e entre  $5,068 \pm 0,418$  e  $71,590 \pm 0,944$  U mg<sup>-1</sup> dw respectivamente.

**Tabela 2:** Avaliação da capacidade de mimetização das atividades dos enzimas CAT e SOD pelos extratos EPS e IPS de culturas de *P. ostreatus*, *T. versicolor* e *A. ponderosa*.

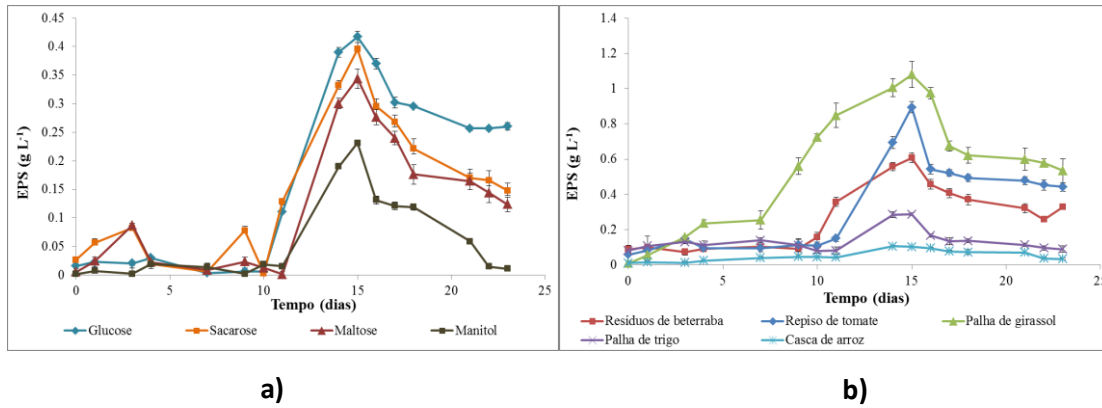
		CAT (U mg <sup>-1</sup> dw)	SOD (U mg <sup>-1</sup> dw)
<i>P. ostreatus</i> (1 mg mL <sup>-1</sup> )	IPS	4.450 ± 0.120 <sup>a</sup>	6.154 ± 0.209 <sup>a</sup>
	EPS	27.690 ± 0.160 <sup>b</sup>	5.068 ± 0.418 <sup>a</sup>
<i>T. versicolor</i> (1 mg mL <sup>-1</sup> )	IPS	6.320 ± 0.140 <sup>a</sup>	6.670 ± 0.140 <sup>a</sup>
	EPS	25.600 ± 0.150 <sup>b</sup>	9.090 ± 0.150 <sup>a</sup>
<i>A. ponderosa</i> (1 mg mL <sup>-1</sup> )	IPS	7.279 ± 0.343 <sup>a</sup>	71.590 ± 0.944 <sup>b</sup>
	EPS	54.315 ± 7.693 <sup>b</sup>	69.642 ± 0.751 <sup>b</sup>

Letras diferentes indicam diferenças significativas ( $p < 0.01$ ).

Valores apresentados são a média de três determinações  $\pm$  desvio padrão (SD).

### **Screening de produção dos complexos proteína-polissacáridos extra e intracelulares em culturas de *P. ostreatus* em meios de cultura contendo resíduos agroindustriais**

Efetuarão-se culturas líquidas de *P. ostreatus* utilizando quatro fontes de carbono. A Fig 1-a mostra o perfil de produção de EPS durante 24 dias, evidenciando uma maior concentração de EPS aos 15 dias de cultura, para as fontes de carbono glucose e sacarose. Com vista à valorização de resíduos lenho-celulósicos procedeu-se à realização culturas de *P. ostreatus* em que se substituiu a fonte de carbono conhecida por uma fonte de carbono natural, mais concretamente resíduos agroindustriais. Deste modo foram testados cinco resíduos agroindustriais, resíduos de beterraba, repiso de tomate, palha de girassol, palha de trigo e casca de arroz. Procedeu-se à quantificação dos complexos em amostras recolhidas diariamente tendo-se obtido concentrações mais elevadas destes complexos nos meios contendo repiso de tomate e palha de girassol. A figura 1-b mostra a variação da concentração dos complexos proteína-polissacáridos ao longo do tempo de incubação das culturas.



**Figura 1:** cinética de produção de EPS em culturas líquidas de *P. ostreatus*: a) fontes de carbono definidas; b) resíduos agroindustriais.

As culturas de *P. ostreatus* foram seguidas durante 23 dias tendo-se observado que a concentração máxima dos complexos proteína-polissacárido extracelulares ocorreu ao 15º dia (Fig 1). O aspeto das culturas líquidas e do micélio é apresentado na figura 2. Nesta figura pode observar-se que o micélio de *P. ostreatus* em culturas líquidas, com resíduos de palha de girassol e repiso de tomate, forma aglomerados com formas irregulares, os quais se encontram dispersos por todo o meio de cultura.



**Figura 2.** Imagens de culturas de *P. ostreatus* em meios contendo repiso de tomate (à esquerda) e resíduos de girassol (ao centro) e palha de trigo (à direita).

A tabela 3 mostra os resultados relativos à quantificação da biomassa, EPS, IPS e pH finais das culturas de *P. ostreatus* em quatro fontes de carbono definidas e em cinco resíduos agroindustriais.



## II Workshop (Bio)Energia

**Tabela 3:** Efeito das fontes de carbono na biomassa, pH e produção de EPS e IPS finais das culturas de *P. ostreatus* em frasco agitado.

	Biomassa (g.L <sup>-1</sup> )	EPS (g.L <sup>-1</sup> )	IPS (g.L <sup>-1</sup> )	pH final
Glucose	2,79 ± 0,02	26.03E-2 ± 64.00E-4	2.67E-2 ± 1.26E-4	6,95 ± 0,03
Sacarose	2,50 ± 0,01	14.78E-2 ± 83.40E-4	1.27E-2 ± 8.74E-4	6,58 ± 0,02
Maltose	1,49 ± 0,01	12.37E-2 ± 3.17E-2	1.55E-2 ± 5.24E-4	7,14 ± 0,02
Manitol	2,01 ± 0,01	10.01E-2 ± 84.00E-4	1.53E-2 ± 3.27E-4	6,52 ± 0,03
Resíduos de beterraba	5,95 ± 0,02	32.89E-2 ± 1.42E-2	2.71E-2 ± 1.68E-4	7,20 ± 0,01
Repiso de tomate	5,16 ± 0,02	44.35E-2 ± 2.48E-2	2.76E-2 ± 1.24E-4	7,27 ± 0,02
Palha de girassol	6,68 ± 0,16	53.50E-2 ± 6.80E-2	6.10E-2 ± 2.00E-3	7,78 ± 0,04
Palha de trigo	5,65 ± 0,10	9.00E-2 ± 1.90E-2	5.00E-2 ± 1.00E-3	7,51 ± 0,02
Casca de arroz	3,52 ± 0,02	3.40E-2 ± 7.00E-03	3.20E-2 ± 1.00E-3	7,45 ± 0,04

As fermentações foram seguidas durante 23 dias a 28°C com um pH inicial de 6. Valores apresentados são a média de três determinações ± desvio padrão (SD).

Obteve-se uma maior produção de biomassa nas culturas em que se utilizaram resíduos agroindustriais como fonte de carbono, sendo as culturas de palha de girassol as que apresentaram um valor mais elevado ( $6,68 \pm 0,16 \text{ g L}^{-1}$ ). As culturas de resíduos de beterraba, palha de trigo e repiso de tomate apresentaram resultados também bastante elevados variando entre  $5,16 \pm 0,02$  e  $5,95 \pm 0,02 \text{ g L}^{-1}$ . Em relação a produção de EPS e IPS também se pode observar uma maior produção de ambos no caso das culturas em que foi substituída a fonte de carbono por palha de girassol, com valores ao 23º dia de cultura de  $0,53 \pm 0,07$  e  $0,06 \pm 0,02 \text{ g L}^{-1}$ , respetivamente.

O resíduo agroindustrial que permitiu obter maiores concentrações de EPS e IPS totais foi a palha de girassol em culturas de *P. ostreatus*, e desta forma o resíduo agroindustrial escolhido para o decorrer do trabalho experimental no sentido de avaliação das atividades biológicas de extratos EPS e IPS. Estes resultados mostram a aplicabilidade de resíduos agroindustriais, em culturas submersas de *P. ostreatus*, na produção de complexos proteína-polissacáridos, podendo ser uma matéria-prima a considerar na utilização destes processos aquando a sua aplicação à escala industrial.

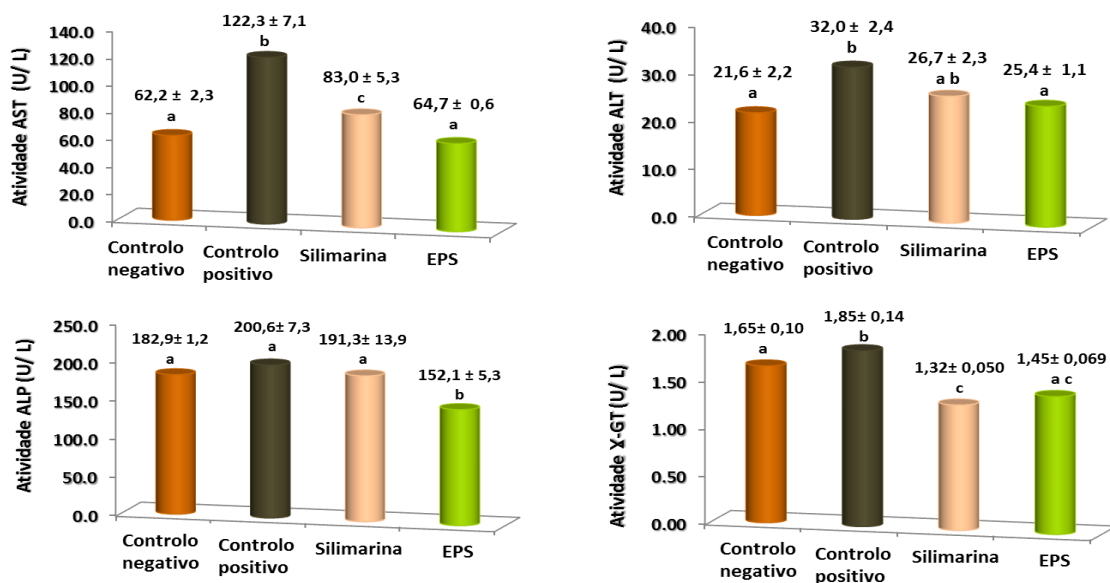
### Efeito hepatoprotetor de extratos de EPS de *P. ostreatus*

Na avaliação do efeito hepatoprotetor foram utilizados ratos *Wistar*, distribuídos em quatro grupos: controlo negativo, controlo positivo, grupo administrada por via oral o fármaco silimarina ( $0,05 \text{ g kg}^{-1}$ ) e o grupo administrado por via oral com extrato liofilizado de EPS ( $0,250 \text{ g kg}^{-1}$ ).

Os resultados mostraram que os extratos EPS foram eficazes na redução dos danos do fígado, em ratos *Wistar*, induzido pelo etanol, apresentando um efeito hepatoprotetor semelhante à silimarina, um fármaco padrão. Na figura 3, que mostra as atividades enzimáticas da aspartato aminotransferase (AST) (Fig. 3a) e alanina aminotransferase (ALT) (Fig. 3b) foi observado que a administração do extrato de EPS, não são alterados pela administração de etanol, tal como no caso de silimarina e do controlo negativo. As atividades dos enzimas AST e ALT foram aumentados pela administração de etanol no grupo controlo positivo. Para a atividade da AST, o grupo tratado com o EPS, apresentaram nenhuma alteração significativa ( $p = 0,902$ ), em comparação só com o veículo (água destilada), e foi significativamente menor do que o grupo com a silimarina administrar ou controlo positivo ( $p < 0,05$ ). Os valores da ALT não diferiram

significativamente entre o grupo tratado com EPS e veículo ( $p = 0,187$ ), tendo o grupo tratado com EPS apresentado valores significativamente menores que o controlo positivo ( $p = 0,019$ ). O grupo tratado com o fármaco padrão silimarina não apresenta alterações significativas quando comparado com o controlo positivo ( $p = 0,055$ ) ou negativo ( $p = 0,065$ ) (Fig. 3a, b). A razão AST / ALT é um indicador da extensão do dano hepático, tendo-se obtido um valor mais baixo no grupo de teste do que no grupo controlo positivo ( $2,55 < 3,82$ ), sendo semelhante ao controlo negativo (2,88) e menor do que o grupo silimarina (3,11), indicando um efeito de proteção do fígado de extratos liofilizados EPS de *P. ostreatus*, em células do fígado. A atividade da fosfatase alcalina (ALP) apresentou alterações irrelevantes entre os grupos controlo negativo e positivo ( $p = 0,113$ ) e silimarina ( $p = 0,615$ ). O grupo EPS apresentou alterações significativas ( $p < 0,05$ ), mostrando menores valores de ALP. Valores de gama-glutamil transferase ( $\gamma$ -GT) mostraram um aumento significativo no controlo positivo ( $p < 0,05$ ), ao contrário, o grupo tratado com silimarina apresentou menor valores para esta enzima. O grupo EPS não apresentou diferenças significativas em relação aos grupos controlo negativo ( $p = 0,137$ ) e silimarina ( $p = 0,403$ ). Os enzimas ALP e  $\gamma$ -GT são enzimas com resposta mais lenta, normalmente indicando doenças subagudas ou crônicas e a ALP não é um enzima específico do fígado. No entanto, os resultados sugerem que a administração aguda de etanol não causa alterações significativas na atividade de ALP (Fig. 3c), e  $\gamma$ -GT (Fig. 3d), mas a administração prolongada dos complexos de polissacarídeo-proteína e silimarina contribui para uma significativa redução dos níveis sanguíneos destes enzimas, o que sugere um efeito protetor sobre as células hepáticas.

Os resultados obtidos estão de acordo com estudos anteriores, os extratos de corpo de frutificação de *P. ostreatus* (Jayakumar, et al. 2006, Nada, et al. 2010, Refaie, et al. 2010). Os nossos resultados apontam para a possibilidade de utilização de extratos de EPS como nutracêutico, coadjuvante no tratamento de doenças hepatobiliares. Um estudo recente sobre as atividades gastroprotetoras de polissacáridos extraídos de corpos de frutificação de *P. ostreatus* em ratos, mostraram que a administração oral de extratos de polissacáridos foi inibida significativamente as lesões gástricas induzidas por ácido acético (Yang, et al. 2012).



**Figura 3:** Atividades dos enzimas séricos em presença de extratos de EPS extraídos de *P. ostreatus* e o fármaco padrão silimarina após a intoxicação aguda por etanol. Letras diferentes indicam diferenças significativas ( $p < 0.01$ ).

### 4. CONCLUSÕES

Os resultados confirmam a potencial utilização de resíduos agroindustriais de palha de girassol em meio basal, como fonte de carbono para maximizar a produção de complexos de proteína-polissacárido em culturas de *P. ostreatus*.

Os compostos produzidos não apresentam toxicidade em *Artemia salina*, após 24 horas de incubação nem toxicidade aguda em ensaios in vivo em ratos *Swiss*.

Os complexos EPS e IPS produzidos mostraram atividade antioxidante e revelam capacidade para mimetizar a atividade dos enzimas superóxido dismutase (SOD) e catalase (CAT).

A administração oral em ratos *Wistar*, dos complexos de proteína-polissacáridos revelou uma atividade hepatoprotetora equivalente à observada com o fármaco padrão silimarina.

Os parâmetros bioquímicos séricos, nomeadamente, transaminases (ALT e AST), fosfatase alcalina (ALP) e gama-glutamil transferase ( $\gamma$ -GT) mostraram que a administração oral dos complexos proteína-polissacarídeo não causou alterações significativas nos níveis séricos hepáticos destes enzimas.

Os resultados sugerem que os extratos EPS e IPS produzidos em culturas líquidas com palha de girassol podem ser usados como uma fonte importante de compostos bioativos com potencial valor medicinal. No futuro, estes compostos poderão ser usados como coadjuvantes em doenças hepáticas.

### 5. BIBLIOGRAFIA

Arteiro, J., Martins, M., Salvador, C., Candeias, M., Karmali, A. and Caldeira, A. (2012) Protein-Polysaccharides of *Trametes versicolor*: Production and Biological Activities. *Medicinal Chemistry Research*. **21**, 937-943

Duarte-Almeida, J., Santos, R., Genovese, M. I. and Lajolo, F. (2006) Avaliação da atividade antioxidante utilizando sistema b-caroteno/ácido linoleico e método de sequestro de radicais DPPH. *Ciência e Tecnologia Alimentar*. **26(2)**, 446-452.

Dubois, M., Gilles, K., Hamilton, J., Rebers, P. and Smith, F. (1956) Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal Chem*. **28**, 350-356

Gern, R., Wisbeck, E., Rampinelli, J., Ninow, J. and Furlan, S. (2008) Alternative medium for production of *Pleurotus ostreatus* biomass and potential antitumor polysaccharides. *Bioresour Technol*. **99**, 76-82

Jayakumar, T., Ramesh, E. and Geraldine, P. (2006) Antioxidant activity of the oyster mushroom, *Pleurotus ostreatus*, on CCl<sub>4</sub>-induced liver injury in rats. *Food and Chemical Toxicology*. **44**, 1989-1996

Lee, C., Yang, X. and Wan, J. (2006) The culture duration affects the immunomodulatory and anticancer effect of polysaccharopeptide derived from *Coriolus versicolor*. *Enzyme Microb Technol*. **38**, 14-21

Lin, E. and Sung, S. (2006) Cultivating conditions influence exopolysaccharide production by the edible Basidiomycete *Antrodia cinnamomea* in submerged culture. *Int J Food Microbiol*. **108**, 182-187

- Lu, Z., Tao, W., Zou, X., Fu, H. and Ao, Z. (2007) Protective effects of mycelia of *Antrodia camphorata* and *Armillariella tabescens* in submerged culture against ethanol-induced hepatic toxicity in rats. *Journal of Ethnopharmacology*. **110** 160-164.
- McCord, J. M. and Fridovich, I. (1969) Superoxide Dismutase: an Enzymic Function for Erythrocyte (Hemocytin). *J. Biol. Chem.* **244**, 6049-6055
- Nada, S., Omara, E., O., S. and Zahran, H. (2010) Mushroom insoluble polysaccharides prevent carbon tetrachloride-induced hepatotoxicity in rat. *Food and Chemical Toxicology*, DOI:10.1016/j.fct.2010.1008.1019
- OCDE. (2001) OECD guideline for testing of chemicals. 1-26
- Pereira, E., Barros, L., Martins, A. and Ferreira, I. (2012) Towards chemical and nutritional inventory of Portuguese wild edible mushrooms in different habitats. *Food Chemistry*. **130**, 394-403
- Refaie, F., Esmat, A., Daba, A., Osman, W. and Taha, S. (2010) Hepatoprotective activity of polysacchropeptides from *Pleurotus ostreatus* mycelium on thioacetamide-intoxicated mice. *Micologia Aplicada internacional*. **22**, 1-13
- Salvador, C., Martins, M. R., Candeias, M. F., Karmali, A., Arteiro, J. M. and Caldeira, A. T. (2012) Characterization and Biological Activities of Protein-Bound Polysaccharides Produced by Cultures of *Pleurotus ostreatus*. *Journal of Agricultural Science and Technology A* **2**, 1296-1306.
- Sarangi, I., Ghosh, D., Bhutia, S., Mallick, S. and T., M. (2006) Anti-tumor and immunomodulating effects of *Pleurotus ostreatus* mycelia-derived proteoglycans. *International Immunopharmacology*. **6**, 1287-1297
- Tepe, B., Daferera, D., Tepe, A., Polissiou, M. and Sokmen, A. (2007) Antioxidant activity of the essential oil and various extracts of *Nepeta flavida* Hub-Mor from Turkey. *Food Chem* **103**, 1358-1364.
- Vaz, J., Barros, L., Martins, A., Santos-Buelga, C., Vasconcelos, M. and Ferreira, I. (2011) Chemical composition of wild edible mushrooms and antioxidant properties of their water soluble polysaccharidic and ethanolic fractions. *Food Chemistry*. **126**, 610-616
- Yang, Q., Huang, B., Li, H., Zhang, C., Zhang, R., Huang, Y. and Wang, J. (2012) Gastroprotective activities of a polysaccharide from the fruiting bodies of *Pleurotus ostreatus* in rats. *International Journal of Biological Macromolecules*. **50** 1224- 1228
- Yoo, K., Lee, C. H., Lee, H., Moon, B. and Lee, C. Y. (2008) Relative antioxidant and cytoprotective activities of common herbs. *Food Chemistry*. **106**, 929-936.

# POTENCIALIDADE ENERGÉTICA DO SUBCOBERTO DE MONTADO DE SOBRO

I.C. Menezes<sup>1</sup>, N. Ribeiro<sup>2</sup>, J. Corte-Real<sup>3,7</sup>, P. Surový<sup>4,5</sup>, S. Freitas<sup>6</sup>

<sup>1</sup> ICAAM; ICAAM, Universidade de Évora. Portugal. E-mail: isilda@uevora.pt

<sup>2</sup> ICAAM; Dep. Eng<sup>a</sup>. Rural, Escola de Ciências e Tecnologia, Universidade de Évora. Portugal. E-mail: nribeiro@uevora.pt

<sup>3</sup> ICAAM; ICAAM, Universidade de Évora. Portugal. E-mail: jmcr@uevora.pt

<sup>4</sup> ICAAM; ICAAM, Universidade de Évora. Portugal. E-mail: psurovy@gmail.com

<sup>5</sup> Institute of Statistical Mathematics, Risk Analysis Research Center; Japan. E-mail: psurovy@gmail.com

<sup>6</sup> GMAI; CPTEC, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Brasil. E-mail: saulo.freitas@cptec.inpe.br

<sup>7</sup> UNICA; Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias. E-mail: p411@ulusofona.pt

### Resumo

A absorção de calor e a consequente flamabilidade inferidas pelo poder calorífico superior e o conhecimento do poder calorífico inferior do combustível, dão uma ideia da intensidade de um fogo florestal se este se iniciar em espécies arbustivas, arbóreas e algumas herbáceas, características do Montado no distrito de Évora. A taxa de compactação do dossel de sub-coberto e a sua taxa de compactação óptima são um indicador da intensidade da reacção e do espalhamento de um fogo florestal. As espécies como os arbustos *Quercus coccifera* e as árvores *Pinus pinea* e *Eucalyptus globulus* tem capacidade moderada de se inflamar e inflamar as outras espécies. O arbusto *Calicotome villosa* e árvore *Quercus suber* têm alta flamabilidade, e a árvore da espécie *Pinus pinaster* apresenta extrema flamabilidade.

### Abstract

Heat absorption and consequently flammability inferred by high heat and the knowledge of low heat, gives an idea of the intensity of a forest fire if this starts in shrubs, trees and herbaceous species, characteristics of Montado in district of Évora. The packing ratio of canopy sub-cover and optimum packing ratio are indices of reaction intensity and spread of a forests fire. Species like shrub *Quercus coccifera* and trees *Pinus pinea* and *Eucalyptus globulus* have a moderate flammability capacity. The shrub *Calicotome villosa* and the tree *Quercus suber* have high flammability, and the tree of species *Pinus pinaster* have an extreme flammability.

**Palavras Chave:** biomassa, flamabilidade, compactação, potencia.

## 1. INTRODUÇÃO

O Alentejo é uma região de montado, e possui um modelo de cobertura de terreno singular de savana, de produções múltiplas e complementares constituindo um complexo sistema agro-florestal (Pinto-Correia e outros, 2011). As espécies características do seu sub-coberto encontram-se disseminadas em comunidades de espinhal, carrascal, de sargaçais, de estevais, de piorno, de tamargais, de silvados e de herbáceas onde coabitam também espécies arbóreas de sobro, de azinheira formando povoados puros e mistos com pinheiro manso, pinheiro bravo e eucalipto.

A capacidade de absorção de calor destas espécies arbustivas de sub-coberto e arbóreas e consequentemente a sua flamabilidade por aquecimento anormal dependem da sua estrutura interna, humidade, composição química e estados fisiológicos e fenológicos, e a influenciam o risco de eclosão de um incêndio e a sua rapidez inicial de progressão. A existência de espécies muito flamáveis a partir de certas frequências influi muito na combustibilidade de um incêndio. A capacidade calórica, ou seja, a capacidade de absorção de calor sem se inflamar está relacionada com a densidade do combustível. De uma forma geral, madeiras mais densas absorvem mais calor antes de se inflamarem enquanto as menos densas atingem o ponto de ignição mais rapidamente (Fernandes, 1991). O poder calorífico superior é definido como a quantidade de calor gerado pela combustão completa da unidade de massa da amostra numa atmosfera com oxigénio numa bomba calorimétrica, assumindo que a humidade contida numa amostra e a água que se gera por combinações do hidrogénio ficam na forma líquida. A flamabilidade de uma espécie vegetal pode ser inferida do poder calorífico superior. O poder calorífico inferior pode ser calculado a partir do poder calorífico superior assumindo que a água formada e os produtos de combustão ficam na forma de vapor (Núñez-Regueira e outros, 2000). O conhecimento do poder calorífico inferior dá uma ideia da magnitude da intensidade de um fogo, chamada de intensidade de Byram. Torna-se um índice do espalhamento e da violência de um fogo. Este calor é usado igualmente para determinar a potência da biomassa para produção de energia limpa. Factores como o tipo e a quantidade de matéria-prima da biomassa, sua distribuição geográfica, a forma desejada de energia limpa, utilização final e requisitos, ou seja, as normas ambientais e as condições económicas introduzem limitações na sua sustentabilidade e escolha de processos alternativos como a fragmentação e deposição no solo da biomassa destróçada ou a sua queima, em vez do seu uso para fins energéticos

A compactação da biomassa florestal superficial, considerada neste trabalho como o dossel de arbustos e as herbáceas, pois na região estudada não se encontrou manta morta significativa, são indicadores da velocidade de propagação de um incêndio florestal superficial e da sua intensidade de reacção.

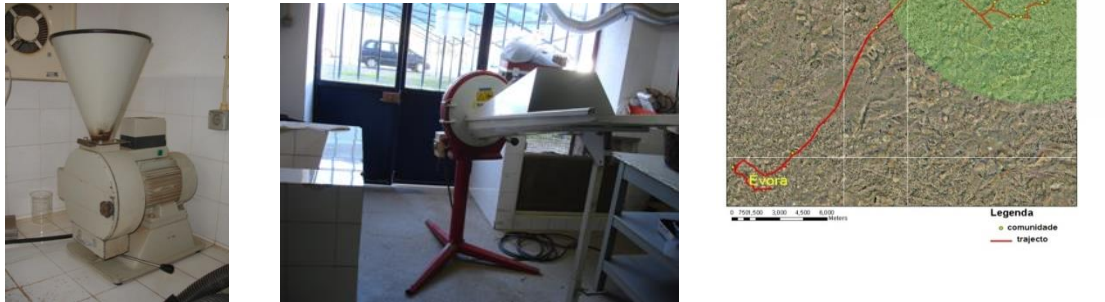
Esta pesquisa tem o objectivo de avaliar as características energéticas das principais espécies vegetais existentes no montado no distrito de Évora.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Colectou-se flora característica da região do Alentejo que nasce em comunidades bem definidas dentro e nas zonas limítrofes da Bacia da Pardiela no distrito de Évora. Estas comunidades de sub-bosque foram georreferenciadas em áreas de amostragem de 10 m<sup>2</sup> e foram recolhidas todas as espécies arbustivas, e a vegetação herbácea. A colecta foi feita em séries de 5 áreas amostrais de cada comunidade, num total de 55 amostras. A recolha decorreu no Outono de 2011. A colecta de ramos de árvores aconteceu no inverno do mesmo ano na herdade da universidade de Évora situada na Mitra.

Foi determinada a altura e a percentagem de coberto de cada espécie arbustiva e herbáceas dentro da área amostral, antes de se proceder ao corte raso. Depois, as amostras foram colocadas em sacos de plástico, pesadas e transportadas para o laboratório. As espécies arbustivas foram separadas em classes de tamanho, e a classe de tamanho inferior a 0,64 cm, foi composta por uma misturas de folhas, talos e ramos. Os ramos das diferentes espécies arbóreas colectados foram separados e considerou-se apenas a classe de tamanho inferior ou igual a 0,64 cm composta por folhas, talos e

ramos. Parte das amostras da classe fina ( $\leq 0,64$  cm) de todas as espécies estudadas, foram lavadas, secadas em estufa a 75°C, trituradas e crivadas com crivo de 0.5 mm para se efectuar a medição do seu poder calorífico. As herbáceas colectadas foram consideradas como uma classe de tamanho único e inferior a 0,64 cm e foram processadas segundo a mesma metodologia, Fig. 1.



**Figura 1.** Triturador de mato e moinho/triturador, usados para triturar as amostras das espécies colectadas nas diferentes comunidades de sub-bosque existentes nas herdades agro-silvo-pastoril no distrito de Évora. Comunidades de sub-bosque georreferenciadas com GPS.

Estas espécies colectadas habitam em comunidades homogéneas num sistema agro-silvo-pastoril denominado de Montado, constituído essencialmente por sobre (*Quercus suber*) e azinho (*Quercus ilex rotundifolia*) e voltado para a produção de cortiça (Pinto-Correia e outros., 2011). É neste sistema multifuncional em coexistência com zonas de sub-bosque que se colectaram as comunidades de espinhais de *Calicotome Villosa*, os carrascais de *Quercus coccifera*, os sargaçais de *Cistus salvifolius* e *Cistus crispus*, os estevais de *Cistus ladanifer*, o pionar de *Retama sphaerocarpa* e, dispersos ao longo de linhas de água, os tamargais de *Tamarix africana*, os silvados de *Rubus ulmifolius* e, onde existe uma grande diversidade de herbáceas de onde se destacam os juncais de *Juncus acutus*, os cardais de *Carlina corymbosa* e o baraçal de *Stipa gigantea*. Outras espécies arbóreas colectadas que coabitam estes sistemas de montado de sobre e de azinheira, formando povoados mistos, são pinheiro manso (*Pinus pinea*) o pinheiro bravo (*Pinus pinaster*) e o eucalipto (*Eucalyptus globulus*), Fig. 2.



## II Workshop (Bio)Energia

**Figura 2.** Localização das diferentes comunidades de espécies de sub-bosque colectadas nas herdades agro-silvo-pastoril no distrito de Évora, na Bacia da Pardiela.

A medição do poder calorífico de cada amostra das diferentes espécies trituradas, descritas em cima, foi feita com uma bomba calorimétrica IKA C-200 de acordo com o método CEN/TS 14918, 2005. Colocou-se cerca de 0.2 g da biomassa seca em estufa no cadinho onde se introduziu o fio de ignição e colocou-se este dentro do vaso de combustão da bomba calorimétrica, fechando-o de seguida hermeticamente.

Segundo Telmo & Lousada, 2011, o valor do poder calorífico inferior (LHV) a pressão constante pode ser derivado da diferença entre o valor de poder calorífico superior de base seca a volume constante (HHD), com o conteúdo em percentagem de hidrogénio,  $H_D$ , de oxigénio,  $O_D$ , da massa do combustível livre de humidade e do conteúdo em percentagem de nitrogénio,  $N_D$ :

$$LHV = HHD - 212.2 \times H_D - 0.8 \times (O_D + N_D) \quad \text{com HHD em MJ/kg} \quad (1)$$

Como a biomassa foi seca em estufa, foi-lhe retirada a humidade e o seu poder calorífico superior de base seca recebido durante a combustão, pode ser considerado como o poder calorífico superior (HHV), tornando-se assim a diferença entre o valor do poder calorífico inferior e o valor do poder calorífico superior dependente da composição química do combustível florestal, conforme indicado na equação 1.

De acordo com DD CEN/TS 14918 a composição química de bio-combustíveis sólidos, nomeadamente a percentagem de hidrogénio, oxigénio de nitrogénio é descrita na Tabela 1.

**Tabela 1.** Percentagem de hidrogénio,  $H$ , oxigénio,  $O$ , e nitrogénio,  $N$ , dos combustíveis florestais segundo DD CEN/TS 14918

	% H	% O	% N
Wood *	6.2	43.0	0.1
full trees	6.2	42.0	0.2
Cutting residues	6.1	41.0	0.5
Cortex	6.1	40.0	0.4
Bush	6.3	44.0	0.5

\* sem cortex e folha

e segundo Ragland & Aerst, 1991:

**Tabela 2.** Percentagem de carbono,  $C$ , hidrogénio,  $H$ , oxigénio,  $O$ , nitrogénio,  $N$ , de combustíveis florestais duros e macios (Ragland, 1991).

Elemento	Média de 11 madeiras duras	Média de 9 madeiras macias
C	50.2	52.7
H	6.2	6.3
O	43.5	40.8
N	0.1	0.2



a percentagem de carbono para espécies macias é de 50-53% e para as espécies duras de 47-50%. Todas as espécies contêm cerca de 6% de hidrogénio (Petura citado por Ragland, 1991). O conteúdo de oxigénio encontra-se entre 40 a 44% e o de nitrogénio entre 0.1-0.2%.

O poder calorífico superior é usado neste trabalho para inferir a flamabilidade das espécies florestais e o poder calorífico inferior poderá ser usado para determinar a potência da biomassa para produção de energia limpa, se se considerar apenas a carga por metro quadrado da biomassa mais fina, uma vez que as determinações do poder calorífico inferior foram feitas para a classe fina.

A utilização de biomassa para produzir energia é apenas uma forma de energia renovável que pode ser utilizada para reduzir o impacto da produção e utilização de energia sobre o ambiente global.

Do ponto de vista do sistema, o desempenho técnico-económico da produção de centrais de energia de biomassa é caracterizado pela eficiência de conversão de energia global, que determina a quantidade de biomassa necessária para uma dada potência e, ao mesmo tempo, é fortemente dependente da tecnologia adoptada e do tamanho da planta.

A planta é modelada por uma função de transferência entre a taxa de biomassa que chega à central  $M$  (unidade:  $t \text{ ano}^{-1}$ ) e a potência de energia eléctrica  $W$  (unidade: MW) que se cria (Caputo, 2005):

$$W = \frac{M \times \eta_e \times LHV}{3600 \times OH} \quad (2)$$

Sendo  $\eta_e$  a eficiência de conversão da energia do sistema (%),  $OH$  o número de horas de operação anual do sistema (aproximadamente igual a  $8000 \text{ h ano}^{-1}$ ) e  $LHV$  (unidade: kJ/kg) o valor de poder calorífico inferior da biomassa. A central termoeléctrica pertencente ao grupo Soprocél-Portosel, situada em Setúbal, central para onde deverá ser encaminhada a biomassa recolhida na região de Évora tem uma eficiência de conversão da energia do sistema, na central de cogeração, de 80% e, na central termoeléctrica de 27%. O complexo fabril da Portucél-Soprocél em Setúbal, termoeléctrica central de cogeração de ciclo combinado a gás natural e termoeléctrica a biomassa possui a capacidade de 12.5MW.

A intensidade de um fogo pode ser avaliada pelo modelo de intensidade de Byram (Van Wagner, 1974) em função do poder calorífico inferior (LHV) considerado como o calor de combustão, da carga do combustível consumido  $W_c$  (peso do combustível por unidade de área) e da velocidade de espalhamento do fogo florestal  $v$  :

$$I = (LHV) W_c v \quad (3)$$

A intensidade de reacção (Rothermel, 1972) de um fogo florestal é função da velocidade de reacção,  $I'$ , do peso seco do combustível por unidade de volume ocupado,  $W$ , do poder calorífico inferior,  $h$ , e dos coeficientes de amortecimento de humidade,  $\eta_m$  e mineral,  $\eta_s$  :

$$I_r = I' W h \eta_m \eta_s \quad (4)$$

As equações 3 e 4 fazem parte dos termos do modelo de espalhamento de fogo florestal de superfície de Rothermel, 1972. Para se poder fazer uma avaliação da intensidade de ambos os termos e dos descritos em baixo nas equações 5 e 6, procedeu-se à separação

em classes de tamanho, vivas ou mortas de acordo com os requisitos do modelo, secando-se as amostras em estufa de classe superior a 0,64 cm, a 105°C, e as inferiores a 75°C. Determinaram-se o peso seco por metro quadrado,  $\bar{W}_0$  (kg/m<sup>2</sup>), de cada espécie e o seu volume seguindo o método do deslocamento da água. Estes parâmetros e os determinados em campo serviram para calcular a densidade seca,  $\rho_p$ , de cada espécie a sua compactação,  $\beta$ , a compactação óptima,  $\beta_{op}$ , e a razão compactação versus compactação óptima:

$$\beta = \frac{1}{\sigma} \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left( \bar{W}_0 \right)_{ij}}{\left( \rho_p \right)_{ij}} \quad (5)$$

$$\beta_{op} = 3.348 \sigma^{-0.8189} \quad (6)$$

O quociente área da superfície pelo volume,  $\sigma$ , foi determinado para caules pouco lenhosos e folhas segundo Fujioka e Fujii (1980) e para caules mais lenhosos a partir de medições da área da superfície com recurso a um scâner digital HP Scanjet 4850 e a uma craveira. O volume do combustível nas diferentes classes mais lenhosas foi determinado segundo o método citado anteriormente.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O combustível florestal fino, menor que 0,64 cm, controla a propagação da frente de fogo num incêndio florestal (Rothermel, 1972), e a sua absorção de calor até que inflama, chamada de poder calorífico superior, tem uma relação directa com a capacidade térmica da planta derivada da constituição do seu tecido celular, com a quantidade de massa e por sua vez, com a sua densidade seca.

Os combustíveis florestais resultam de agrupamentos complexos de moléculas constituídos por celulose e hemiceluloses, lenhina, minerais e água. O processo de combustão envolve degradação térmica do combustível e oxidação dos produtos. A celulose e hemicelulose (holocelulose) têm baixo conteúdo de calor por causa do seu alto nível de oxidação e a lenhina e extractivos tem baixo grau de oxidação e alto conteúdo de calor de combustão (Shafizadeh citado por Katakai e Konwer, 2001).

As espécies arbustivas colectadas na região do distrito de Évora, foram comparadas com base num mesmo valor de massa (0.2 g) e apresentam valores de LHV e HHV determinado das suas partículas mais finas, compreendido entre 18643 kJ/kg e 20678 kJ/kg e 18657 kJ/kg e 20692 kJ/kg, respectivamente. O arbusto *Calicotome villosa* com valor de poder LHV de 20563 kJ/kg e HHV de 20577 kJ/kg, apresenta uma densidade seca na classe de diâmetro mais fina de 0,75 g/cm<sup>3</sup>, menor que as das outras espécies. A espécie arbórea, colectada, *Quercus ilex*, apresenta um valor menor de LHV de 19453 kJ/kg e de HHV de 19467 kJ/kg menor que o das outras espécies, mas apresenta uma densidade seca das suas partículas finas bastante elevada de 0,81 g/cm<sup>3</sup>, como se pode ver na Tabela 3.

## II Workshop (Bio)Energia

**Tabela 3.** Poder calorífico inferior (kJ/kg) e densidade seca (g/cm<sup>3</sup>) nas diversas classes de tamanho vivas e mortas das espécies arbustivas, herbáceas e arbóreas estudadas na no distrito de Évora.

	Poder calorífico		Densidade seca					
	LHV (Classe 1)	HHV (Classe 1)	Classe 1	Classe 2	Classe 3	1 hr	10 hr	100hr
<b>Arbustos</b>								
<i>Calicotome villosa</i>	20563	20577	0,75	0,85	0,85		0,76	0,85
<i>Tamarix africana</i>	19058	19071	0,92	0,91	0,87	0,80	0,77	0,74
<i>Ratama sphaerocarpa</i>	20678	20692	0,90	0,92	0,86		0,85	0,87
<i>Cistus ladanifer</i>	19383	19397	0,86	0,87	0,87		0,77	0,82
<i>Quercus coccifera</i>	19537	19551	0,87	0,94				
<i>Cistus salvifolius</i>	18643	18657	0,70					
<i>Cistus crispus</i>	18767	18781	0,60					
<i>Rubus ulmifolius</i>	19059	19073	0,83	0,88				
<b>Herbáceas</b>								
<i>Stipa gigantea e outras</i>	18439	18453	0,43					
<i>Juncus acutus</i>	17926	17940	0,52					
<i>Carlina corymbosa</i>	18005	18018	0,22					
<b>Árvores</b>								
<i>Pinus pinaster</i>	21643	21657	0,84					
<i>Pinus pinea</i>	20227	20240	0,69					
<i>Eucalyptus globulus</i>	21012	21025	0,74					
<i>Quercus ilex</i>	19453	19467	0,81					
<i>Quercus suber</i>	20503	20517	0,83					

A flamabilidade, ou a resistência que um combustível florestal possui para se opor ao fogo, ou seja, a capacidade de incendiar espontaneamente através da exposição a um aquecimento anormal e de propagar o fogo a outros combustíveis vizinhos mostra que quanto mais elevado é o seu valor menor é a resistência do combustível ao fogo, e mais rápido início da sua ignição (Núñez-Regueira, 2000).

Segundo o índice de risco de flamabilidade de Valette, as espécies do Montado que tem um flamabilidade baixa e não representam risco significativo para inflamarem as espécies vizinhas são as herbáceas, as que se inflamam e inflamam as outras espécies são os arbustos, *Tamarix africana*, os *Cistus ladanifer*, os *Cistus salvifolius*, os *Cistus crispus*, os *Rubus ulmifolius* e a árvore da espécie *Quercus ilex*. As que têm capacidade moderada de se inflamar e inflamar as outras espécies são os arbustos *Quercus coccifera* e as árvores *Pinus pinea* e *Eucalyptus globulus*. De alta flamabilidade, aparece o arbusto *Calicotome villosa* e *Quercus suber*, e de extrema flamabilidade a árvores da espécie *Pinus pinaster*, como se verifica na Tabela 4.

**Tabela 4.** Índice de risco de flamabilidade dos arbustos e árvores segundo Doat e Valette citado por Núñez-Regueira, 2000, inferido através do poder calorífico superior (kJ/kg).

Classe 1	HHV<18 500	flamabilidade baixa
Classe 2	18 500<HHV<19 500	flamabilidade
Classe 3	19 500<HHV<20 500	Flamabilidade moderada
Classe 4	20 500<HHV<21 500	Flamabilidade alta
Classe 5	HHV>21 500	Flamabilidade extrema

A compactação da biomassa é o espaçamento entre as partículas do combustível, que relaciona a percentagem de oxigénio disponível nos seus interstícios para a combustão e consequente aumento da intensidade do fogo e, sua velocidade de propagação, assim como, a sua taxa de secagem e consequente capacidade para ignição (Burgan e Rothermel, 1984). A compactação da biomassa tem expressão na camada mais próxima do solo, considerada como dossel de superfície. Devido às dimensões dos arbustos *Tamarix africana* e *Ratama sphaerocarpa* não são considerados pelo autor como combustíveis de superfície e por isso encontram-se ausentes na coluna da taxa de compactação na Tabela 5. Nesta tabela pode observar-se que a espécie *Cistus crispus* apresenta uma taxa de compactação de 0,102 %, cerca de 0,0282 % superior à dos outros arbustos. A *Carlina corymbosa* tem uma taxa de compactação de 0,131%, superior à das herbáceas estudadas e a *Stipa gigantea* e outras herbáceas possuem baixa taxa de compactação de 0,040%. O aumento da altura do dossel dos arbustos diminui a taxa de compactação, tornando o combustível florestal mais sensível ao vento e ao declive e tendendo a aumentar a velocidade de espalhamento do fogo de superfície. O aumento da altura do dossel aumenta a intensidade de reacção do fogo se o valor da taxa de compactação do dossel for superior ao valor óptimo, e diminui-a se for inferior. Ambos, velocidade de espalhamento e intensidade de reacção afectam a altura da chama num fogo florestal (Burgan e Rothermel, 1984, Burgan, 1987). No caso dos arbustos estudados, o valor da taxa de compactação óptima é superior ao valor da taxa de compactação do seu dossel como se pode ver na Tabela 6. Assim o aumento da altura do dossel dos arbustos não vai influenciar fortemente a intensidade de reacção de um fogo na região estudada. A propagação do fogo vai dar-se mais lentamente porque não

atinge um valor crítico efectivo da taxa de compactação que favoreça a ignição, razão por que apresentam valores muito baixos na região (Kessell e outros, Burgan e Rothermel (1984)).

A intensidade Byram de uma frente de fogo é medida pela taxa de produção de calor e da velocidade do seu deslocamento. Espécies com alto poder calorífico inferior aumentam a magnitude da intensidade de energia libertada pelo fogo numa frente, mas em zonas de maior densidade de sub-coberto, o combustível arde lentamente porque simplesmente há mais partículas para arder e a sua velocidade de propagação diminui (Burgan, 1987).

**Tabela 5.** Taxa de compactação do combustível de superfície (adimensional) e de óptima compactação ( $1/ft$  – seguindo o modelo de Rothermel 1972), altura média (m) das diferentes espécies do sub-bosque, peso seco da planta de cada espécie por metro quadrado e densidade seca média ( $g/cm^3$ ) de cada espécie de todas as comunidades de arbustos e herbáceas que foram colectadas.

Arbustos	Compactação	Óptima Compactação	Altura média	Peso seco /m <sup>2</sup>	Densidade seca média
<i>Calicotome villosa</i>	0,00074	0,0010	1,91	1,22	0,81
<i>Tamarix africana</i>			3,48	2,31	0,88
<i>Ratama sphaerocarpa</i>			2,61	1,46	0,89
<i>Cistus ladanifer</i>	0,00085	0,0024	1,66	1,09	0,85
<i>Quercus coccifera</i>	0,00066	0,0015	1,72	1,02	0,91
<i>Cistus salvifolius</i>	0,00068	0,0030	0,56	0,44	0,70
<i>Cistus crispus</i>	0,00102	0,0023	0,27	0,45	0,60
<i>Rubus ulmifolius</i>	0,00076	0,0015	2,20	1,41	0,84
<b>Herbáceas</b>					
<i>Stipa gigantea e outras</i>	0,00040	0,0082	0,57	0,09	0,43
<i>Juncus acutus</i>	0,00073	0,0171	1,23	0,48	0,52
<i>Carlina corymbosa</i>	0,00131	0,0119	0,58	0,15	0,22

**Tabela 6.** Razão entre a compactação (COM) e a óptima compactação (OCOMP) para a espécies estudadas.

Arbustos	COM/OCOMP
<i>Calicotome villosa</i>	0,78
<i>Cistus ladanifer</i>	0,35
<i>Quercus coccifera</i>	0,43
<i>Cistus salvifolius</i>	0,22
<i>Cistus crispus</i>	0,45
<i>Rubus ulmifolius</i>	0,52
<b>Herbáceas</b>	
<i>Stipa gigantea and other</i>	0,05
<i>Juncus acutus</i>	0,04
<i>Carlina corymbosa</i>	0,11

### 4. CONCLUSÕES

Os autores não puderam, neste artigo inferir pormenorizadamente as características energéticas das espécies estudadas para avaliar detalhadamente as suas relações, encontrando-se em curso a continuação dessas pesquisas, mas os resultados preliminares obtidos mostram uma relação interessante na capacidade de propagação de fogos de algumas espécies na região estudada, que poderá vir a ser explorada para pesquisas de gestão e ordenamento do território alentejano.

### 5. AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi suportada pelo projecto Altercexa e pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), e as análises apresentadas neste artigo foram feitas no laboratório de Pastagens e tecnologia de forragens da Universidade de Évora e no Centro de Investigación Agrícola de Extremadura, Agraria La Orden-Valdesequera, Guadajira, em Badajoz, Espanha.

### 6. BIBLIOGRAFIA

A. C. Caputo, M. Palumbo, P. M. Pelagagge, F. Scacchia (2005) *Economics of biomass energy utilization in combustion and gasification plants: effects of logistic variables*, Biomass and Bioenergy, Vol. 28, 35–51.

CEN/TS 14918 (2005) *Solid biofuels — method for the determination of calorific value*. European Committee for Standardization.

C. E. Van Wagner (1974) *Structure of the canadian forest fire weather index*, Department of the environment, Canadian Forestry Service, Publication No. 1333, Ottawa.

C. Telmo, J. Lousada. (2011) *Heating values of wood pellets from different species*, Biomass and bioenergy, Vol. 35, 2634-2639.

F. M. Fujioka, D. M. Fujii (1980) *Physical characteristics of selected fine fuels in Hawaii – some refinements on surface area-to-volume calculations*, United States Department of Agriculture, Forest Service, Research Note PSW-348.

F. Shafizadeh (1981) *Basic principles of direct combustion*. In: Sofer SS, Zabrosky OR, editors, Biomass conversion process for energy and fuels, New York: Plenum Press, 103-112.

J.Ch. Valette (1988) *Documentos del seminario sobre métodos y equipos para la prevención de incendios forestales*, ICONA, Madrid.

L. Núñez-Regueira, J. A. Rodríguez-Añón, J. Proupín -Castiñeiras (2000) Design of risk index maps as a tool to prevent forest fires in the humid Atlantic zone of Galicia (NW Spain), *Thermochimica Acta*, Vol. 349, 103-119

K. W. Ragland, D. J. Aerts (1991) *Properties of Wood for Combustion Analysis*, Bioresource Technology, Vol. 37, 161-168.

R. Katak, D. Konwer (2001) *Fuelwood characteristics of some indigenous woody species of north-east India*, Biomass and Bioenergy Vol. 20, 17-23.

- P.A.M. Fernandes (1991) *Caracterização do combustível florestal em ecossistemas de Pinus pinaster Ait.: Aplicação do Sistema Behave*, Relatório final de estágio, Licenciatura em Eng<sup>a</sup> Florestal, UTAD, Vila Real.
- R. C. Rothermel (1972) *A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels*, USDA Forest Service, Research Paper INT 115.
- R. C. Petura (1979) *Thermodynamic Data for Waste Incineration*, American Society of Mechanical Engineers, New York, 107-15.
- R. E. Burgan (1987) *Concepts and-interpreted examples in advanced fuel modeling*, Forest Service, General Technical Report INT-238.
- R. E. Burgan, R. C. Rothermel (1984) *BEHAVE: Fire behavior prediction and fuel modeling system - fuel subsystem*, National Wildfire Coordinating Group, PMS 439-1, NFES 0275.
- S. R. Kessell, M. W. Potter, C. D. Bevins, L. Bradshaw, B W. Jeske, *Analysis and Application of Forest Fuels Data*, Environmental Management, Vol, 2, No. 4, 347-363
- T. Pinto-Correia, N. Ribeiro, P. Sa´-Sousa (2011) *Introducing the montado, the cork and holm oak agroforestry system of Southern Portugal*, Agroforest Syst. Vol. 82, 99–104.

# FLORESTAS EM CLIMAS MEDITERRÂNICOS E BIOMASSA PARA ENERGIA: UM CASO DE ESTUDO PARA O PINHEIRO BRAVO

A.C. Gonçalves<sup>1</sup>, A. Sousa<sup>1</sup>, J.R.M. Silva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ICAAM - Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas, Universidade de Évora, Núcleo da Mitra, Apartado 94, 7002-554 Évora, Portugal. E-mail: acag@uevora.pt

### Resumo

Os sistemas florestais mediterrânicos são caracterizados por um conjunto de espécies restrito, adaptadas às características edáficas e climáticas. Em Portugal a área florestal aumentou até meados do século passado, tendo posteriormente estabilizado. As operações culturais e de regeneração geram um conjunto de resíduos que podem ser aproveitados de duas formas, uma com o seu destroçamento com ou sem incorporação no solo, para a manutenção do potencial produtivo do solo e outra com a sua remoção do povoamento e utilização para fins energéticos. Neste artigo analisa-se a utilização de intervenções silvícolas para estimar a quantidade de resíduos produzidos e a quantidade disponível para fins energéticos. Os resultados indicam que para um modelo de silvicultura para povoamentos puros regulares de pinheiro bravo se poderá utilizar para fins energéticos entre cerca de 30% do valor total da biomassa produzida e as intervenções culturais para um caso de estudo para a mesma espécie indicam que a proporção de resíduos removida é inferior à do modelo, dada a menor densidade dos povoamentos.

**Palavras Chave:** Florestas, biomassa, silvicultura.

### Abstract

Mediterranean forest systems are characterized by a restrict set of forest species, adapted to the edaphic and climatic conditions. In Portugal the forest area increased until the middle of the last century, having stabilised after. The cultural and regeneration interventions generate residues that can be used in two different ways, one by chipping, with or without incorporation in the soil, to maintain the soil productive potential and the other with their removal from the stand and their use to produce energy. In this paper the silvicultural interventions are used to predict the quantity of residues produced and the quantity available for the production of energy. The results indicate for a model of silviculture for pure even-aged stands of maritime pine that 30% of the total biomass produced could be used for energy production and the cultural interventions for a study case for the same species indicate that the proportion of residues removed is smaller when compared to the one of the model, due to the smaller density of the stands.

**Key words:** Forests, biomass, silviculture.



### 1. INTRODUÇÃO

Até ao final do século XIX são poucas as informações concretas acerca da composição e distribuição da floresta em Portugal. Os primeiros inventários florestais realizados no século XIX indicam uma ocupação florestal reduzida e uma grande proporção de incultos, com as formações de carvalhos a ocuparem 2/3 da área florestal. Desde essa data tem-se observado o aumento progressivo da área florestal, fundamentalmente pela ocupação dos terrenos incultos, sem vocação agrícola (Alves et al., 2012; Fabião, 1996). Até aos anos 90 do século XX verificou-se um aumento da área de ocupação para quase todas as espécies, com destaque para o aumento da área de pinheiro bravo no início e do eucalipto na década 60. A partir dos meados do século passado observa-se a estabilização da área florestal entre os 35-40%. De acordo com o 5º inventário florestal nacional (IFN5, 2010) a floresta representa 39% do uso do solo em Portugal continental, enquanto os incultos, agricultura, águas interiores e outros usos representam 22%, 33%, 2% e 5%, respetivamente. Em relação ao uso florestal, a área ocupada por povoamentos para a espécie dominante reparte-se do seguinte modo: 28% pinheiro bravo, 23% eucalipto, 23% sobreiro, 13% azinheira, 5% carvalhos, 4% pinheiro manso, 1% castanheiro, outras folhosas.

A biomassa florestal é definida como a fração biodegradável dos produtos e desperdícios da atividade florestal. Inclui apenas o material resultante de operações de gestão dos combustíveis, das operações de condução (p. e. limpezas, desbastes, desramações e podas) e da exploração dos povoamentos florestais (p. e. ramos, bicadas, cepos, folhas, raízes, cascas) e resíduos florestais como as sobras de material que resultam da transformação da matéria-prima em produtos florestais na indústria, excluindo a estilha (feita diretamente na floresta ou não) e as partículas, mas incluindo retestos, costaneiras, cerne de folheados, serrim, resíduos de carpintaria e de mobiliário (Sousa, 2011).

A biomassa total foi quantificada no IFN5 (2010), quer a quantidade total de biomassa pelos acréscimos médios anuais quer a biomassa média por hectare por espécie. Estes valores representam o potencial produtivo do povoamento, estando disponível para fins energéticos uma pequena parte. Por outro lado, a exploração de biomassa para energia deverá ter em conta a sustentabilidade do sistema quer a produtiva quer a económica, nomeadamente os fatores limitantes ao nível da exploração (p.e relevo), ambientais (p.e. tipo de solo) e económicos (p.e. exploração muito onerosa). Sousa (2011) refere que a biomassa que pode ser utilizada para fins energéticos corresponde a cerca de 35% do valor do potencial produtivo da biomassa total.

A produção de biomassa para fins energéticos tem como principal origem as práticas silvícolas de corte, sejam limpezas, desbastes ou cortes de realização. Permitem a valorização de uma componente sem valor comercial, ou seja os produtos de pequenas dimensões sem valor para a indústria florestal (Smith et al., 1997; Boudru, 1992; Schütz, 1990; Assmann, 1970). No entanto, a exportação de todos os materiais de pequenas dimensões pode resultar numa exportação considerável de elementos minerais e, conseqüentemente, originar a redução do potencial produtivo da estação (Smith et al., 1997; Boudru, 1992). Há então que encontrar práticas de gestão florestal e modelos de silvicultura, que otimizem a valorização dos resíduos minimizando os impactos na estação.

Os objetivos deste estudo são a avaliação da biomassa produzida e qual a proporção que poderá ser usada para fins energéticos para um modelo de silvicultura para povoamentos

puros, regulares de pinheiro bravo; e a comparação dos valores obtidos pelo modelo e os resultantes de intervenções culturais em parcelas de inventário.

### 2. MATERIAL E MÉTODOS

Na estimativa da proporção de biomassa utilizável para produção de energia foram consideradas duas abordagens: uma em que se quantifica a partir de um caso teórico em função de um modelo de silvicultura e outra com a quantificação a partir de uma base de dados de um inventário.

No primeiro caso optou-se por utilizar o modelo de silvicultura de Oliveira et al. (2000) para povoamentos puros regulares de pinheiro bravo regulares, com termo de explorabilidade aos 45 anos, cuja produção principal é madeira para desenrolamento e folha. Neste modelo de silvicultura sugere-se a instalação por plantação com um compasso de 4x2 m ou 3x2 m, correspondendo a uma densidade entre 1250 e 1670 arv/ha e as operações silvícolas indicadas no quadro 1. Para este estudo considerou-se a instalação de 1500 plantas por hectare, uma limpeza com a redução de densidade para 1125 arv/ha; duas desramações, a primeira entre os 10-15 anos, em todas as árvores até 2 m de altura, e a segunda em 500 árvores até 4 m de altura; três desbastes o primeiro com a remoção de 35% do número de árvores, e o segundo e o terceiro com a remoção de 25%; e o corte final aos 45 anos.

*Quadro 1 - Modelo de silvicultura para povoamentos puros regulares de pinheiro bravo de Oliveira et al. (2000).*

Idade	Densidade	Intervenção	Observações
0-2	1250-1670	Plantação/sementeira	Retanchar, se necessário
0-10	1000-1200	Controlo de vegetação espontânea	2 ou 3, em função do desenvolvimento da vegetação
		Limpezas	Em número variável
10-15		1ª desramação	Todas as árvores, até uma altura de 2 m
15-20		1º desbaste pelo baixo	Remoção de 20-40% do número de árvores
		2ª desramação	As melhores árvores, 300-500, até 3-4 m de altura
25-30		2º desbaste misto	Remoção de 20-30% do número de árvores
35-40		3º desbaste misto	Remoção de 20-30% do número de árvores
40-45	300-500	Corte final	

Utilizou-se o programa Pbravo 2.0 (Páscoa, 2001) para simular o desenvolvimento do povoamento em função do modelo descrito acima. A biomassa foi calculada com base nas funções alométricas do IFN5 (2010), para a biomassa do fuste ( $w_s$ , 1), dos ramos ( $w_{br}$ , 2), das folhas ( $w_l$ , 3) e total ( $w_a$ , 4). A biomassa por hectare para cada uma das quatro componentes anteriores é somatório da biomassa de todas as árvores que existem no povoamento, reportado ao hectare.

$$w_s = 0,0146 \times d^{1,94687} \times h^{1,106577} \quad (1)$$

$$wbr = 0,0308 \times d^{2,75761} \times \left(\frac{h}{d}\right)^{-0,39381} \quad (2)$$

$$wl = 0,09980 \times d^{1,39252} \times \left(\frac{h}{d}\right)^{0,71962} \quad (3)$$

$$wa = ws + wbr + wl \quad (4)$$

Considerou-se, nas práticas culturais e no corte final, que os resíduos utilizáveis para energia seriam: nas desramações 30% da biomassa dos ramos e das agulhas; no primeiro e segundo desbaste 100% da biomassa do fuste e dos ramos, no terceiro desbaste 35% da biomassa do fuste e dos ramos e no corte final 15% da biomassa total.

No segundo caso a base de dados teve origem num inventário florestal na Herdade de Pinheiro da Cruz (em aproximadamente 1000 ha), localizada no concelho de Grândola, freguesia do Carvalhal, cuja ocupação predominantemente florestal, e cuja espécie principal é o pinheiro bravo (*Pinus pinaster*). O trabalho preparatório do inventário consistiu na classificação de uma imagem do satélite QuickBird, da Digital Globe, com identificação da área de pinheiro bravo puro. A imagem foi adquirida no modo “Pan-Sharpned” correspondendo à fusão da banda pancromática com as 4 bandas espectrais, b1-azul (0,45-0,52  $\mu\text{m}$ ), b2-verde (0,52-0,60 $\mu\text{m}$ ), b3-vermelho (V) (0,63-0,69 $\mu\text{m}$ ) e b4-infravermelho próximo (IVP) (0,76-0,90 $\mu\text{m}$ ), resultando as 4 bandas com uma resolução espacial de 0,70 metros e resolução radiométrica de 16 bits.

Primeiro realizou-se a ortorectificação e a correção geométrica da imagem. Em seguida foi calculado o índice de vegetação de diferenças normalizadas (NDVI= (IVP – V)/(IVP+V)), obtido com base nas bandas do infravermelho próximo (IVP) e do vermelho (V) (Tucker, 1979). Com base neste índice obteve-se uma máscara de vegetação utilizando-se o método de segmentação multiresolução. Sobre a máscara de vegetação realizou-se a classificação identificando as áreas de pinheiro bravo, com o método do vizinho mais próximo. Este processamento da imagem foi realizado no programa ENVI (versão 4.8) e Definiens Developer (versão 8.0.1).

A área em estudo foi dividida numa malha quadrada de 22,4x22,4 m, em que cada malha foi classificada em função do grau de coberto usando ArcCatalog and ArcMap software (version 9.3), de Environmental Systems Research Institute, Inc. (ESRI). As malhas puras foram divididas em 3 estratos em função do grau de coberto: i) 10-40%; ii) 40-60% e iii) >60%. Foi usada uma amostragem estratificada casual proporcional para seleccionar as parcelas de inventário.

A base de dados é composta por 65 parcelas temporárias, medidas em setembro de 2011, com um número total de indivíduos de 985. O povoamento principal foi definido como todos os indivíduos com diâmetro à altura do peito superior a 5 cm. Nas parcelas foram medidos, em todas as árvores, o diâmetro à altura do peito, a altura total, os raios de copa nas direções norte, sul, este e oeste (Avery e Burkhart, 1994). Em todas as parcelas foi determinado o número de árvores por hectare (N), a área basal por hectare (G), o grau de coberto (GC) e a biomassa por hectare com as equações 1, 2, 3 e 4.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das estimativas da biomassa do fuste, dos ramos, das agulhas e total, ao longo da revolução para o modelo de silvicultura de Oliveira et al. (2000) são apresentados no quadro 2. A biomassa total acumulada até ao termo da revolução corresponde à soma da biomassa área aos 45 anos, da limpeza e dos três desbastes. Nas intervenções silvícolas foi removido um total de 66,7  $\text{tha}^{-1}$  de biomassa utilizável para fins energéticos, repartida da seguinte forma: i) limpeza, remoção de 375  $\text{arv}\cdot\text{ha}^{-1}$ , correspondendo a 0,5  $\text{tha}^{-1}$ ; ii) desramação, nas duas intervenções de 731  $\text{arv}\cdot\text{ha}^{-1}$  e 500  $\text{arv}\cdot\text{ha}^{-1}$ , correspondendo a 1,6  $\text{tha}^{-1}$  e 3,9  $\text{tha}^{-1}$ , respetivamente; iii) desbaste, nas três intervenções removeram-se 394  $\text{arv}\cdot\text{ha}^{-1}$ , 183  $\text{arv}\cdot\text{ha}^{-1}$  e 137  $\text{arv}\cdot\text{ha}^{-1}$ , correspondendo a 9,5  $\text{tha}^{-1}$ , 18,0  $\text{tha}^{-1}$  e 10,2  $\text{tha}^{-1}$ ; iv) corte final, 411  $\text{arv}\cdot\text{ha}^{-1}$ , correspondendo a 23,0  $\text{arv}\cdot\text{ha}^{-1}$ . O total de biomassa aérea aos 45 anos é de 212,2  $\text{tha}^{-1}$ , correspondendo a biomassa utilizável para fins energéticos a 31%, em concordância com o valor indicado por Sousa (2011).

*Quadro 2 - Parâmetros de densidade e biomassa para o primeiro caso.*

Idade (anos)	Intervenção	N (arv/ha)	G (m <sup>2</sup> /ha)	ws (t)	wbr (t)	wl (t)	wa (t)
10		1125	5,6	4,9	2,6	1,0	8,5
15		1125	13,8	21,1	7,4	2,3	30,8
15	Desbaste	731	9,0	14,3	4,7	1,5	20,5
20		731	16,1	33,7	10,0	2,4	46,1
25		731	23,3	57,6	16,5	3,1	77,3
25	Desbaste	548	17,5	44,2	12,0	2,4	58,6
30		548	23,7	67,1	18,5	2,9	88,5
35		548	29,8	92,2	26,0	3,3	121,6
35	Desbaste	411	22,3	70,7	19,2	2,5	92,4
40		411	27,6	93,8	26,7	2,9	123,4
45		411	32,7	116,3	34,1	3,1	153,5

Para todas as parcelas da Herdade de Pinheiro da Cruz foi efetuada a análise da estrutura, que indicou a necessidade de intervenções de desramação e desbaste em 18 parcelas, desbaste em 2 parcelas e de desramação em 18 parcelas. Para a estimativa da biomassa para energia foram usados os critérios indicados no primeiro caso para a desramação. Como se pode observar no quadro 3 as parcelas têm densidades relativamente baixas; áreas basais pequenas, indicativas de povoamentos jovens; e grau de coberto característico da densidade e da dimensão dos indivíduos. A biomassa total, dados os três parâmetros gerais de densidade, é por isso relativamente reduzida. A biomassa de resíduos, correspondente essencialmente a resíduos de desramação, exceto na parcela Pb 2, varia entre 8% e 12%. Na parcela Pb 2 sugere-se uma intervenção de desbaste com a remoção de 50% dos indivíduos, que embora seja um valor mais elevado para o primeiro desbaste no modelo de silvicultura descrito, se justifica pela ausência da limpeza e pela presença de muitas árvores com más conformações e na Pb 12 com a remoção de 20% dos indivíduos para remover os pés muito mal conformados.

*Quadro 3 - Parâmetros de densidade absoluta e de biomassa para o segundo caso.*

Parcela	N (arv/ha)	G (m <sup>2</sup> /ha)	GC (%)	Biomassa (tha <sup>-1</sup> )			
				Aérea (t/ha)	Lenho (t/ha)	Resíduos (t/ha)	Resíduos (%)
Pb 1	219	4,0	14,8	9,4	8,6	0,9	9
Pb 2	1435	12,1	50,5	25,7	16,4	9,4	36
Pb 3	239	5,5	40,2	13,9	12,2	1,6	12
Pb 4	140	5,5	24,7	19,8	17,9	1,9	10
Pb 5	120	1,2	6,9	2,3	2,1	0,2	10
Pb 6	279	9,2	38,6	30,6	28,1	2,5	8
Pb 7	299	6,3	23,5	17,0	15,8	1,2	7
Pb 8	199	6,2	22,9	18,7	16,9	1,8	10
Pb 9	279	8,6	30,6	29,1	26,6	2,4	8
Pb 10	399	7,5	36,4	20,6	19,3	1,3	6
Pb 11	299	7,6	26,1	25,2	24,1	1,1	4
Pb 12	419	8,3	26,3	24,5	21,6	2,9	12
Pb 13	179	3,8	16,0	10,3	9,5	0,8	8
Pb 14	319	6,7	36,6	18,6	17,1	1,5	8
Pb 15	239	6,6	32,6	19,9	18,9	1,0	5
Pb 16	299	6,9	20,1	22,0	20,5	1,6	7
Pb 17	319	7,2	32,6	20,5	19,5	1,0	5
Pb 18	299	6,7	24,8	21,4	19,8	1,6	7

#### 4. CONCLUSÕES

Dos resultados apresentados ressalta que no primeiro caso a produção média anual de resíduos será de 1,5 tha<sup>-1</sup> e a estimativa dos resíduos para as parcelas do segundo caso apresenta para a maioria das parcelas valores bastante inferiores aos indicados por Sousa (2011), correspondendo a 1,9 tha<sup>-1</sup>. Os resíduos de desramação serão 1,4 tha<sup>-1</sup>, inferiores aos do primeiro caso, com 1,6 tha<sup>-1</sup> para a primeira desramação, dada a diferença de densidade das parcelas em relação ao modelo de silvicultura considerado. Para o desbaste parcela Pb 2 dado que não foi sujeita a limpezas, apresenta, como seria de esperar, um valor inferior (8,0 tha<sup>-1</sup>) ao do primeiro caso (9,5 tha<sup>-1</sup>), assim como a Pb 12 (1,4 tha<sup>-1</sup>) dado que se optou por um grau de desbaste inferior ao primeiro caso e uma vez que o desbaste é pelo baixo, removendo preferencialmente os indivíduos de menores dimensões. Considerando, no segundo caso, a evolução destes povoamentos jovens com uma acumulação crescente de biomassa, tanto maior quanto mais velho for o povoamento (Cfr. quadro 2), potencialmente não haverá tendência para a perda de potencial produtivo da estação.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Estabelecimento Prisional de Pinheiro da Cruz e à Dra. Adélia Palma a permissão para a instalação e medição das parcelas, e aos Eng.ªs Carla Ramos, Pedro Antunes e David Gomes pela sua ajuda nas medições de campo. Os autores agradecem ao Programa Operativo de Cooperação Transfronteiriço Espanha - Portugal (POCTEP), que financiou o projecto Altercexa - Medidas de Adaptación y Mitigación del Cambio Climático a Través del Impulso de las Energías Alternativas en Centro, Alentejo y Extremadura, no âmbito do qual este estudo foi desenvolvido. (Ref<sup>a</sup> 0317\_Altercexa\_4\_E).

### 6. BIBLIOGRAFIA

Alves A. A. M., Pereira J. S., Correia A. V. (2012) *Silvicultura. A gestão dos ecossistemas florestais*. Fundação Calouste Gulbenkian.

Assmann E. (1970) *The principles of forest yield study*. Pergamon Press. (trad. por Sabine H. Gardiner).

Avery T. E., Burkhardt, H. E. (1994) *Measurements*. 4ª edição. Macgraw-Hill, Inc.

Boudru M. (1989) *Forêt et Sylviculture. Le traitement des forêts*. Tome 2. Presses Agronomiques de Gembloux.

Boudru M. (1992) *Forêt et Sylviculture. Boisements te reboisements artificieles*. Tome 3. Presses Agronomiques de Gembloux.

Fabião A. (1996) *Árvores e Florestas*. 2ª Edição. Publicações Europa-America.

IFN5 (2010). *Inventário Florestal Nacional. IFN5 2005–2006. Portugal Continental*. Autoridade Florestal Nacional, Lisboa, Portugal.

Nieva, D. J. V., Amoedo R. D., Torres, L. O. (2010) *Manual de Cultivos Energéticos*. Escuela de Ingeniería Forestal. Universidade Vigo.

Oliveira A. C. (1984) *Teoria da produção florestal*. 2ª Edição. CEF. Lisboa.

Oliveira A. C., Pereira J. S.; Correia A. V. (2000) *A silvicultura do pinheiro bravo*. Centro Pinus.

Páscoa F. (2001) *Pbravo v.2.0. Modelo de Produção para o Pinheiro Bravo*. PAMAF Medida 4, Acção 3 (Divulgação). Federação dos Produtores Florestais de Portugal. Aplicação Informática e Manual do Utilizador.

Schütz J. P. (1990) *Sylviculture I. Principes d'éducation des forêts*. Collection Gérer L'environnement, nº 3. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes.

Smith D. M., Larson B. C., Kelty M. J., Ashton P. M. S. (1997) *The practice of silviculture. Applied forest ecology*. 9<sup>th</sup> Edition. John Wiley & Sons, Inc.

Sousa C. (2011) *Biomassa florestal: oportunidade e valor*. Revista da Associação Nacional de empresas Florestais, Agrícolas e do Ambiente, vol. 11, 4-5 pp.

Tucker. C.J. (1979) Red and photographic infra-red linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, vol. 8, n. 2, 127-150 pp.

# BIOCOMBUSTÍVEIS: UMA OPORTUNIDADE OU UM PROBLEMA PARA PORTUGAL

F. Gírio<sup>1\*</sup>, R. Bogel-Lukasik<sup>1</sup>, C. Matos<sup>1</sup>, C. Oliveira<sup>1</sup>, L. Silva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> LNEG, Unidade de Bioenergia, Portugal. E-mail: francisco.girio@lneg.pt

### Resumo

Apresenta-se nesta curta comunicação a problemática referente à introdução dos biocombustíveis nos transportes em Portugal na sequência da transposição para a legislação nacional das diferentes diretivas europeias (2003 e 2009). A produção de biocombustíveis em território nacional tem vindo a aumentar na sequência da política nacional de promoção dos mesmos embora as matérias-primas utilizadas (oleaginosas) sejam praticamente todas importadas com exceção do uso de matérias residuais. Particular atenção é dedicada aos dois critérios de sustentabilidade obrigatórios para que um dado biocombustível seja considerado “produzido de forma sustentável”, abordando-se ainda a problemática das alterações indiretas do uso da terra (ILUC) na sequência da recente proposta da Comissão Europeia em rever a atual diretiva nesta matéria.

### Abstract

In this short article the main goal is to highlight the main policy issues concerning the introduction of biofuels in the Portuguese transportation sector as direct consequence of the different european directives (2003 and 2009). The production of biofuels in Portugal has been increasing although their raw materials (oleaginous) are nearly all imported from abroad being wastes the exception. Special focus is paid to the two mandatory sustainability criteria for the production of sustainable biofuels as well as the issue of the indirect land use changes (ILUC).

**Palavras Chave: Biodiesel; Bioetanol; ILUC; Biocombustíveis Avançados; GEE**

## 1. A PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS EM PORTUGAL

Portugal iniciou a sua produção de biocombustíveis líquidos (biodiesel FAME) em 2005 e incentivou a criação de um aglomerado de empresas nacionais produtoras de biodiesel. Em 2012, a produção total nacional foi cerca de 300.000 ton, correspondente a 48% da capacidade total instalada (Tabela 1).

*Tabela 1. Capacidade instalada de produção de biodiesel FAME em Portugal em 2012.*

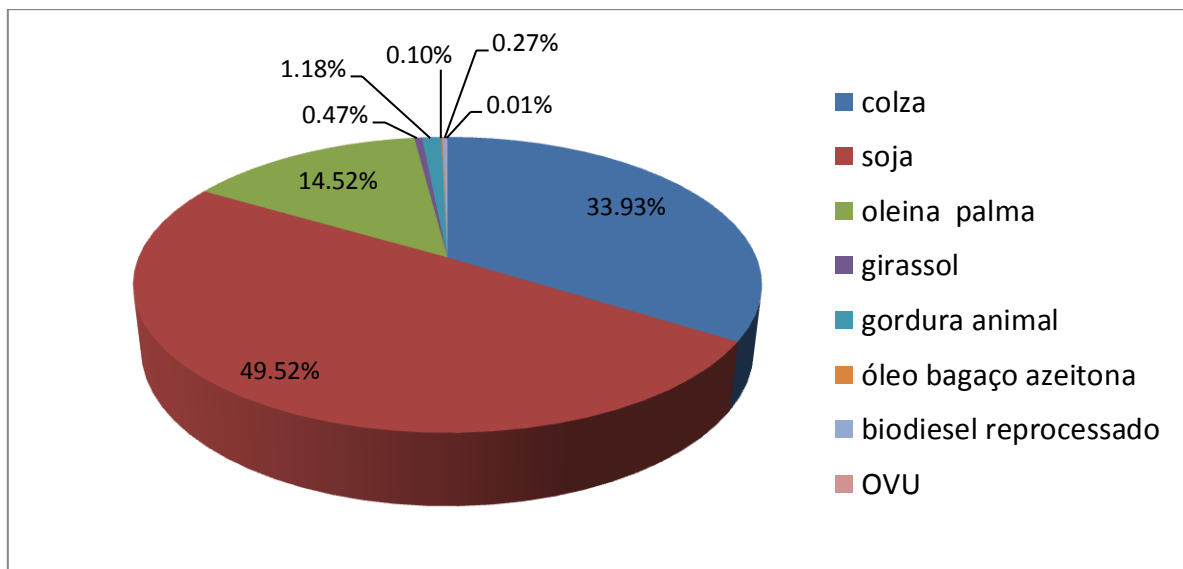
Produtor de Biodiesel	Capac. Instalada (ton/ano)	Início de atividade
Iberol	120.000	2006
Torrejana	109.500	2005
Prio-Biocombustíveis	100.000	2007
Biogevetal	120.000	2007
Sovena	95.000	2008
Valouro	50.000	2011
Biopordiesel	31.536	2011
<b>total</b>	<b>626.036</b>	

O biodiesel comercializado em Portugal por estas empresas é um éster metílico de ácidos gordos (FAME) que se obtêm a partir da transesterificação com metanol de óleos vegetais puros provenientes de soja, colza, girassol ou palma.

Para além destes produtores, existem ainda no mercado mais quinze pequenos produtores dedicados (PPD's) de biocombustíveis substitutos de gasóleo em atividade no final de 2012, sendo responsáveis por cerca de 1,5 % da produção total de biocombustíveis em Portugal. As matérias-primas utilizadas por estes PPD's foram exclusivamente matérias residuais derivados de óleos vegetais e animais. Estes pequenos produtores encontram-se isentos de pagamento de impostos especiais de consumo (IEC), mas não podem disponibilizar diretamente esses biocombustíveis em venda livre mas apenas, sob contrato, com frotas dedicadas.

### 2. AS MATÉRIAS PRIMAS

A falta de competitividade da agricultura nacional não permite que Portugal aproveite a geração atual de biocombustíveis integrando toda a cadeia de valor em Portugal. A produção nacional de matérias-primas para biocombustíveis restringe-se atualmente às matérias residuais sendo que 98% do total de biocombustíveis produzidos recorrem à importação de soja, colza, girassol e palma, quer sob a forma de grãos quer sob a forma de óleo (**Fig. 1**).



*Figura 1. Óleos vegetais utilizados em 2012 para produção de biodiesel (fonte: LNEG-ECS)*

### 3. AS DIRETIVAS EUROPEIAS DE BIOCOMBUSTÍVEIS

Entre 2005 e 2010 a produção nacional de biocombustíveis decorreu da transposição das Diretivas Europeias de 2003 que incentivavam os Estados-Membros a atingir 2010 com uma quota de 5,75% de substituição dos combustíveis fósseis no setor transportador. Esses incentivos eram de natureza fiscal, nomeadamente através de isenções parciais ou totais de imposto sobre os produtos petrolíferos (ISP) aos biocombustíveis.



Devido, entre outras causas, à dieselização do seu setor transportador, Portugal privilegiou a introdução do biodiesel concedendo-lhe uma isenção parcial de ISP (0,28 €/litro) até ao limite das quotas anuais atribuídas aos produtores de biodiesel para a substituição do gasóleo por biodiesel, desde 2007.

Durante este período, os países europeus em geral, incentivaram a introdução dos biocombustíveis no setor transportador rodoviário com os seguintes objetivos:

- 1) Contribuir para a redução das emissões de gases com efeito de estufa (GEE) no setor transportador europeu
- 2) Contribuir para a diversificação das fontes energéticas (segurança de abastecimento)
- 3) Contribuir para a promoção do setor rural, através do surgimento de um novo mercado (energético) para as matérias-primas agrícolas (cereais e oleaginosas) na Europa.

Esta política dava por adquirido o efeito ambiental positivo dos biocombustíveis, quaisquer que eles fossem e independentemente da forma como eram produzidos, levando os consumidores e não-consumidores europeus a subsidiarem a política europeia de introdução dos biocombustíveis no setor rodoviário através dos seus impostos.

Entretanto, em 2007/2008 ocorreu uma subida generalizada no preço das matérias-primas alimentares (soja, cereais, etc) levando a opinião pública europeia, influenciada pelos fazedores de opinião e pela imprensa, a interrogar-se sobre o papel potencialmente negativo dos biocombustíveis no preço dos bens alimentares devido ao desvio de parte dos cereais e oleaginosas para o mercado energético.

Sabemos hoje, que a contribuição dos biocombustíveis em 2007/2008 para a subida generalizada dos preços das matérias-primas alimentares foi insignificante (entre 2 e 4%) mas, a desconfiança da opinião pública estava instalada e levou a que a UE, sob proposta da Comissão Europeia, revesse a política de biocombustíveis o que veio a acontecer com a publicação da atual Directiva 2009/28/EC.

Esta Directiva veio definir critérios de sustentabilidade associados a uma meta obrigatória de 10% de substituição dos combustíveis fósseis por fontes renováveis, em 2020. Todos os biocombustíveis produzidos para serem considerados sustentáveis e elegíveis para as contribuições nacionais para a meta dos 10%, teriam que reduzir no mínimo em 35% a emissão de GEE, sendo que esse valor subiria para 50% a partir de 2017 e para 60% a partir de 2018. A Directiva introduziu ainda um mecanismo de dupla contagem para promoção de tecnologias mais sustentáveis (segunda geração ou avançadas) com o objetivo de promover a mudança tecnológica da atual primeira geração para as gerações seguintes.

Os resíduos (ex. Óleos Alimentares Usados, gorduras animais) se utilizados para produzir biocombustíveis teriam igualmente dupla contagem, pois não competiriam com as matérias-primas alimentares.

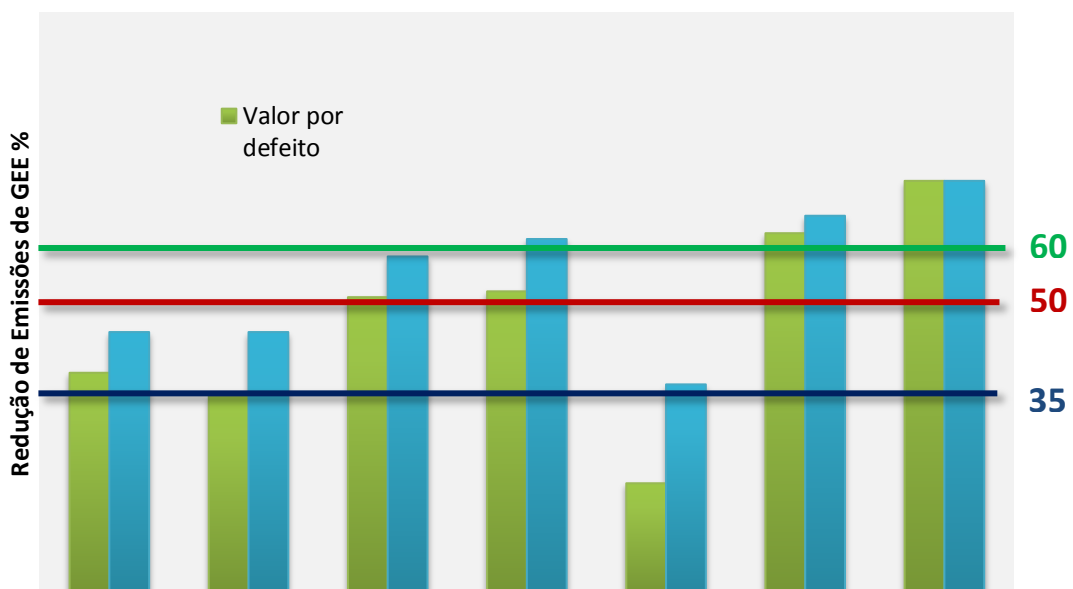
Portugal transpôs esta Directiva na parte que diz respeito aos biocombustíveis através do DL n° 117/2010 de 25 de Outubro, introduzindo um esquema de emissão de Títulos de Biocombustível (TdB) para aqueles que fossem considerados sustentáveis através da monitorização do cumprimento dos critérios de sustentabilidade por um “sistema nacional” a criar.

Esse sistema nacional entrou em vigor a 4 de janeiro de 2012 com a publicação da Portaria nº 8/2012, atribuindo ao LNEG competências de entidade responsável pelo sistema nacional.

#### 4. AS EMISSÕES DE GASES COM EFEITO DE ESTUFA

Com a entrada em vigor da Directiva 2009/28/EC, que introduz limiares mínimos de redução das emissões de GEE pelos biocombustíveis, o tipo de biocombustíveis, as matérias-primas de origem e as tecnologias associadas passam a ser importantes na contabilização do biocombustível para a meta dos 10%, uma vez que todo o ciclo de vida do biocombustível conta em termos de cálculo de emissões de GEE.

Os biocombustíveis de primeira geração, derivados de oleaginosas e cereais, dificilmente atingirão reduções de GEE acima de 60%, o que significa que a médio-prazo, depois de 1 de janeiro de 2018, dificilmente continuarão no mercado por não serem sustentáveis de acordo com a Directiva europeia (**Fig. 2**).



*Figura 2 – Valores por defeito e valores típicos de redução de emissões de GEE de vários biocombustíveis de primeira geração, segundo a Directiva europeia 2009/28/EC.*

#### 5. O EFEITO DO USO DOS SOLOS

Para além das emissões de GEE, existe um outro critério de sustentabilidade que todos os biocombustíveis necessitam de cumprir para serem classificados como sustentáveis pela Directiva. Esse critério é o uso dos solos, ou seja, não podem ser utilizados solos ricos em biodiversidade (ex. florestas primárias, terrenos de pastagens) ou solos

possuidores de elevados teores de carbono (ex. regiões húmidas, regiões continuamente arborizadas ou turfeiras).

Esta restrição é conhecida como Efeito Directo do Uso do Solo (DLUC) e visa proteger os habitats naturais e outras regiões ecologicamente sensíveis, de forma que não sejam alteradas devido à necessidade de solos adicionais para cultivo de matérias-primas para energia.

Por outro lado, são penalizados, através da contabilização anual, durante 20 anos, o acréscimo de emissões de CO<sub>2</sub>/MJ biocombustível provenientes de alterações do uso dos solos se estas tiverem ocorrido depois de janeiro de 2008. Considera-se que ocorre alteração do uso dos solos sempre que ocorrer alteração do coberto do solo nas seis categorias definidas pelo painel internacional para as alterações climáticas (PIAC), ou seja: terrenos florestais, terrenos de pastagens, terras de cultivo, zonas húmidas, povoações e outros tipos de terrenos, para além de uma sétima categoria de culturas perenes (culturas plurianuais que não são normalmente colhidas numa base anual).

Embora não constituindo um critério de sustentabilidade na atual Directiva, existe um outro efeito do uso dos solos que tem sido descrito por vários autores (**Laborde, 2011; Bauen et al, 2010; Edward set al, 2010**) com consequências na produção alimentar, que é o Efeito Indirecto do Uso dos Solos (ILUC).

Este efeito, procura avaliar e quantificar os impactos que a ocupação de uma área agrícola para fins energéticos poderão ter pelo necessário efeito de substituição de produção de quantidade equivalente de matéria-prima alimentar numa outra área geográfica, que pode ser do mesmo país, continente ou em qualquer outra parte do Mundo.

Um estudo recente publicado pelo IPCC das Nações Unidas (IPCC, 2012) ilustra que a incerteza associada à determinação das emissões de GEE devidas ao ILUC é de tal ordem de magnitude que não é possível, no atual estado da técnica, aferir uma metodologia de cálculo do impacto do ILUC nas emissões de GEE de um dado biocombustível.

Faaij (2013) sugere mesmo que mais importante que procurar quantificar o ILUC, faz mais sentido, no atual estado da ciência, desenvolver metodologias, de aplicação local ou regional, que minimizem os efeitos do ILUC certificando-se e quantificando-se o valor da minimização das alterações ocorridas em vez de se quantificar o valor dos impactos externos à escala global.

## 6. OS BIOCMBUSTÍVEIS AVANÇADOS

A alternativa mais válida para a minimização dos impactos ambientais das cadeias de produção de biocombustíveis é a utilização de biomassas que não compitam com as matérias-primas alimentares, ou seja, que exibam baixo ou nulo ILUC.

Várias tecnologias de natureza bioquímica e termoquímica encontram-se à escala de demonstração prevendo-se que as primeiras unidades comerciais de produção de biocombustíveis avançados surjam na Europa e USA entre 2015 e 2020. Se se confirmarem as expectativas de que estes biocombustíveis poderão atingir os 90% de redução de emissões de GEE isso trará uma melhoria substancial dos níveis de emissões do setor transportador rumo a uma economia de baixo carbono.

### 7. BIBLIOGRAFIA

Bauen, A., Chudziak, C., Vad, K., Watson, P. (2010) A causal descriptive approach to modelling the GHG emissions associated with the indirect land use impacts of biofuels, E4Tech, London.

([http://www.apere.org/doc/1010\\_e4tech.pdf](http://www.apere.org/doc/1010_e4tech.pdf))

Edwards, R., Mulligan, D., Marelli, L. (2010) Indirect land use change from increased biofuels demand: comparison of models and results for marginal biofuels production from different feedstocks, JRC Institute for Energy, Ispra.

Faaij, A. (2013) Indirect land use change (iLUC) modelling: understanding limitations and alternatives. Presentation at the Council of the European Union, Brussels, March 26th. (<http://www.fediol.eu/data/profFaaijpresentation.pdf>)

IPCC (2012), Renewable energy sources and climate change mitigation. Edenhofer et al (eds), Cambridge Univ. Press, New York

Laborde, D. (2011) Assessing the land use change consequences of european biofuel policies. IFPRI, Washington D.C.

N.A. – Este artigo utiliza o novo Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa.

# EL DESAFÍO DE LAS MICROALGAS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES DE SEGUNDA GENERACIÓN

Luis Manuel Navas Gracia <sup>(1)</sup>. [lmnavas@iaf.uva.es](mailto:lmnavas@iaf.uva.es)

Jorge Miñón Martínez <sup>(1)</sup>. [jorge.minon.martinez@gmail.com](mailto:jorge.minon.martinez@gmail.com)

(1) GIR-TADRUS. Departamento de Ingeniería Agrícola y Forestal. Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias. Universidad de Valladolid. Avda. Madrid, 44. 34004-Palencia (España). Tel: +34979108360

### 1 - Antecedentes

La Agencia Europea de Medio Ambiente, en su informe EEA (2009) señala a las industrias energéticas y del transporte terrestre, marino y aéreo como principales emisoras de gases de efecto invernadero (GEI). Estas actividades se encuentran localizadas generalmente en urbes y zonas industriales, zonas que presentan una concentración de GEI superior a la normal, derivando con ello que los habitantes de estos lugares presenten un índice de problemas de salud mayor a la normal, relación que ha sido demostrada por distintos investigadores (García-Ubaque *et al.*, 2011; Bell *et al.*, 2005; Bloss, 2011).

Por otro lado, según previsiones de Naciones Unidas (IPCC, 2007) las emisiones de GEI derivarán en un aumento de la temperatura media de la superficie terrestre de 1,4 °C a 5,8 °C para el 2100. Unido a este cambio climático, la FAO (2009a) prevé que se producirán alteraciones en el rendimiento de los cultivos. Esta circunstancia, junto con la especulación en el mercado de materias primas, ocasionará situaciones como las vividas en el año 2007, que hicieron aumentar el precio de los alimentos básicos y, con ello, la pobreza y las desigualdades sociales, según datos de la FAO (2009b).

Según el mismo informe de la FAO (2009b), este aumento del precio de productos alimenticios básicos tuvieron varias causas: el cambio del valor de las divisas que tuvo lugar ese año, la especulación excesiva en los mercados de opciones y futuros, y políticas agrícolas favorecedoras de cultivos agroenergéticos.

Desde aquel mismo año a nivel mundial se viene desarrollando el proyecto sobre bioenergía y criterios e indicadores para la Seguridad Alimentaria (BEFSCI), bajo el amparo de las Naciones Unidas. Este proyecto busca mecanismos de control para que no se vuelva a producir lo que aconteció en el 2007, proponiendo nuevos cultivos energéticos compatibles con la alimentación. En un reciente informe (BEFSCI, 2012) se reseñan a las microalgas como un cultivo que cumple este requisito.

Desde el punto de vista medioambiental, Stoate *et al.*, (2009), entre otros autores, señalan como uno de los principales impactos ecológicos del siglo XXI, la contaminación del medio acuático y edáfico, derivada de malas praxis en algunas actividades agro-ganaderas o industriales, como son la realización de vertidos o de enmiendas sobredimensionadas de residuos ganaderos, de digestatos y/o en general residuos con un alto contenido en formas nítricas y fosfóricas. También entre otros autores Aslan & Kapdan (2006) muestran el potencial de las microalgas para depurar estos efluentes.

Las algas son organismos ancestrales, que están presentes desde los comienzos del origen de la vida y se han adaptado a multitud de atmósferas, presentado actualmente una excelente respuesta en su crecimiento en atmósferas con un contenido en NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, H<sub>2</sub>S y CH<sub>4</sub> (Mandeno *et al.*, 2005; Michiki, 1995; Chae *et al.*, 2006; Olaizola, 2003; Doucha *et al.*, 2005; Maeda *et al.*, 1995 y Travieso *et al.*, 1993).

En este sentido son las algas las especies vegetales que mayor tasa fotosintética presentan, entre un 10-50% más (Wang *et al.*, 2008). Con estos ratios de fotosíntesis, se consigue metabolizar el CO<sub>2</sub> y emitir oxígeno (O<sub>2</sub>), constituyendo un sumidero de carbono: económico, con mínimo impacto en el medio ambiente y además producir una biomasa con múltiples aprovechamientos: desde el sector de la alimentación animal, biocombustibles, la industria de síntesis o la producción de fertilizantes.

Existen muchos diseños de fotobiorreactores: en “V”, raceway, tubulares, etc, diseños que tratan de maximizar la superficie iluminada para con ello maximizar la producción por metro cuadrado ocupado de suelo (Chinnasamy *et al.*, 2010). Pero instalar estos fotobiorreactores supone disponer de suelo cercano a las fuentes de GEI que se pretenden mitigar o efluentes que se quieren depurar. Fuentes emisoras que se encuentran en núcleos urbanos e industriales. Zonas cuyo suelo se encuentra en la mayoría de los casos comprometido por la existencia de calles o carreteras o por la mera opción de ampliación de industrias o edificios e infraestructuras en general. También el disponer de suelo agrícola es contradictorio con los propósitos o los fundamentos de cultivo de segunda generación, ya que se está compitiendo con la agricultura y ganadería por el recurso suelo.

Para la producción de biomasa algal se precisan fotobiorreactores que aseguren unas condiciones óptimas de crecimiento (Lee, 1995), por medio de la operación en continuo sobre los dispositivos que integran este, tales como bombas, agitadores, resistencias, etc. Funcionamiento de estos dispositivos que hace incrementar el gasto energético y, con ello, comprometer la viabilidad económica de la producción de microalgas.

A esta situación hay que sumar la necesidad que tienen algunos diseños de fotobiorreactores de instalaciones complementarias, tipo invernaderos o habitáculos, protectores de las inclemencias meteorológicas, los cuales compromete aún más la inversión en este tipo de instalaciones y que sea amortizable en un periodo de tiempo menor a la vida útil de la instalación.

Por todo ello, el reto es lograr que la sociedad se pueda beneficiar del potencial medio ambiental y productivo que tiene la producción de biomasa algal.

### **2 - Cultivo de microalgas**

Olaizola (2003) caracteriza a las microalgas como un grupo muy heterogéneo de organismos. Para ser llamado microalga, el organismo tiene que ser pequeño (generalmente microscópico), unicelular y colorido (debido fundamentalmente a la presencia de pigmentos fotosintéticos). Se producen principalmente en el agua (pero no necesariamente) y realizan la actividad fotosintética (pero no necesariamente todo el tiempo). Filogenéticamente, las microalgas pueden ser procariotas o eucariotas, y en términos evolutivos, muy recientes o antiguas. Esta diversidad hace que las microalgas sean como grupo, una fuente potencialmente rica en una amplia gama de productos químicos con aplicaciones en la alimentación, nutrición, cosmética, farmacéutica e incluso en el sector energético.

Las especies de microalgas que hoy en día copan casi la totalidad de las investigaciones y desarrollos son las especies de origen marino. Pero conviene comentar que también existen microalgas de agua dulce que se encuentran en el suelo y con un potencial igual o superior que las marinas.

Para el crecimiento de las microalgas los nutrientes que más consumen son el nitrógeno y el fósforo. También los micronutrientes son necesarios para una optimización del crecimiento, dentro de los que destacan el hierro y el silicio.

Por otro lado el crecimiento de microalgas en un medio de cultivo con alta presencia de fuentes nitrogenadas ocasiona una pérdida en el contenido en lípidos. Además, esta característica está relacionada con el rendimiento calorífico de las especies, mostrándose valores caloríficos superiores en medios pobres en fuentes nitrogenadas (Illiman *et al.*, 2000). Esto repercute en la capacidad fotosintética de las especies, ya que cuanto mayor sea el valor calorífico, mayor es la capacidad fotosintética.

La producción de microalgas permite el consumo de nitrógeno y fósforo disponibles en efluentes residuales como liseres de residuos ganaderos, efluentes de actividades industriales y/o residenciales. Por lo general estos efluentes suelen contener metales pesados. El consumo de estos metales pesados por las microalgas está regulado por el pH, al igual forma que algunas especies tienen afinidad por determinados iones metálicos (Wilde & Benneman, 1993).

Por otro lado, como establece Ziegler *et al.* (2002), a partir de una determinada intensidad de radiación, la actividad fotosintética es directamente proporcional a la misma, si los otros factores que afectan al crecimiento no son limitantes. Hasta que finalmente la intensidad de la fotosíntesis no es afectada por un aumento de la radiación (saturación lumínica o fotosaturación), llegando incluso las células fotosintéticas a sufrir daños si este valor es sobrepasado.

Cabe resaltar que la intensidad de la radiación en un fotobiorreactor tiende a disminuir rápidamente debido a los efectos de sombreado derivados del incremento en las concentraciones de células en el medio (Chen *et al.*, 2008).

Como define Ziegler *et al.* (2002), con una pequeña intensidad de radiación, la intensidad de la fotosíntesis es proporcional a la de la misma, si los otros factores que afectan al crecimiento no son limitantes. Por ello, las curvas que relacionan la intensidad de la fotosíntesis aparente con la de la luz (curvas lumínicas de la fotosíntesis), se van aplanando, hasta que finalmente la intensidad de la fotosíntesis no es afectada por un aumento de la luz (saturación lumínica o fotosaturación), llegando las células fotosintéticas a sufrir daños si esta intensidad es incrementada.

Benemann (1997) expone que la producción de microalgas se ve inhibida a altas intensidades de luz (Intensidad de saturación). Además afirma que la cantidad de energía luminosa que es transformada a biomasa, ronda el 20-24%, constituyendo esta energía luego el valor calorífico, parámetro utilizado para relacionar la energía incidente y la fotoasimilada. A modo de ejemplo, la intensidad de saturación para *Phaeodactylum tricornutum* y *Porphyridium cruentum* son 185  $\mu\text{mol foton/m}^2\cdot\text{s}$  (Mann & Myers, 1968) y 200  $\mu\text{mol foton/m}^2\cdot\text{s}$  (Molina Grima *et al.*, 2000), respectivamente.

Los valores de fotosaturación para las especies de microalgas no son muy concisos, situándose entre 370 a 277  $\mu\text{mol fotón/m}^2\cdot\text{s}$ , según Ziegler *et al.* (2002) y para *Euglena gracilis*, según Chae *et al.* (2006), alcanza 178,7  $\mu\text{mol fotón/m}^2\cdot\text{s}$ . Chojnacka &

Marquez-Rocha (2004) para *Spirulina* sp., concluyeron que a 228,5  $\mu\text{mol fotón}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ , se produce la fotosaturación.

A nivel técnico, limitar la intensidad de luz en el fotobiorreactor no es un problema si aplicamos técnicas ya empeladas en el control climático de invernadero como las mallas de sombreo.

Como todo organismo que realice la fotosíntesis, existe una intensidad por debajo de la cual la fotosíntesis no se realiza. Este punto se llama punto de compensación lumínica y consiste en que la producción de  $\text{O}_2$  o  $\text{CO}_2$  compensa exactamente la toma de  $\text{CO}_2$  o  $\text{O}_2$ , en este orden, es decir la respiración es compensada por la fotosíntesis o viceversa (Ziegler *et al.*, 2002). En el caso de las microalgas, para *Chlorella* sp. en concreto, ésta se sitúa en 0,66 mol fotón/d $\cdot$ m<sup>2</sup> según enuncia Ogbonna *et al.* (1995).

En la fotosíntesis de las microalgas hay un consumo de  $\text{CO}_2$  continuo, por lo que la adición de  $\text{CO}_2$  aumenta el crecimiento de las algas, (Olaizola, 2003; Doucha *et al.*, 2005) siempre que el pH esté regulado.

Aparte del  $\text{CO}_2$ , las microalgas se presentan también como consumidoras de otros GEI o como resistentes en determinadas atmosferas reductoras. De hecho, Travieso *et al.* (1993) evaluaron la capacidad del cultivo de *Arthrospira* sp para filtrar el biogás resultante de la digestión anaerobia de la melaza de una refinería de azúcar. La riqueza en  $\text{CH}_4$  del biogás de entrada fue de 55%-71%, que una vez fue filtrado de  $\text{CO}_2$ , alcanzo una concentración de metano de un 88-97%. En el trabajo de Mandeno *et al.* (2009) se dispuso un biogás sintético compuesto con 60%  $\text{N}_2$  y el 40% de  $\text{CO}_2$ , mostrándose una disminución del 90% en la concentración de  $\text{CO}_2$ , mientras que el oxígeno producido no superó el 6%.

En la investigación de Maeda *et al.* (1995), se concluyó que para *Chlorella* sp los rangos óptimos de crecimiento son de 35 a 40 °C, en cuanto al rango térmico, y de 15% de  $\text{CO}_2$ , 10 ppm de  $\text{SO}_x$  y 30 ppm de  $\text{NO}_x$ , siendo los rangos inhibitorios por encima de 50 ppm de  $\text{SO}_x$  y 60 a 150 ppm de  $\text{NO}_x$ .

La depuración del  $\text{CO}_2$  y de los demás compuestos no combustibles presentes en el biogás es un proceso que redundo en el aumento del poder calorífico del biogás y por lo tanto en el aumento del rendimiento energético de la instalación de digestión anaerobia.

### 3 - Clasificación de fotobiorreactores

Existen múltiples diseños de fotobiorreactores que tratan de minimizar la superficie de suelo ocupada frente a la maximización de la superficie iluminada de cultivo, todo ello tratando de minimizar el consumo energético de estos fotobiorreactores.

La clasificación siguiente se establece en función del soporte de cultivo que las microalgas tienen para su crecimiento.

#### FOTOBIORREACTORES DE MEDIO LÍQUIDO

Los fotobiorreactores de medio líquido se caracterizan porque las microalgas se encuentran suspendidas en el medio de cultivo constituido por agua y nutrientes. Este medio es recirculado/agitado a través de conducciones y/o recipientes, abiertos o cerrados a la atmosfera. Esta recirculación es acompañada por la inyección o no de  $\text{CO}_2$ , entre otros gases, en el medio de cultivo a fin de incrementar la actividad fotosintética de las microalgas que en él se encuentran suspendidas. Como se ha indicado, estos



fotobiorreactores tienen como objeto minimizar la superficie de suelo ocupada frente a la maximización de la superficie iluminada.

Para este tipo de fotobiorreactores es habitual encontrar un equipo de bombeo o agitación que mueve el medio de cultivo por todo el volumen contenido del fotobiorreactor. El objeto es conseguir una homogenización de los factores que intervienen, tal como la iluminación, nutrientes, concentración de  $\text{CO}_2/\text{O}_2$  en el medio y temperatura. El funcionamiento de este dispositivo supone un gasto energético continuo, gasto que se ve considerablemente incrementado cuando se trata de maximizar la superficie iluminada disminuyendo la sección de la conducción transparente, ya que se incrementan las pérdidas de carga en la instalación por lo que es necesario acudir a equipos de bombeo/impulsión de mayor potencia. Esto sucede con los diseños de fotobiorreactor tubular (Figura 1). También en estos fotobiorreactores de conducciones cerradas transparentes se van adhiriendo las microalgas a la pared interior de las conducciones, aspecto que deriva en la pérdida de transmisibilidad del material y con ello en la disminución de la productividad en el sistema de cultivo. Para ello es común que este tipo de instalaciones dispongan de un sistema de limpieza de estas conducciones por medio de disolventes o por medio de circular un tapón que limpie por fricción la superficie.

En este tipo de fotobiorreactores es común encontrar sistemas de inyección de  $\text{CO}_2$  proveniente de gases de combustión (Figura 2). Esta inyección se realiza de forma localizada en al menos un punto de la instalación. Esta inyección supone una bajada de pH en el medio de cultivo que junto con la solubilidad del gas determinan el ratio de consumo de  $\text{CO}_2$  frente al  $\text{CO}_2$  inyectado. Para conseguir que las microalgas consuman el máximo  $\text{CO}_2$  posible es necesario controlar también la concentración de  $\text{O}_2$  en el medio, a fin de que esta no se convierta en inhibitoria del crecimiento.

Para el control de la temperatura en estos fotobiorreactores se suele acudir a sistemas de resistencias térmicas o intercambiadores a fin de incrementar la temperatura. En cuanto al control de la temperatura de cultivo entorno a un rango óptimo, es más importante y problemático encontrar un sistema para disipar la energía térmica que se confiere en los recipientes/conducciones cerrados. Estas conducciones en periodos de máxima radicación consiguen fácilmente que el medio de cultivo alcance temperaturas de 30-40 °C, las cuales se encuentran por encima de los 20-30 °C en los cuales se encuentra la temperatura óptima de cultivo.

En el caso de la recolección de estas microalgas se precisan instalaciones complementarias de decantadores, equipo electrolíticos o centrifugas, por ejemplo a fin de separar del medio de cultivo las algas que en él se encuentran suspendidas.

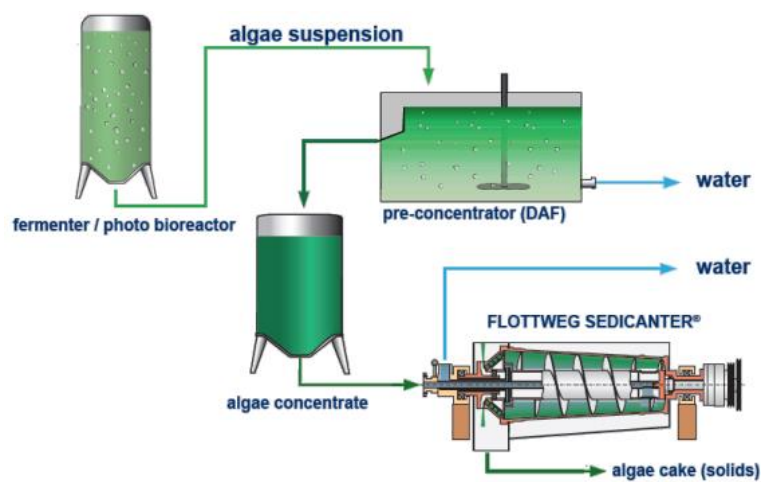
Los costes de la recolección de la biomasa producida en los fotobiorreactores de medio líquido suelen oscilar entre un 3% y un 30% del coste total (Benemann, 1997). Normalmente para reducir el coste de recolección se suele tender a dos procesos como se aprecia en la Figura 3: primero, se concentra por medio de floculación hasta un contenido en sólidos de 1 a 5% y, en segundo lugar, se concentra por centrifugación, filtración o microfiltración, hasta conseguir una concentración en sólidos del 15 al 25%.



*Figura 1. Fotobiorreactor tubular (Algaenergy)*



*Figura 2. Fotobiorreactor raceway cerrado con inyección de CO<sub>2</sub> (Algaenergy)*



*Figura 3. Esquema de un sistema de recolección de biomasa algal en fotobiorreactores de medio líquido (Flottweg)*

### FOTOBIORREACTORES DE CULTIVO SOBRE SOPORTE SOLIDO

Este tipo de fotobiorreactores se caracteriza porque las microalgas crecen adheridas sobre un soporte rígido o flexible. Este soporte está caracterizado por la rugosidad, permeabilidad al agua y la porosidad a los gases.

La rugosidad favorece que las microalgas se adhieran al soporte. De esta forma las microalgas crecen adheridas a la superficie iluminada del soporte, constituyendo un biofilm (Figura 4). Biofilm que podrá ser recolectado directamente de la superficie por medio de un cepillado o raspado, evitando así recurrir a instalaciones o procesos complementarios como los que ya se explicaron para el caso de los fotobiorreactores de medio líquido.

La permeabilidad al agua y a los nutrientes, permite que el soporte disponga de unas condiciones de humectación suficientes y homogéneas para el desarrollo de las microalgas adheridas. Esta humectación debe ser la correcta para que las microalgas se puedan desarrollar. Para ello el conseguir un diseño y material del soporte que mantenga unas condiciones de humedad optima, repercutirá en el gasto energético de los equipos de bombeo de agua a los paneles soporte de cultivo. Esto consigue que el funcionamiento del equipo de bombeo sea discontinuo, suponiendo un ahorro energético y de inversión.

La porosidad afecta al intercambio entre los gases consumidos y producidos por las algas. Esta característica favorece que las células de las microalgas dispongan de  $\text{CO}_2$  suficiente para realizar la fotosíntesis y fijar carbono, no constituyendo esta concentración inhibitoria para las mismas. Es decir, va difundiendo el  $\text{CO}_2$  que las algas van consumiendo, favorecido esto también por la diferencia de presión entre el ambiente cercano al biofilm y el ambiente que tiene la concentración de  $\text{CO}_2$  mayor. Esta característica también permite que el  $\text{O}_2$  producido sea liberado al ambiente sin tampoco saturar el entorno de la célula de la microalgas y por lo tanto inhibir. Este equilibrio entre  $\text{CO}_2$  y  $\text{O}_2$  debe ser el adecuado a fin de no inhibir a la enzima Ribulosa-carboxilasa (Rubisco). Por otro lado, esta porosidad contribuye a que la tasa de consumo del  $\text{CO}_2$  sea mayor, además de contribuir a disminuir el gasto energético en el caso de inyectar el  $\text{CO}_2$  en el interior del fotobiorreactor.

En este tipo de fotobiorreactores las microalgas consumen el  $\text{CO}_2$  directamente del aire o del gas, sin tener que diluir previamente el gas en un líquido para que sea consumido, evitando así que la solubilidad del gas en el agua sea el factor limitante de este consumo, solubilidad que está regulada por la temperatura.

Dentro de estas tres características que definen los fotobiorreactores de medio poroso es común encontrar distintos diseños que satisfagan las tres, dos o una de las características. Otro aspecto importante de este tipo de fotobiorreactores es que tienen una refrigeración evaporativa, la cual permite mantener siempre una temperatura en el biofilm de microalgas adecuada. Aspecto que contribuye a la eficiencia energética de la instalación.

#### **4 - Integración de la producción de microalgas en sistemas urbanos o industriales**

Como se ha comentado con anterioridad, el suelo es un recurso muy comprometido en las zonas emisoras de GEI, urbanas e industriales, por lo que dedicar suelo a las instalaciones de fotobiorreactores convencionales supone un problema de difícil solución. Por otro lado, los fotobiorreactores de medio líquido han sido identificados

como los que más consumo energético presentan, frente a los fotobiorreactores de cultivos sobre soporte sólido. Por ello, el utilizar las superficies de los paramentos verticales de edificios, construcciones o infraestructuras como soporte para el cultivo de microalgas bajo la tipología de fotobiorreactor de cultivo sobre soporte sólido supone salvar los problemas antes comentados. Esto permite localizar el cultivo de microalgas en los focos de emisión y/o vertido, contribuyendo así de forma local a la mejora de la calidad del aire y gestionando de forma local las emisiones y/o vertidos, obteniendo con ello una biomasa susceptible de ser aprovechada en la industria productora de biocombustibles, piensos de animales o de síntesis en general. Además, se consigue que en las fachadas de las construcciones se aumente la inercia térmica de las mismas, contribuyendo a la eficiencia energética de las mismas, como se ha demostrado con las cubiertas vegetales. La instalación de cubiertas vegetales o de jardines verticales en las fachadas supone un ahorro energético además de mejorar el confort de los habitantes de los edificios (Wong *et al.*, 2009; Wilmers, 1990 y Alexandri *et al.*, 2006).



*Figura 4. Detalle de biofilm de microalgas adherido sobre soporte. Fuente: GIR TADRUS*

### 5 - Referencias

Alexandri E., Jones P. Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates, *Building and Environment*, 2006; 43; 480-493.

Aslan S., Kapdan I. K.. Batch kinetics of nitrogen and phosphorus removal from synthetic wastewater by algae, *Ecological Engineering*, 2006; 28;64-70.

BEFSCI. Good Environmental Practices in Bioenergy Feedstock Production Making Bioenergy Work for Climate and Food Security. Bioenergy and Food Security Criteria and Indicators project Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2012.

Bell M. L., Davis D. L., Gouveia N., Borja-Aburto V. H., Cifuentes L. A. The avoidable health effects of air pollution in three Latin American cities: Santiago, São Paulo, and Mexico City, *Environmental Research*, 2005; 100, 431-440.

- Benemann O. System and economic analysis of microalgae ponds for conversion of carbon dioxide to biomass. Pittsburgh Energy Technology Center. Pittsburgh PA Department energy. 1997
- Bloss W. Measurement of Air Pollutants, In: Editor-in-Chief: Jerome O. Nriagu, Editor(s)-in-Chief, Encyclopedia of Environmental Health, Elsevier, Burlington, 2011, 635-645.
- Chae S.R., Hwang E.J., Shin H.S. Single cell protein production of *Euglena gracilis* and carbon dioxide fixation in an innovative photo-bioreactor. *Bioresource Technology*, 2006;97: 322–329.
- Chen C.Y., Saratale G.D., Lee C.M., Chen P.C., Chang J.S. Phototrophic hydrogen production in photobioreactors coupled with solar-energy-excited optical fibers. *Int. J. Hydrogen Energy* 2008; 33; 6878–6885.
- Chinnasamy, S; Bhatnagar, A; Claxton, R; Das, KC. Biomass and bioenergy production potential of microalgae consortium in open and closed bioreactors using untreated carpet industry effluent as growth medium. *Bioresource Technology*, 2010;101; 6751–6760.
- Chojnacka K., Marquez-Rocha F.J. Kinetic and stoichiometric relationships of the energy and carbon metabolism in the culture of microalgae. *Biotechnology*, 2004;3;21–34.
- Doucha J., Straka F., Lívanský K.. Utilition of flue gas for cultivation of microalgae (*Chlorella* sp.) in an outdoor open thin-layer photobioreactor. *Journal of Applied Phycology*, 2005;17; 403-412.
- EEA. Greenhouse gas emission trends and projections in Europe 2009. Tracking progress towards Kyoto targets. Annex: Additional information on greenhouse gas emission trends and projections. 2009
- FAO. Perfil para el cambio climático. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Rome, 2009a.
- FAO. El estado de los mercados de productos básicos agrícolas Los precios altos de los alimentos y la crisis alimentaria: experiencias y lecciones aprendidas. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Rome, 2009b.
- García-Ubaque J.C., Garcia-Ubaque C.A., Vaca-Bohórquez M.L. Medical consultation in productive age population related with air pollution levels in Bogota city, *Procedia Environmental Sciences*, 2011;4; 165-169.
- Illiman A.M., Scragg A.H., Shales S.W. Increase in *Chlorella* strains calorific values when grown in low nitrogen medium. *Enzyme and Microbial Technology*, 2000;27; 631-635.
- IPCC Cambio climático: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. IPCC, Ginebra, Suiza, 2007
- Lee, PG. A review of automated control systems for aquaculture and design criteria for their implementation. *Aquacultural Engineering*, 1995; 3; 205-227.
- Maeda I., Owadai M., N. Kimura. K. Omata, I. Karubd. CO<sub>2</sub> fixation from the flue gas on coal-fired thermal power plant by microalgae. *Energy Conversion and Management*. 1995;36; 717-720.

- Mandeno G., Craggs R., Tanner C., Sukias J., Webster-Brown J. Potential biogas scrubbing using a high rate pond. *Water Sci Technol.* 2009; 12; 253-256.
- Mann, J. E., Myers, J. On pigments, growth, and photosynthesis of *phaeodactylum tricornutum*. *Journal of Phycology.* 1968; 4; 1529-8817
- Michiki H. Biological CO<sub>2</sub> Fixation and Utilization Project. *Energy Conversion and Management*, 1995;36;701-705.
- Molina Grima E, Acien Fernandez FG, Garcia Camacho F, Camacho Rubio F, Chisti Y. Scale-up of tubular photobioreactors. *Journal of Applied Phycology.* 2000;12: 355-368.
- Ogbonna J.C., Yada H., Tanaka H. (1995). Kinetic Study on Light-Limited Batch Cultivation of Photosynthetic Cells. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 1995;80; 259-264.
- Olaizola M. Commercial development of microalgal biotechnology: from the test tube to the marketplace. *Biomol Eng*, 2003; 20, 459–466.
- Stoate C., Báldi A., Beja P., Boatman N.D., Herzog I., van Doorn A., de Snoo G.R., Rakosy L., Ramwell C. (2009). Ecological impacts of early 21st century agricultural change in Europe – A review, *Journal of Environmental Management*, 2009; 91; 22-46.
- Travieso L., Benitez F., Dupeiron . Sewage treatment using immobilized microalgae. *Bioresource Technology*, 1993; 40; 183-187.
- Wang, B; Li, Y; Wu, N; Lan, C.Q. CO<sub>2</sub> bio-mitigation using microalgae. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2008; 79; 707-718.
- Wilde, E. W., Benemann, J. R. (1993). Bioremoval of heavy metals by the use of microalgae. *Biotechnology Advances*, 1993; 11; 781-812.
- Wilmers F. (2008). Effects of vegetation on urban climate and buildings, *Energy and Buildings*, 2008;15; 507-514.
- Wong N. H., Tan A. Y. K., Chen Y., Sekar K., Tan P. Y., Chan D., Chiang K., Wong N. C. Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls, *Building and Environment*, 2009;45; 663-672.
- Ziegler H., Ehrendorfer F., Bresinsky A. *Tratado de Botánica*. Strasburger E. Ed Omega. 2002

# SISTEMAS DE CONCENTRAÇÃO SOLAR EM APLICAÇÕES AGRO INDUSTRIAIS

João Farinha Mendes, João Pereira Cardoso

UES/LNEG – Estrada do Paço do Lumiar, 22, 1649-038 Lisboa, Portugal. E-mail: farinha.mendes@lneg.pt

### Resumo

As tecnologias de concentração solar podem ser utilizadas na produção de electricidade ou na produção dos chamados combustíveis solares, através da concentração óptica da radiação solar que permite a obtenção das elevadas temperaturas necessárias a esses processos. São as Centrais Termo-Solares (CSP) que oferecem uma grande flexibilidade pois a energia térmica produzida pode ser armazenada em tanques, para produzir electricidade mais tarde. Podem também ser hibridizadas em várias proporções com geradores alimentados por combustíveis fósseis ou de origem renovável, como é o caso da biomassa. Isto confere às centrais CSP uma característica muito importante que as diferencia pela positiva em relação às outras tecnologias que recorrem a ER, como é o caso dos parques eólicos e das centrais PV, pois permite a produção de electricidade de forma segura que pode ser despachada para a rede quando necessário.

Embora a grande maioria destas centrais encontre nos grandes valores de potência o seu desenho preferencial como forma de minimizar o custo final do kWh produzido, alimentando directamente a rede de distribuição eléctrica, há vários nichos de mercado que estão abertos à tecnologia CSP e a várias escalas de aplicação que vão desde a produção de calor de processo na indústria, a preparação de alimentos, a dessalinização ou a trigeração com produção de electricidade, calor e frio.

A sua utilização no sector agro-industrial insere-se no caso particular das aplicações da energia solar na indústria, mas é mais larga a gama de aplicações específicas em face dos últimos desenvolvimentos no campo da produção dos chamados combustíveis solares como seja o gás de síntese (singas), H<sub>2</sub>, hidrocarbonetos leves, bio-óleos ou carvão vegetal, que igualmente irão ser abordados nesta comunicação.

**Palavras Chave:** Concentração solar, centrais solares, centrais híbridas, calor de processo, combustíveis solares.

### 1. INTRODUÇÃO

A evolução do mercado de abastecimento energético com combustíveis de origem fóssil a nível mundial mostra uma tendência que reforça as previsões dos que vêm assinalando estarmos próximos do pico de produção do petróleo convencional, que necessariamente irá trazer consigo a escassez e o aumento dos preços. O novo patamar de estabilização desses preços ainda não é conhecido mas reconhece-se que as sociedades dependentes dessa fonte se têm de preparar para o pior. Na verdade, o que se discute por esta altura já não é se irá acontecer, mas tão só quando a escassez e o conseqüente aumento de preços irá acontecer.

Aproveitar o lapso de tempo que ainda temos pela frente para nos prepararmos é uma elementar medida de bom senso que as sociedades e respectivos governos terão de levar a sério se quiserem fazer a transição sem sobressaltos de maior. Alguma dessa preparação passa por uma diminuição da dependência, e Portugal, sendo um dos mais dependentes – mais de 80% da energia consumida em Portugal é importada - terá de fazer esforços acrescidos, não podendo desperdiçar nenhuma oportunidade, como é certamente o caso da possibilidade de uso em larga escala da energia solar, na produção de calor ou na produção de electricidade por via termosolar:

- a) tirando partido da energia solar, abundante no nosso país;
- b) utilizando tecnologias que têm vindo a ser testadas e demonstradas durante as últimas décadas;
- c) aproveitando a disponibilidade de investimento que a sociedade civil começou a ter.

São muitos os benefícios directos (diminuição das importações energéticas e correspondente factura, ajuda ao cumprimento dos nossos compromissos internacionais em matéria de redução de emissões de CO<sub>2</sub>, criação de postos de trabalho directos e permanentes) e os indirectos (possibilidade de forte incorporação tecnológica nacional e consequente criação de postos de trabalho em zonas deprimidas) os quais no seu conjunto concorrem para o chamado desenvolvimento sustentável e vão para além do puro desenvolvimento económico. Para o efeito é necessário o aparecimento de legislação favorável ao investimento nas tecnologias termosolares visando a produção de electricidade e/ou calor de processo.

Nesta comunicação faremos uma abordagem resumida deste sector, começando nas tecnologias de captação com concentração disponíveis, passando pelas características mais importantes das aplicações industriais e finalizando com a apresentação da matéria dos combustíveis solares, ainda largamente em fase de investigação, mas com um elevado e interessante potencial no âmbito da substituição dos combustíveis fósseis no sector dos transportes.

### **2. TECNOLOGIAS DE CONCENTRAÇÃO SOLAR**

O carácter distribuído do fluxo de energia proveniente do recurso solar torna a sua conversão térmica directa viável apenas num domínio de temperaturas que não vai muito além dos 150 °C. A utilização de sistemas ópticos de concentração permite, através da obtenção de maiores fluxos de energia na conversão térmica, a operação a alta temperatura e viabiliza a utilização da energia solar térmica num espectro mais alargado de aplicações, como seja a produção de electricidade em ciclo de Rankine ou Brayton, a produção dos chamados “combustíveis solares”, o tratamento de materiais ou a eliminação de resíduos perigosos.





**Figura 1** – Imagem promocional da associação espanhola Protermosolar, onde se podem ver três centrais CSP. Em primeiro plano uma central do tipo cilindro-parabólico - Solnova 1 - e em segundo plano duas centrais do tipo receptor central de torre - PS10 e PS20 (Crespo, 2009).

### 2.1 Sistemas de concentração solar

É usual dividir as principais tecnologias de concentração solar em quatro grupos consoante as características dos sistemas ópticos utilizados. As tecnologias que utilizam um sistema de foco linear subdividem-se entre sistemas Cilindro-Parabólicos e sistemas Lineares do tipo Fresnel. Por sua vez, as tecnologias que utilizam um sistema de foco pontual subdividem-se entre sistemas de Receptor Central de Torre e sistemas de Disco Parabólico com Motor Stirling. A figura 2 apresenta um esquema simplificado de cada um destes sistemas.

#### 2.1.1 Sistemas Cilindro-Parabólicos

Sistema de concentração linear de geometria cilíndrica com reflector parabólico concentrando a radiação em receptor tubular posicionado no foco da parábola. Os colectores fazem o seguimento do sol em altura, a um eixo. Na sua utilização mais convencional o fluxo de radiação concentrado aquece um óleo térmico que circula no interior do absorvedor, sendo este o fluido de transporte de energia para a geração de vapor que ocorre num permutador de calor. Existem também abordagens no sentido da produção directa de vapor no absorvedor. A temperatura de operação nos sistemas com óleo térmico encontra-se geralmente na casa dos 390°C, no entanto pode atingir valores acima dos 500 °C, quando se recorre a ópticas de concentração secundária ou ao uso de sais fundidos como fluido de transporte de energia. Este sistema apresenta uma elevada modularidade, podendo apresentar diferentes escalas de potência, desde as dezenas de kW até à escala das centenas de MW, embora os resultados obtidos com as centrais existentes e os estudos económicos apontem para valores mínimos de potência na ordem dos 50 MW.

#### 2.1.2 Sistemas Lineares do tipo Fresnel

Sistema de concentração linear com reflector do tipo Fresnel, concentrando a radiação em receptor tubular (tubo de vácuo ou não) normalmente colocado no interior de uma

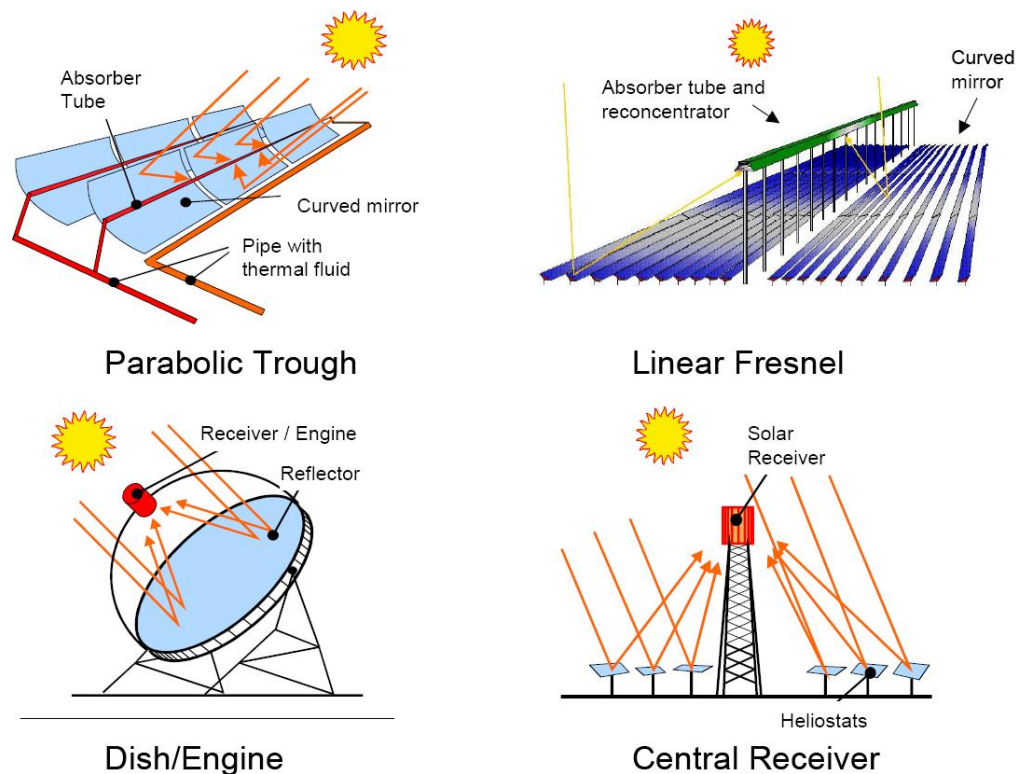
outra cavidade não-evacuada que funciona como sistema secundário de concentração. À semelhança dos colectores cilindro-parabólicos, apresentam seguimento a um eixo mas esse seguimento é agora azimutal. Na sua utilização mais convencional o fluxo de radiação concentrado aquece um óleo térmico circulando no interior do absorvedor, fluido de transporte de energia para a geração de vapor, existindo também abordagens no sentido da produção directa de vapor no absorvedor.

### **2.1.3 Sistemas de Receptor Central de Torre**

Sistema de concentração pontual dispondo de um conjunto de helióstatos com seguimento da trajectória solar a dois eixos e direccionando a radiação para um receptor central situado num ponto elevado. No receptor opera-se a conversão térmica do fluxo de radiação concentrado para um fluido de transporte de calor, sendo o mais usual o ar, embora um óleo adequado ou sais fundidos possam ser também utilizados, o que depende da temperatura de operação. Esta pode atingir valores na ordem dos 700 °C embora continuem em cima da mesa projectos que apontam para temperaturas de operação acima dos 1000°C, recorrendo a ciclos combinados e a sistemas ópticos avançados de redireccionamento da radiação para uma zona de trabalho no solo. Na versão mais convencional é um sistema com pouca modularidade, com valores mínimos de potência na ordem dos 10 MW, de acordo com os estudos económicos. No entanto, desenvolvimentos comerciais recentes estão a reverter esta lógica e apontam para sistemas modulares na ordem dos 100 kW cada, o que tem a ver com a presente disponibilidade comercial de blocos de potência adequados a este nível de potência.

### **2.1.4 Sistemas de Disco Parabólico - Motor Stirling**

Sistema de concentração pontual consistindo em disco parabólico com produção de potência assente em motor Stirling cuja fonte quente se posiciona no foco da parábola. Sistema com seguimento da trajectória solar a dois eixos. A temperatura de operação nestes sistemas é da ordem dos 700 °C. Sistema com elevada modularidade, com valores mínimos de potência, comercialmente disponíveis, na ordem dos 3 kW.



*Figura 2 – Esquema simplificado das principais tecnologias de concentração solar para produção de electricidade (Romero e Seinfeld, 2012).*

### 2.2 A Produção de electricidade termosolar

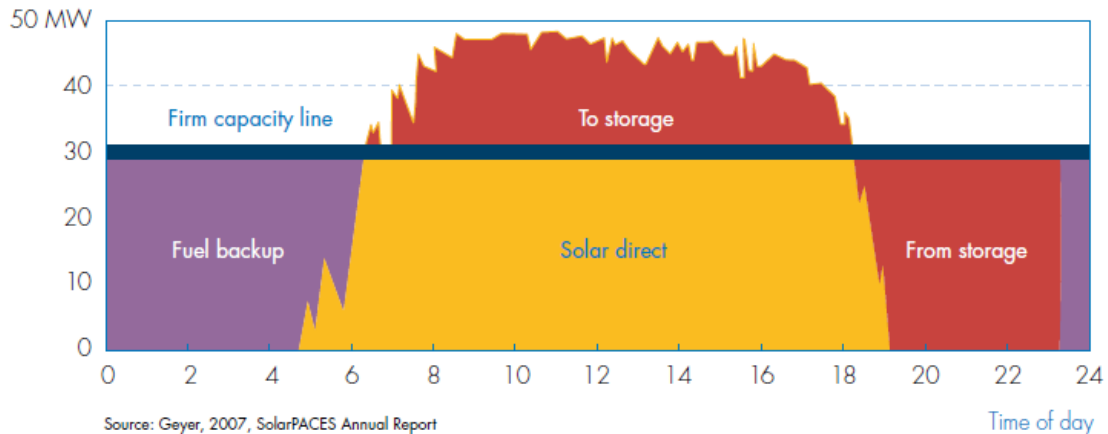
A produção de electricidade termosolar pode ser realizada através de um ciclo de Rankine convencional, com vapor de água produzido a partir da energia recolhida no sistema de concentração utilizado. Actualmente o rendimento de conversão global anual (energia solar para energia eléctrica), dependendo da tecnologia escolhida, varia entre 14% e 29%, estando as centrais do tipo cilindro-parabólico associadas aos limites inferiores deste intervalo e as centrais do tipo disco parabólico associadas aos limites superiores deste intervalo.

Por outro lado a utilização de um ciclo de Rankine Orgânico abre a possibilidade de produção de electricidade termosolar com temperaturas de operação mais baixas (na ordem dos 150°C – 250°C), o que permite a utilização de sistemas ópticos de menor complexidade, estacionários ou quasi-estacionários, contrabalançando os menores rendimentos do ciclo termodinâmico com menores custos de produção/operação.

Actualmente encontram-se em fase de investigação e desenvolvimento a utilização de ciclos de Brayton em centrais do tipo receptor central de torre, que utilizando uma fonte de calor com uma temperatura mais elevada permitirão a obtenção de maiores rendimentos, bem como a utilização de ciclos combinados ou esquemas de hibridização com gás natural ou biogás.

Considerando a estabilidade de funcionamento da turbina, tendo em vista não só a operação em condições de rendimento nominal mas também a minimização de necessidades de manutenção, estes sistemas dispõem de sistemas de armazenamento de energia a alta temperatura, sendo também particularmente adequados à hibridização. A

figura 3 apresenta um esquema típico resultante da conjugação de armazenamento com hibridização numa central CSP.



**Figura 3** – Esquema de um balanço de energia resultante de conjugação de hibridização com armazenamento térmico de energia numa central CSP (Estela 2012).

### 2.3 Armazenamento e Hibridização

A utilização de armazenamento térmico permite, para além de uma resposta pronta a instabilidades pontuais no recurso solar, o alargamento do período de operação do sistema, resultando o dimensionamento do sistema de armazenamento de uma optimização técnico-económica entre o período/volume/custo do armazenamento e a produção adicional de energia.

A experiência com este tipo de centrais dispondo de armazenamento térmico mostra ainda a elevada capacidade de predição e desfaseamento da produção eléctrica, o que representa uma enorme vantagem na ligação destes sistemas à rede eléctrica.

De facto, as centrais termosolares, utilizando uma fonte primária distinta mas com uma predição bastante fiável, apresentam as mesmas características das centrais térmicas convencionais, proporcionando inércia ao sistema eléctrico, permitindo regulação de operação a diferentes níveis, o corte de abastecimento sem necessidade de paragem de produção, uma hibridização simples com gás ou biomassa, e.g., aumentando a possibilidade de acomodação de potência produzida por outras fontes renováveis.

## 3. APLICAÇÕES INDUSTRIAIS

A percentagem de consumo de energia sob a forma de calor nas gamas de temperatura média e média-alta é muito elevada nas indústrias alimentar, de produção de papel, têxtil e química. Por outro lado as condições para aplicação da energia solar são favoráveis em processos em que o consumo de calor seja constante no período diurno e durante todo o ano. Estima-se que nos países da UE o consumo de calor industrial seja superior a 8 % do consumo total de energia final, o que mostra o potencial de aplicações para a energia solar, neste sector da actividade económica.

Os processos industriais geralmente requerem energia térmica numa gama de temperaturas que vão desde a temperatura ambiente até temperaturas de cerca de 250°C, pelo que podem ser usados sistemas solares térmicos activos, com ou sem concentração da radiação solar incidente, pois as tecnologias actualmente disponíveis já permitem a obtenção de calor a temperaturas entre 80°C e 250°C com um bom rendimento (Schweiger et al., 2007).

O fluido de transferência que entrega a energia necessária a esses processos pode ser um líquido, passando por vezes, dependendo do processo em causa, pela utilização de ar. Há um conjunto de processos industriais com correspondência na indústria agro-alimentar que são adequados ao aproveitamento da energia solar como seja o aquecimento de banhos de líquidos para processos de lavagem, tinturaria, processos químicos, etc.; aquecimento de ar para processos de secagem; geração de vapor de baixa pressão para diversas aplicações, a destilação, a pasteurização, etc..

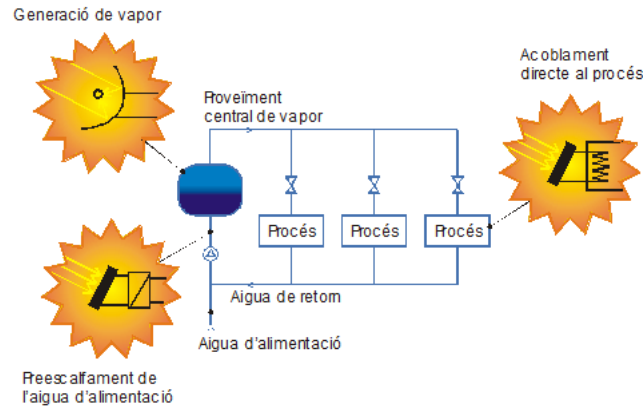
A produção de frio utilizando máquinas de absorção, de adsorção ou outros equipamentos térmicos constitui outro grande campo de aplicações para a energia solar no campo agro-industrial, com vantagem reconhecida devido à coincidência entre os picos de consumo e os picos de disponibilidade de energia solar.

A natureza das instalações industriais, acaba normalmente por implicar o desenho de sistemas solares de grande dimensão e o regime de laboração, normalmente diurno, não implica a incorporação de grandes sistemas de armazenamento pois o consumo coincide com a produção, o que igualmente se traduz num maior rendimento do sistema solar pois nesse caso trabalha à mais baixa temperatura possível para o processo em causa.

Este conjunto de características permite a aplicação de sistemas com uma boa rentabilidade económica, mesmo quando são desenhadas com armazenamento da energia térmica. Na verdade há casos de paragem na laboração ao fim de semana e essa energia pode e deve ser armazenada, e também casos de laboração contínua a 24h, que permite o desenho de sistemas sobredimensionados para as necessidades diurnas por forma a cobrir as necessidades nocturnas por via desse armazenamento. Em muitos destes casos terão de ser construídos tanques de armazenamento que pela sua dimensão (e custo se fossem em metal), terão de ser em betão, o que acaba por não ser particularmente oneroso em termos percentuais globais.

Em geral são instalações conceptualmente muito simples sob o ponto de vista do seu desenho hidráulico e filosofia geral de funcionamento. Uma instalação solar industrial é constituída por um campo de colectores solares em que circula água ou uma mistura de água e glicol (circuito primário). Um sistema de regulação controla a circulação neste circuito dependendo da intensidade de radiação disponível. Através de um permutador, a energia solar pode ser utilizada para o aquecimento de líquidos, de ar ou para a geração de vapor.

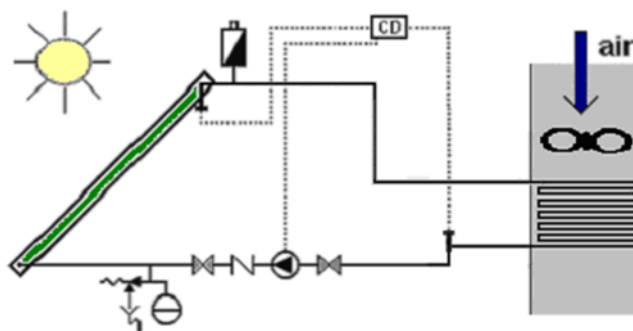
O acoplamento do sistema solar ao sistema convencional de produção de calor pode efectuar-se em vários pontos do sistema: acoplamento directo a um processo específico, pré-aquecimento de água e geração de vapor no sistema central.



**Figura 4** – Possibilidades de inserção da energia solar no processo industrial (POSHIP, 2001).

Uma instalação que funcione todo o ano como foi o caso de um sistema estudado para uma fábrica de produção de malte em Portugal, no âmbito do projecto POSHIP (POSHIP, 2001), implica um processo de secagem contínuo com ar aquecido num permutador água-ar, o qual é alimentado pelo fluido aquecido no campo de colectores solares, ou no sistema auxiliar quando necessário, o que implica um sistema de controlo muito simples, como se pode ver na figura 5.

Neste caso foi dimensionado um campo de cerca de 4000 m<sup>2</sup> de colectores solares estacionários, sem armazenamento, e dada a dimensão a sua localização seria no terreno circundante, mas muitas vezes existem disponíveis as coberturas das naves industriais, para a colocação dos colectores.



**Figura 5** – Esquema simplificado do sistema dimensionado para um processo de secagem de malte (POSHIP, 2001).

Há dois tipos principais de colectores solares que podem ser considerados na produção de calor industrial:

- Colectores estacionários. Estes colectores não usam nenhum mecanismo de seguimento do sol, pode3m produzir calor a baixa e média temperatura até 150°C. Os colectores solares planos, tubos de vácuo, colectores planos com isolamento transparente e os colectores do tipo CPC, pertencem a este tipo de colectores.

- Colectores com mecanismo de seguimento. Os colectores cilíndrico-parabólicos ou os concentradores de Fresnel linear pertencem a este tipo, fazem o seguimento do Sol em torno de um eixo. Podem obter-se temperaturas superiores a 300°C com um bom rendimento e são também utilizados em grandes centrais solares para geração de electricidade.

No clima mediterrânico a energia útil anual por metro quadrado de colector pode ter valores entre 300 e 800 kWh, dependendo da temperatura necessária, da estrutura de consumo e da tecnologia utilizada. Para grandes instalações sem armazenamento o custo total do sistema solar (incluindo montagem) pode variar entre 250 e 600 €/m<sup>2</sup>, obtendo-se um custo da energia fornecida que durante o tempo de vida destas instalações (cerca de 20 anos) permite a amortização do investimento inicial em menos de 10 anos.

Nos últimos anos e à parte alguns concursos pontuais dos programas nacionais, não tem havido incentivos financeiros estáveis e convincentes para os decisores do sector industrial acima identificados. Há no entanto um incentivo fiscal que se tem mantido ao longo dos últimos 10 anos e que tem a ver com a possibilidade de amortização em 4 anos do investimento em energias renováveis, e que a manter-se poderá contribuir para a disseminação destas tecnologias nas nossas indústrias.

#### 4. COMBUSTÍVEIS SOLARES<sup>1</sup>

Para além da produção de calor por via da sua combustão, a biomassa pode ser utilizada em diversos processos de valorização termoquímica, produzindo diferentes compostos, como gás de síntese (singas), H<sub>2</sub>, hidrocarbonetos leves, bio-óleos ou carvão vegetal, que poderão ser utilizados como produtos químicos, como combustíveis para o sector dos transportes ou na produção de energia. Tipicamente os processos principais de conversão termoquímica de biomassa dividem-se em três categorias: a pirólise; a gaseificação e a liquefacção directa.

Os sistemas solares de concentração de foco pontual permitem a obtenção de rácios de concentração de radiação solar bastante elevados, permitindo alcançar temperaturas entre os 500 e os 2500 K, nomeadamente nos chamados fornos solares. Assim, e considerando que os processos de conversão termoquímica de biomassa são globalmente endotérmicos, ocorrendo a temperaturas possíveis de ser atingidas pelos sistemas CSP, é possível considerar o uso de sistemas de concentração solar para a produção de combustíveis solares a partir de biomassa, nomeadamente através dos processos de pirólise e gaseificação. Assim é possível conceber sistemas totalmente renováveis, evitando as desvantagens da combustão parcial da biomassa e enriquecendo o poder calorífico dos produtos da reacção devido à energia fornecida pelo sistema solar.

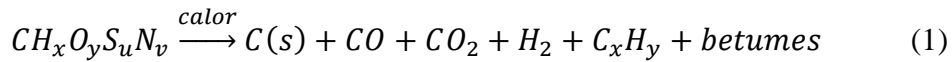
##### 4.1 - Pirólise solar

A pirólise ocorre a temperaturas a partir dos 500 K e processa-se até temperaturas na casa dos 900 K, consistindo na decomposição das ligações químicas das moléculas dos compostos carbonáceos libertando gases ricos em hidrogénio como o metano e o etano,

---

<sup>1</sup> Esta secção apresenta uma sùmula dos trabalhos de Lédé, 1999; Kodama, 2003; Piatkowski et al., 2011; Romero e Steinfeld, 2012.

compostos condensáveis como os betumes e carvão vegetal. A reacção de pirólise pode ser descrita pela seguinte equação:



A energia solar concentrada possibilita a obtenção de elevadas densidades de fluxo de calor. Esta característica adequa-se ao seu uso nos processos de pirólise rápida, beneficiando de duas vantagens face ao processo convencional. Por um lado a energia solar concentrada permite atingir temperaturas e taxas de aquecimento elevadas, condições essenciais à pirólise rápida. Por outro lado o uso de energia solar concentrada implica que o fluxo de calor é concentrado numa pequena área da cavidade (zona focal) pelo que os produtos primários da reacção são libertados num ambiente frio, minimizando as reacções secundárias e aumentando a pureza dos produtos. Verifica-se ainda que estas vantagens são mais pronunciadas nas situações em que a biomassa é aquecida directamente pela radiação solar.

Embora conceptualmente simples a passagem à prática da pirólise rápida solar apresenta dificuldades que necessitam de ser ultrapassadas antes da implementação comercial em larga escala desta tecnologia. A primeira dessas dificuldades resulta da baixa eficiência na transferência de massa dentro do reactor que leva à criação de camadas de produtos que bloqueiam a radiação solar incidente. O bloqueio da radiação leva a que as camadas internas da biomassa recebam quantidades decrescentes de calor por radiação, passando a ser aquecidas apenas por condução e que os produtos primários continuem expostos à radiação originando reacções secundárias que produzem compostos não desejados. Nestas condições a pirólise torna-se cada vez mais lenta, levando a um aumento gradual da produção de carvão vegetal. Uma possível solução para esta dificuldade é a opção por um sistema de pirólise ablativa, onde ocorre a remoção mecânica dos produtos primários, garantindo-se a manutenção das condições necessárias à pirólise rápida.

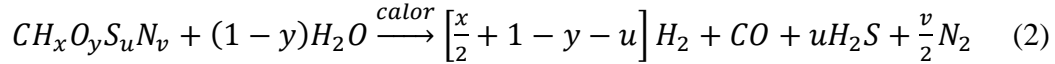
Outra dificuldade relaciona-se com limitações ópticas da biomassa que impedem uma absorção eficaz da radiação solar. Estas dificuldades são causadas pelo facto de alguns componentes da biomassa reflectirem a radiação solar e apresentarem baixos valores de absorptividade.

As restantes dificuldades principais estão relacionadas com um tipo específico de reactor, os reactores de leito fluidizado. Nestes reactores as partículas de biomassa podem atravessar repetidas vezes a zona focal, o que leva à existência de uma sequência de aquecimentos e arrefecimentos rápidos que levam à formação de compostos secundários como o carvão vegetal. Por outro lado o próprio movimento das partículas de biomassa leva a que as partículas directamente expostas à radiação solar bloqueiem a passagem desta para partículas que estejam numa parte mais afastada do reactor. Por forma a atingir e manter as condições para uma pirólise rápida poderá desenhar-se e utilizar-se um sistema mecânico que remova os produtos primários da zona focal assim que os mesmos se formem. Alternativamente o processo pode ser concebido de forma a funcionar em sequências de aquecimento e arrefecimento rápido.

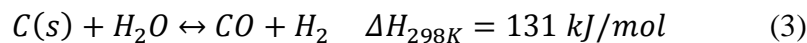


### 4.2 - Gaseificação Solar

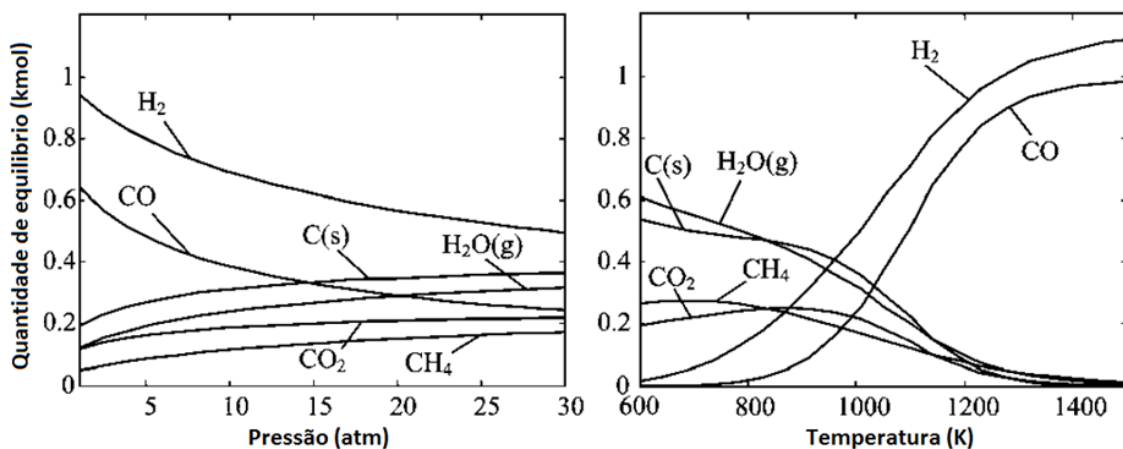
A gaseificação da biomassa desenrola-se em torno de dois processos: a pirólise e a gaseificação do carvão vegetal. De uma forma global, ignorando impuridades presentes na matéria prima bem como os compostos minerais e a água existentes na biomassa, a reacção de gaseificação pode ser descrita como:



A fase inicial da reacção, a pirólise, ocorre para temperaturas entre os 500 e os 900 K e leva à quebra das ligações químicas das moléculas da biomassa libertando gases ricos em hidrogénio, compostos condensáveis e carvão vegetal. Na fase seguinte o carvão vegetal é gasificado de acordo com a seguinte reacção global:



Acima de 1100 K a reacção de gaseificação processa-se em condições bastante favoráveis, possuindo uma cinética de reacção bastante rápida e com o equilíbrio da reacção a ser atingido do lado dos produtos. Um aspecto interessante da conversão termoquímica da biomassa é a possibilidade de ajustando os parâmetros de reacção, nomeadamente a temperatura, pressão e tempo de estadia no reactor, se controlar a composição do gás de síntese produzido. Esta característica é visível na figura 6:



**Figura 6** – Composição de equilíbrio estequiométrico para a gaseificação de carvão vegetal em função da pressão ( $T=1000$  K) e em função da temperatura ( $P = 10$  atmosferas). Apenas são representadas espécies com mais de 1 mol (Piatkowski et al., 2011).

A gaseificação solar é o processo de conversão termoquímica da biomassa a partir de energia solar que apresenta maiores potencialidades para a produção de combustíveis solares, pelo que tem recebido maior atenção em termos de investigação e desenvolvimento. Efectivamente o uso de energia solar concentrada nos processos de gaseificação da biomassa é bastante vantajoso pois permite eliminar o recurso a combustíveis externos e a conversão de toda a biomassa utilizada, ao evitar os autoconsumos que no caso da gaseificação auto térmica do carvão representam pelo menos 35% do carvão injectado. Outra vantagem é a geração de produtos com maior

poder calorífico, pois a energia solar aumenta a energia disponível no sistema durante a reacção termoquímica. Por exemplo, o gás de síntese produzido a partir da gaseificação solar do carvão liberta até menos 33% de CO<sub>2</sub> por unidade de energia produzida quando comparado com o singas produzido pelos métodos convencionais. Análises exergéticas indicam que centrais termoeléctricas de ciclo combinando alimentadas por singas produzido por gaseificação solar possuem uma intensidade específica de CO<sub>2</sub> entre os 0,49 e os 0,56 kg CO<sub>2</sub>/kWh – aproximadamente metade das centrais termoeléctricas a carvão e na mesma ordem e grandeza das centrais termoeléctricas a gás natural. Comparando com os processos de gaseificação convencionais os produtos da gaseificação solar contêm menos CO<sub>2</sub> e N<sub>2</sub> e não necessitam de fornecimento externo de O<sub>2</sub>, reduzindo as necessidades de equipamentos para filtração e separação dos produtos e para fornecimento de O<sub>2</sub>. Note-se ainda que a radiação solar concentrada pode ainda ser utilizada para o craqueamento dos contaminantes formados no processo de gaseificação (bem como no da pirólise) e como tal ser usada como substituta dos processos catalíticos tipicamente utilizados na purificação dos produtos gasosos.

### 4.3 – Reactores

Os reactores solares podem ser divididos entre os reactores de irradiação directa e os reactores de irradiação indirecta. Nos primeiros os reagentes são expostos directamente à radiação solar concentrada o que leva a uma transferência de calor mais eficiente, pois a energia incide directamente no local da reacção. No entanto, os reactores de irradiação directa implicam a existência de uma janela transparente por onde entra a radiação solar o que pode originar problemas nas aplicações de grande capacidade ou em condições de pressões elevadas e em determinadas atmosferas gasosas. Uma fracção dos líquidos e sólidos resultantes dos processos de pirólise ou alguns resíduos secundários do processo de gaseificação são produzidos sob a forma de aerossóis que se podem depositar ou condensar na janela do reactor. Em resultado desta deposição o fluxo de energia solar disponível no interior do reactor diminui e a janela é aquecida, o que pode levar à sua quebra. A não existência de janela implicaria o funcionamento a baixa pressão o que acrescentaria a necessidade de compressão posterior do singas por forma a poder ser utilizado em processos de Fischer-Tropsch e Haber-Bosch com severas penalizações energéticas devido aos gastos adicionais em compressão. Nos reactores de radiação indirecta o calor é transferido para o local da reacção por condução através de uma parede opaca, diminuindo a eficiência da transferência de calor.

Por outro lado pode-se caracterizar o reactor em termos do fluxo da biomassa, dividindo-se estes entre reactores de leito fixo, de leito fluidizado e de leito arrastado. Os reactores de leito fixo são usualmente mais simples e robustos, sendo mais flexíveis pois são capazes de processar matéria-prima com uma grande variedade de formas e dimensões, não necessitando de caudais de vapor adicionais, o que os torna mais económicos. No entanto, a utilização de um leito fixo, geralmente poroso, limita as taxas de transferência de calor e massa do reactor, o que limita a reacção de conversão termoquímica. Outra desvantagem desta tipologia de reactor advém da acumulação de resíduos na superfície do leito, diminuindo a sua capacidade de absorção de radiação solar. Os reactores de leito fluidizado apresentam taxas de transferência de calor e massa elevadas, quando comparados com os valores obtidos em reactores de leito fixo. No entanto, este melhor desempenho resulta da necessidade de processar a matéria-prima em pequenas partículas (tipicamente com menos de 5mm) e a introdução de

vapor ou gás adicional, por forma a fluidizar o leito, o que implica um gasto acrescido de energia.

A par das dificuldades já mencionadas, características de cada tipo de reactor, a intermitência da radiação solar é uma característica que afecta de forma transversal todos os conceitos de reactor pelo que estes têm de ser projectados de forma a trabalharem em condições transientes com impacto mínimo no processo de conversão termoquímica da biomassa. Assim, na optimização dos reactores solares é crucial o desenho dos reactores e a determinação das condições de operação (temperatura e pressão) por forma a encontrar a combinação de perdas térmicas, velocidades de reacção e entalpias de reacção que maximizem a eficiência do processo de conversão termoquímica.

No últimos anos novas configurações de reactores para processos de gaseificação solar têm vindo a ser propostos, como reactores de leito fixo de irradiação indirecta, reactores de vórtice de irradiação directa ou reactores de leito arrastado de irradiação indirecta, sendo esta uma área ainda longe da maturidade com amplo espaço para novos desenvolvimentos antes de se atingir a produção em larga escala destes combustíveis solares.

### 5. CONCLUSÕES

No domínio das aplicações visando a produção de electricidade por via termosolar, o conjunto de tecnologias disponíveis e as condições de mercado, passando pela legislação favorável em alguns estados, permitiu a construção de centrais solares numa escala muito grande em Espanha mas que entretanto se alargou em escalas diferentes a outros continentes com avanços nos E.U.A., no norte de Africa, México, Brasil, Chile, Africa do Sul, China, Médio Oriente e Austrália. Esse desenvolvimento permite no presente encarar naturalmente essa aplicação como sendo concorrencial no médio prazo (por volta de 2020) com outras tecnologias de produção de electricidade com origem renovável. A curva de aprendizagem está a ser feita e existe um grande potencial de redução de custos bem identificados na Iniciativa Industrial Solar Europeia, promovida pelo SET-Plan da UE.

As outras aplicações para os sistemas ópticos de alta concentração da radiação solar, como seja a produção dos combustíveis solares e passando por um maior conhecimento e estudo do armazenamento térmico a alta temperatura, estão ainda num estágio de menor desenvolvimento, pelo que se exige ainda um esforço adicional de I&D. Está em causa um maior e melhor conhecimento dos processos químicos e termoquímicos como também o domínio tecnológico e a engenharia dos reactores que terão de ser desenhados de acordo com as especificidades de cada um dos processos em causa.

As potenciais aplicações no sector agro-industrial são imensas e em conjunto com outras medidas de racionalização e de melhoria da eficiência energética no sector, poderão contribuir para a diversificação e um maior contributo para a economia nacional.

### 6. BIBLIOGRAFIA

Crespo, L. (2009) Protermosolar. CSP Today, 3<sup>rd</sup> Concentrated Solar Thermal Power Summit, 11-12 Nov., Sevilla.

European Solar Thermal Electricity Association (2013) *Solar Thermal Electricity – Strategic Research Agenda 2020-2025*, ESTELA, Bélgica

Kodama, T. (2003) *Solar chemistry for converting solar heat to chemical fuels*. Prog. Energ. Combust. 29, 567-597

Lédé, J. (1999) *Solar Thermochemical Conversion of Biomass*. Sol. Energy, 65(1), 3-13

Piatkowski, N., Wieckert, C., Weimer, A., Steinfeld, A. (2011) *Solar-driven gasification of carbonaceous feedstock – a review*. Energy Environ. Sci., 4, 73-82

POSHIP Project Consortium (2001) *The Potential of Solar Heat for Industrial Processes – Final Report* – available online at [http://www.solarpaces.org/Library/docs/POSHIP\\_Final\\_Report.pdf](http://www.solarpaces.org/Library/docs/POSHIP_Final_Report.pdf) as of June 2013

Rabl, A. (1985) *Active Solar Collectors and Their Applications*, Oxford University Press, USA

Romero, M. e Steinfeld, A. (2012) *Concentrating solar thermal power and thermochemical fuels*. Energy Environ. Sci., 5, 9234-9245

Schweiger, H., Farinha Mendes, J., Carvalho, M. J., Henneke, K. and Krüger, D. (2007) *Solar Heat for Industrial Processes*. Advances in Solar Energy, An Annual Review of Research and Development in Renewable Energy Technologies, Volume 17, Editor-in-Chief Yogi Goswami, Earthscan

### **ENERGIA, AMBIENTE, ECONOMIA E OLIVAL NO ALENTEJO. ESTUDO PRELIMINAR.**

F. Baptista<sup>1</sup>, D. Murcho<sup>1</sup>, L. L. Silva<sup>1</sup>, J. R. Marques da Silva<sup>1</sup>, C. Marques<sup>2</sup>, A. Dias<sup>1</sup>, J. O. Peça<sup>1</sup>, A. Sousa<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade de Évora, Escola de Ciências e Tecnologia, Departamento de Engenharia Rural. ICAAM - Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas, Núcleo da Mitra, Ap. 94, 7002-554 Évora, Portugal

<sup>2</sup> Universidade de Évora, Centro de estudos e Formação Avançada em Gestão e Economia (CEFAGE), Departamento de Gestão. ICAAM - Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas, Núcleo da Mitra, Ap. 94, 7002-554 Évora, Portugal

#### **Resumo**

Prevê-se que o consumo de energia na agricultura irá aumentar significativamente nos próximos anos com a intensificação dos sistemas de produção. As melhorias na eficiência energética dos sistemas de produção estão relacionadas com a redução do uso de energia para um determinado serviço ou nível de actividade, ou a um aumento de produtividade para a mesma energia consumida. Os sistemas de produção agrícola estão muito dependentes de um consumo directo de energia (combustíveis), mas também de um consumo indirecto devido à energia gasta na produção de diversos factores de produção. Uma correcta avaliação de consumos energéticos deve considerar estas duas componentes. Neste trabalho analisaram-se 3 sistemas de produção do Olival (tradicional, intensivo e super-intensivo), uma das culturas mais importantes em Portugal. Para cada sistema de produção, calcularam-se os custos de capital e de operação das diferentes actividades, assim como os consumos energéticos (directos e indirectos) e o nível de emissões de gás com efeito estufa (GHG) traduzido em CO<sub>2</sub>eq. Verificou-se um acréscimo significativo de energia consumida, de produção de GHG e custos totais com a intensificação da produção. Mas também um aumento significativo da produção o que conduziu a um maior lucro para o agricultor. O sucesso da actividade agrícola está dependente do lucro, pelo que nesta cultura a tendência será caminhar para a intensificação. Deste modo será difícil diminuir o consumo de energia associado à produção do olival, mas será necessário aumentar a sua eficiência de utilização. Dado o elevado grau de mecanização dos sistemas intensivos, o aumento da eficiência energética na produção de azeitona no Alentejo terá de passar pela melhoria nas práticas de gestão culturais, no sentido de otimizar o uso das máquinas que lhes estão associadas. Ou ainda pela utilização de técnicas de agricultura de precisão numa tentativa de reduzir e otimizar a utilização de diferentes factores de produção, entre outras potenciais alternativas.

**Palavras-chave:** eficiência energética, consumo de energia, gases de efeito de estufa, custos de produção, olival intensivo.

#### **Abstract**

Energy consumption in agriculture will increase significantly in the future due to the intensification of production systems. The improvements in energy efficiency of agricultural production systems can be related with the reduction of energy use or an

increase in productivity for the same level of energy consumption. Agricultural production systems are very dependent on direct energy consumption (fuel), but also on indirect energy consumption, due to the energy required for the production of different agricultural input factors. A correct evaluation of energy consumption should consider not only direct but also indirect energy use. In this work three different olive production systems were analysed: traditional, intensive and super-intensive. For each production system, production costs, consumed energy (direct and indirect) and greenhouse gas emissions (GHG) were calculated. The results show a significant increase in consumed energy, GHG emissions and total production costs with the intensification of the production system. Nevertheless, there was also an increase in olive production that led to a profit increase for the farmer. The success of agricultural activities is dependent of attained profit; therefore the tendency will be towards production intensification in olive groves. This means that it will be difficult to decrease energy consumption associated with olive grove production systems, but it will be necessary to increase its efficiency use. Due to the high mechanization level of the intensive olive grove production systems, the olives production in the Alentejo region will have to go through some changes in the management of the agricultural practices, in order to optimize machinery use associated with these production systems. Other possible solution could be the use of precision agriculture techniques, in order to reduce and optimize the use of different agricultural input factors.

**Keywords:** energy efficiency, energy consumption, greenhouse gas emissions, production costs, olive groves

### 1. Introdução

Prevê-se que o consumo de energia aumente significativamente nos próximos anos, com um importante impacto na economia em geral, incluindo o sector agrícola. Torna-se assim necessário estudar as possibilidades de produzir utilizando menos energia e/ou melhorar a eficiência da energia utilizada. As melhorias na eficiência energética dos sistemas de produção estão relacionadas com a redução do uso de energia para um determinado serviço (aquecimento, iluminação, bombagem, etc.) ou nível de actividade (produção mais ou menos intensiva, com maior ou menor consumo de factores de produção). A redução no consumo de energia está também associada às mudanças tecnológicas, melhorias na organização e gestão dos sistemas, ou melhorias das condições económicas do sector. Pode ainda considerar-se como um aumento de eficiência energética as situações em que o aumento de consumo de energia está associado a um aumento da produtividade (reduzindo a intensidade energética).

Os sistemas de produção agrícola estão ainda muito dependentes da utilização de energia proveniente de fontes fósseis. Existe consumo de energia directa, gasóleo ou electricidade para realizar determinadas actividades agrícolas, mas também de energia indirecta através de factores de produção como p.e. os fertilizantes ou pesticidas. Segundo Woods et al. (2010) e Pelletier et al. (2011) cerca de 50 % ou mais da energia total utilizada na agricultura está relacionada com a produção de fertilizantes azotados e outras utilizações indirectas da energia. Significa isto que não é suficiente estudar o consumo directo de energia nas actividades agrícolas. É necessário também avaliar os consumos indirectos de modo a conseguir melhorar a eficiência energética na produção agrícola.

Este trabalho foi realizado no âmbito do Projecto AGREE, financiado pela Comissão Europeia no âmbito do 7º Programa. Trata-se dum projecto cujo objectivo primordial é mostrar à Comissão Europeia que existe grande potencial de poupança de energia na agricultura com vantagens do ponto de vista ambiental e económico, sendo necessário continuar a desenvolver investigação associada ao tema da eficiência energética na Agricultura. De entre as diferentes actividades agrícolas estudadas no âmbito deste projecto, seleccionámos a cultura do Olival como caso de estudo a apresentar. Segundo o INE (2011), de acordo com a informação recolhida no recenseamento agrícola de 2009, trata-se da cultura permanente que ocupa a maior área agrícola utilizável (52%), numa área total de mais de 335 000 ha, dos quais praticamente 50% se localizam no Alentejo. Cerca de 47 % da área ocupada por olival apresenta uma densidade de plantação até 100 árvores/ha, constituindo aquilo que se poderia chamar de olival tradicional, 44% corresponde a olival intensivo (entre 100 e 300 árvores), e apenas 4% tem uma densidade de plantação superior a 700 árvores/ha. Se considerarmos o olival super-intensivo, com densidade de plantação acima das 1500 árvores por ha, então teremos apenas 3% da área total de olival com este sistema de produção, concentrado fundamentalmente no Alentejo. O objectivo principal deste caso de estudo é o de analisar os custos de produção, consumo de energia e impactos ambientais dos três sistemas de produção no olival: Tradicional, Intensivo e Super-intensivo.

### **2. Metodologia**

A metodologia utilizada tem como base a análise de ciclo de vida (Audsley et al. 1997; Nemecek and Erzinger 2005). No caso em estudo limitou-se a análise à produção da azeitona no interior da parcela do agricultor, deixando de fora todo o processo de transformação associado à produção de azeite. O estudo foi feito utilizando a informação de uma exploração agrícola localizada na região Alentejo e onde se praticam os três sistemas de produção do olival acima referidos. O sistema tradicional apresenta uma densidade de plantação de 100 árvores por hectare, o sistema intensivo com uma densidade de plantação de 314 árvores por hectare e o sistema super-intensivo com 1975 árvores/ha.

Na tabela 1 são apresentados os principais factores de produção utilizados nas práticas culturais realizadas em cada um dos sistemas de produção. A cultura é produzida sem mobilização do solo, que apenas aconteceu aquando da instalação do olival. Para cada sistema de produção, calcularam-se os custos de capital e de operação das diferentes actividades, assim como os consumos energéticos (directos e indirectos) e o nível de emissões de gás com efeito de estufa (GHG), traduzido em CO<sub>2</sub>eq.

No caso dos custos de capital e de operação, os cálculos incluem as operações anuais, mas também os custos de instalação, amortizados em função da vida útil. A instalação dos diferentes olivais é idêntica em termos de operações realizadas, variando apenas no número de árvores plantadas. No caso das máquinas agrícolas utilizadas nas diferentes operações culturais os custos de amortização foram calculados também com base na vida útil das diferentes máquinas.

A conversão para valores de energia e GHG baseou-se em coeficientes publicados na literatura ou obtidos na base dados do projecto Biograce ([www.biograce.net](http://www.biograce.net)).

*Tabela 1 – Principais factores de produção e consumos de energia utilizados no olival em estudo*

	<b>TRADICIONAL</b>	<b>INTENSIVO</b>	<b>SUPER-INTENSIVO</b>
<b>Fertilização (kg s.a./ha)</b>	17 kg de N 15 kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 12 kg de K <sub>2</sub> O Nalguns casos apenas se aplicou azoto.	72 kg de N 16 kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 70 kg de K <sub>2</sub> O Fertilizante aplicado na água de rega.	140 kg de N 60 kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 100 kg de K <sub>2</sub> O Fertilizante aplicado na água de rega.
<b>Pesticidas (kg s.a./ha)</b>	2 kg	10 kg	12 kg
<b>Rega</b>	Sem rega	Rega gota-a-gota Maio a Outubro 2 000 m <sup>3</sup> /ha	Rega gota-a-gota Maio a Outubro 2 400 m <sup>3</sup> /ha
<b>Controlo de infestantes</b>	Mecânico: 1 - 3 vezes/ano	Herbicida	Herbicida
<b>Poda</b>	Poda intensa cada 6 anos	Poda ligeira cada 2 - 4 anos	Poda ligeira anual
<b>Colheita (Nov a Dez)</b>	Manual com apoio de um tractor e reboque.	Vibrador automotriz ou vibrador montado em tractor (100 a 150 hp). Recolha da azeitona em painéis movimentados manualmente ou em aparafritos montado no tractor.	Máquina de colheita cavalgante automotriz
<b>Produção média (ton/ha)</b>	1,5	8,8	11
<b>Vida útil</b>	>30 anos	30 anos	15 anos

### 3. Resultados

O quadro 1 apresenta os principais resultados obtidos no estudo relativamente ao custo de produção por hectare, energia primária consumida (PEC) e produção de gases com efeito estufa (GHG) em cada um dos sistemas de produção.

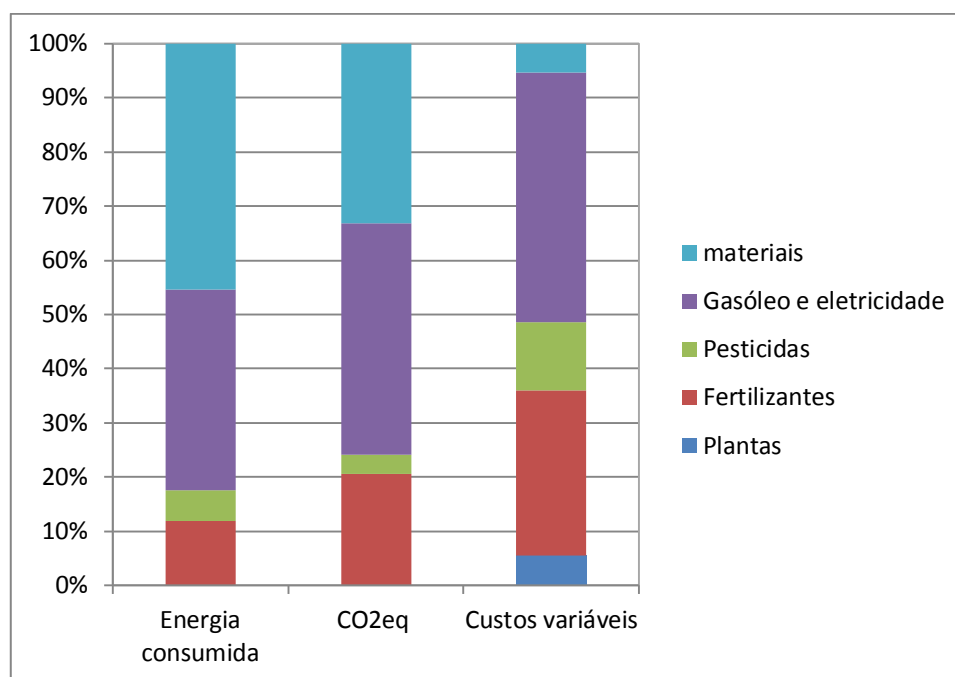


**Quadro 1** – Custos totais, energia primária consumida (PEC) e produção de gases com efeito estufa (GHG), nos diferentes sistemas de produção do olival.

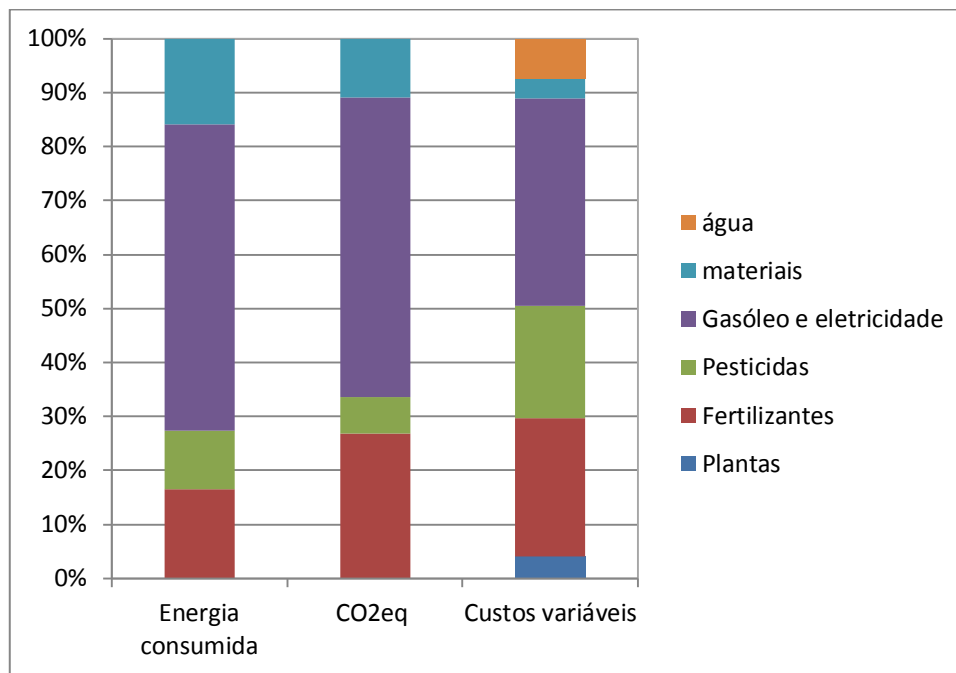
	Custos totais €/ha	PEC MJ/ha	GHG kg CO <sub>2</sub> eq/ha
Tradicional	943,4	9621,11	610,49
Intensivo	1772,38	28819,08	1898,08
Super-intensivo	2120,67	33113,84	2399,90

Olhando para os valores calculados é fácil de verificar o aumento nos custos de produção à medida que aumenta o número de árvores por hectare. Não só os custos, como também o consumo de energia e, a produção de mais gases com efeito estufa. Por outro lado, um maior número de árvores por hectare conduz a maiores produções (Tabela 1) e consequentemente maior lucro para o agricultor.

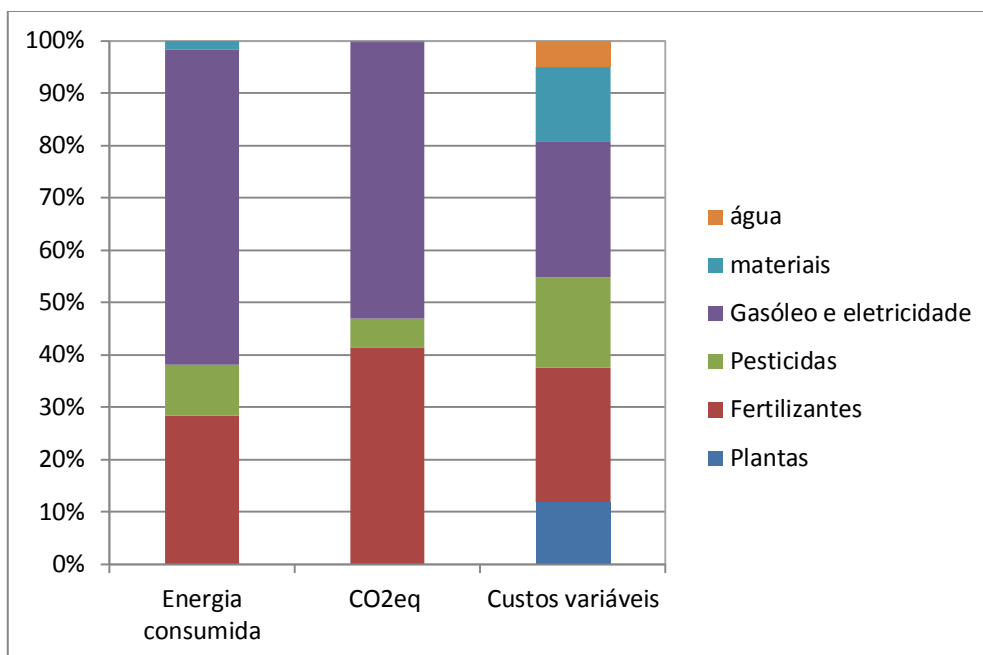
Nas figuras 1 a 3 podemos ver a contribuição relativa dos diferentes factores de produção para o consumo total de energia, produção de gases com efeito de estufa e custos variáveis de produção nos três sistemas de produção analisados.



**Figura 1** – Contribuição relativa de diferentes factores de produção no consumo de energia, produção de gases com efeito de estufa e custos variáveis de produção do sistema tradicional.



**Figura 2** – Contribuição relativa de diferentes factores de produção no consumo de energia, produção de gases com efeito de estufa e custos variáveis de produção do sistema intensivo.

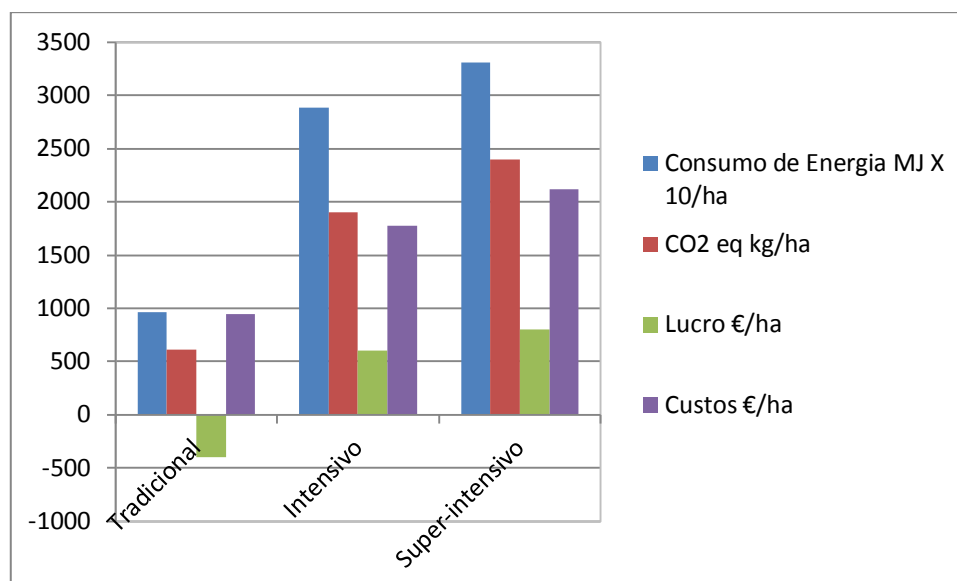


**Figura 3** – Contribuição relativa de diferentes factores de produção no consumo de energia, produção de gases com efeito de estufa e custos variáveis de produção do sistema super-intensivo.

É notório o aumento do consumo de gasóleo e electricidade com a intensificação do sistema de produção. No caso do gasóleo devido a um maior grau de mecanização das operações culturais, mais aplicações de pesticidas, maior periodicidade das podas e mais

necessidade de trabalho de máquinas nas operações de colheita. No caso da electricidade fundamentalmente pelo aumento do número de horas de rega. Nos sistemas intensivo e super-intensivo a maior fatia de consumo energético, produção de GHG e custos variáveis está associada ao combustível necessário para as diferentes operações culturais. Nestes sistemas o consumo de gasóleo e electricidade corresponde, respectivamente, a 57% e 60% da energia total consumida. Os fertilizantes apresentam também uma contribuição significativa no consumo de energia (16 % e 28 %, respectivamente), nos custos variáveis (27% e 41%, respectivamente) e na produção de GHG (26% em ambos), seguidos dos pesticidas. Estes resultados mostram a importância dos consumos indirectos de energia na estimativa dos consumos totais de energia necessários para a produção agrícola. A intensificação da produção traz associado também um maior investimento em árvores. Nos sistemas tradicionais existe uma significativa contribuição dos materiais para a energia total consumida (45%). Nos materiais está considerado os panos para a colheita, os tutores e os protectores usados aquando da instalação.

Na figura 4 apresentam-se os valores totais de energia consumida, produção de GHG, custos e lucro de cada um dos sistemas de produção. Verifica-se um acréscimo significativo de energia consumida, de produção de GHG e custos totais com a intensificação da produção. Do mesmo modo, verifica-se que o sistema tradicional, neste caso estudo, dá prejuízo, enquanto os sistemas intensivo e super-intensivo apresentam lucro.



**Figura 4** – Valores totais dos consumos de energia, produção de GHG (CO2), custos e lucro dos diferentes sistemas.

Deste estudo podemos facilmente verificar que o aumento da eficiência energética na produção de azeitona no Alentejo terá de passar pela alteração da gestão de práticas culturais, no sentido de otimizar o uso das máquinas que lhes estão associadas. Um exemplo daquilo que se pode fazer nesta área é dado por Peça et al. (2004) que têm trabalhado no desenvolvimento de equipamentos de colheita da azeitona adaptado aos olivais intensivos e super-intensivos, capazes de melhorar a eficiência das operações de colheita, aumentando a capacidade de colheita e diminuindo a necessidade de gasóleo

necessário para estas operações. Outra estratégia passará por utilizar técnicas de agricultura de precisão, que permitam uma aplicação diferenciada de factores, diminuindo o desperdício de factores de produção e das operações que estão associadas à sua aplicação.

#### 4. Conclusões

Na inventariação dos consumos energéticos é necessário ter em consideração não só os consumos directos, mas também os indirectos. Os valores encontrados no caso de estudo mostram muitas vezes que existe uma percepção errada de quais as operações mais consumidoras de energia. A comparação entre os consumos energéticos de diferentes sistemas de produção permite identificar operações onde se podem implementar alterações para aumentar a eficiência energética. No caso do olival, o maior consumo de energia associado aos sistemas intensivos e super-intensivos trazem como contrapartida um aumento da produção, e do lucro, mas também uma redução da mão-de-obra necessária, já que são sistemas altamente mecanizados. O sucesso da actividade agrícola está dependente do lucro, pelo que nesta cultura a tendência será caminhar para a intensificação, que é mais consumidora de energia em termos absolutos, mas que pode ser menos consumidora por kg de azeitona produzida, e nesse caso mais eficiente do ponto de vista de utilização da energia.

#### 5. Bibliografia

- Audsley E, Alber S, Clift R, Cowell S, Crettaz P, Gaillard G, Hausheer J, Jolliet O, Kleijn R, Mortensen B, Pearce D, Roger E, Teulon H, Weidema B, van Zeijts H. 1997. Harmonisation of life cycle assessment for agriculture. Final report, Concerted Action AIR3-CT94-2028. European Commission DG VI Agriculture, Silsoe.
- INE, I.P. 2011. Recenseamento Agrícola 2009. Análise dos principais resultados. Lisboa, Portugal. 185 pp.
- Nemecek T, Erzinger S. 2005. Modelling representative life cycle inventories for Swiss arable crops. *Int J Life Cycle Assess* 10(1):1–9.
- Peça J., Almeida A., Pinheiro A., Dias A., Santos L., Lopes J., Gomes J. and Reynolds D. 2004. Mechanical Harvesting of 400 trees per hectare Olive Orchards based on a Rolling Canvas Prototype. *Acta Horticulturae* 791:363-367.
- Pelletier, N., Audsley, E., Brodt, S., Garnett, T., Henriksson, P., Kendall, A., Kramer, K., Murphy, D., Nemecek, T. and M.Troell. (2011). Energy intensity of agriculture and food systems. *Annual Review of Environment and Resources* 36:233-246.
- Woods J., Williams A., Hughes J.K., Black M., Murphy R. (2010). Energy and the food system. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 365 (1554):2991-3006.

