

# Exame de Energias Alternativas

## 2002-03

Artur Palha n<sup>o</sup> 46724

12-6-2003

### Exercício 1

**Os capítulos 5, 12, 13 e 14 do livro “Energias Renováveis, a Opção Inadiável” explicam e propõem uma contribuição das Energias Renováveis para 2010 que poderá atingir valores superiores a 2.4 Mtep (energia final) por ano. Os argumentos foram desenvolvidos no contexto do final de 1998. 5 anos passaram e a situação evoluiu, em termos nacionais e internacionais. Por exemplo: houve o Programa E4, houve o acordo de Quioto e há um melhor conhecimento sobre a situação dos recursos em hidrocarbonetos. Analise e comente os principais argumentos apresentados, tentando actualizar as conclusões. (nota: seja sintético, não utilizando mais de 3 páginas A4)**

No livro[4] é apresentado, inicialmente, um panorama da utilização de energias renováveis em Portugal (1997), podendo-se aí, constatar que as grandes contribuições são, fundamentalmente, da grande hídrica e da lenha de uso tradicional. Os valores apresentados revelam, contudo, alguma incerteza – no caso da hídrica dependente, essencialmente, da pluviosidade do ano, no caso da lenha dependente, em parte, do desconhecimento que se tem do mercado paralelo que existe – colmatada, como é afirmado, pela contribuição de todas as outras energias renováveis (ER), resultando numa contribuição global destas da ordem dos 12% em média, para o total de consumo de energia final do país, e que correspondia, em 1997, a  $1750\text{ktep}\cdot\text{ano}^{-1}$ .

De seguida é focada a imposição da União Europeia, no contexto do Livro Branco, de se duplicar a contribuição das ER até 2010. No caso português pretende-se a duplicação da contribuição das ER, à excepção da grande hídrica, ou seja, passar de 6% para 12%. A estimativa de aumento, até 2010, em exploração das ER em mini e micro-hídrica, eólica, solar, ganhos solares (solar passivo), biomassa, RSU, ondas e geotermia, conduz a um valor no intervalo [14.9, 17.2]%.

Para que este aumento se verifique, os custos de investimento encontram-se entre os 3375 e os 4305 milhões de euros, não contando com algumas das contribuições, ficando-se pelos 10,12% a contribuição final das ER (sem a grande hídrica). Valor este que, olhando para o investimento feito na introdução do gás natural, que terá uma contribuição energética mínima de 10%, se pode dizer comparável.

Sendo desejável, alcançável e imperativo uma contribuição de 24% das ER até 2010, indicando-se, por isso, algumas das barreiras ao desenvolvimento da implantação das ER em Portugal – e em diversos países. Estas barreiras passam pela resistência à mudança, ao pré-conceito em relação às ER, à falta de informação, ao papel defensivo das multinacionais ligadas ao comércio, distribuição e produção das energias convencionais, por forma a manterem o seu mercado e, também, à própria política governamental, ou ausência dela.

As estratégias apresentadas para ultrapassar todas estas barreiras focam diversos pontos, nomeadamente, os meios financeiros, infra-estruturas, regulamentação, certificação, meios institucionais e educação/formação.

Os meios financeiros centram-se em medidas de incentivo/apoio à utilização das ER, como o aumento de benefícios fiscais (dedução à colecta de uma percentagem do valor do investimento realizado, continuação da aplicação do IVA à taxa de 5% nas ER, apoio por parte das instituições bancárias, com juros bonificados, para a aquisição de infra-estruturas de ER); um aumento do preço do kWh das ER, por forma a nivelar o mercado, acelerando o tempo de retoma do capital investido e a criação da chamada electricidade verde.

No que respeita às infra-estruturas refere-se a urgência de uma política mais aberta por parte da REN<sup>1</sup> para que possam ser injectadas na rede eléctrica as contribuições das ER. É também feita uma contabilização dos custos deste alargamento/abertura da rede.

No plano da regulamentação é indicado que, mais do que a criação de nova regulamentação – indispensável em certos casos – é necessária uma política, ou prática, de cumprimento da legislação existente, coisa que não se verifica. Para isso são dados os exemplos dos regulamentos conhecidos por RCCTE<sup>2</sup> e por RSECE<sup>3</sup> que, de todo, não são cumpridos. Apesar de, como é referido, serem, os dois “(. . .) tecnicamente correcto, na boa direcção. Mas o que se ignoram são os resultados.”

No campo da certificação há ainda muito por realizar, quer no que respeita ao equipamento de exploração de ER, aos edifícios e aos técnicos.

E é chamada a atenção para o papel a desempenhar pelas empresas, associações e entidades congéneres. É aqui focado a importância das empresas não se demitirem, não tanto como um dever moral mas a curto/médio prazo uma necessidade sua imperiosa.

A penetração das ER, na ordem dos 16%, pode ser atingida com um “esforço de investimento que é sobretudo de carácter não público (...) [para que se deixe] funcionar o mercado o mais cedo e o mais completamente possível.”

Actualmente, dois grandes documentos encontram-se na mesa e alteram um pouco as regras do jogo: a nível mundial o acordo de Kyoto, com a sua imposição no que diz respeito à redução de emissões de gases produtores de efeito de estufa, veio estabelecer a meta de 2010 como limite imperativo, findo o qual, não sendo cumpridos os compromissos, pesadas multas serão impostas aos países incumpridores. Kyoto vem, também, sublinhar a importância das ER tanto na economia dos países – permitindo um desenvolvimento sustentável – como na redução dos gases de efeito de estufa – com efeito a médio prazo –, como, ainda, na melhoria imediata das condições ambientais das populações.

A revisão das reservas de combustíveis fósseis, para valores menos generosos, veio impor uma outra meta, ainda mais inviolável e, também ela próxima, da de Kyoto.

A nível nacional, em Portugal, o plano E4 onde, tal como se pode ler na introdução, se considera que

“A evolução do sistema energético nacional nos últimos anos caracteriza-se, nomeadamente, por uma forte dependência externa e conseqüente crescimento da factura energética e por uma elevada intensidade energética do PIB, a maior dos países membros da União Europeia e ainda com tendência de crescimento, quando se regista um decréscimo na generalidade dos Estados Membros e para a média comunitária.”

Este programa apresenta metas interessantes, como a duplicação da potência eléctrica instalada por via renovável e o objectivo dos 39% de energia eléctrica de origem renovável num horizonte de dez a quinze anos. Procura também aumentar a implantação da energia solar térmica.

Algumas das suas medidas são:

- Implementação do processo de tributação energética segundo as perspectivas mais modernas e estimulantes para a competitividade das empresas e a salvaguarda dos valores ambientais.

---

<sup>1</sup>Rede Eléctrica Nacional, SA

<sup>2</sup>Regulamento das Características do Comportamento Térmico de Edifícios

<sup>3</sup>Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

- Regulamentação do mercado de emissões de gases de efeito de estufa no sector energético, no âmbito da estratégia do Governo para as alterações climáticas.
- Reformulação e valorização do papel da Agência de Energia.
- Melhoria da gestão da capacidade de recepção, pelas redes do Sistema Eléctrico de Serviço Público, da energia eléctrica proveniente do Sistema Eléctrico Independente (produtores não vinculados e produtores em regime especial).
- Promoção de medidas de eficiência energética nos edifícios do Estado e dos Corpos Administrativos.
- Actualização e reforço das acções tendentes à promoção da eficiência energética nos edifícios (RCCTE – Decreto-Lei nº 40/90 de 6 de Fevereiro) e nos sistemas energéticos de climatização em edifícios (RSECE – Decreto-Lei nº 118/98 de 7 de Maio).
- Promoção da utilização de veículos de propulsão eléctrica no espaço urbano, nomeadamente em frotas destinadas a apoio na prestação de serviços públicos.

O panorama e os argumentos apresentados são, hoje e passados 6 anos, de uma enorme actualidade, quer pela necessidade cada vez mais imperativa do recurso às ER, quer pela evidência das possibilidades tecnológicas entretanto desenvolvidas.

O acordo de Kyoto existe, e foi assinado, expressando-se com que uma preocupação mundial pelas questões energéticas, ambientais e de desenvolvimento sustentável das populações. O programa E4 poderá, também, significar um empurrão ao desenvolvimento das ER, apresentando resultados práticos notáveis, nomeadamente ao nível do aumento exponencial das concessões para exploração do parque eólico.

Perante tudo isto paira o mistério: porque é que não se verificaram substanciais alterações de 1997 até hoje?

Os EUA, um dos maiores emissores de gases produtores de efeito de estufa, desdisse o que havia assinado em Kyoto, defendendo-se por detrás da “necessidade de desenvolver a sua economia”. O programa E4 foi como que congelado num recente conselho de ministros. Observa-se assim, uma hesitação constante, uma oscilação constante entre os interesses reais e os interesses económicos imediatos e de curto prazo. E Portugal, procurando “ir atrás da caravana” espera ter um pouco de acesso a todo o ouro negro que ainda jaz no médio Oriente, tanto mais que a situação económica do país e a opção política do actual governo em cortar em todas as despesas conduz a um retrocesso no E4 permitindo-nos prever que não se fará um investimento significativo no desenvolvimento das ER em Portugal. Opta-se pela política do curto prazo e imediatista.

Juntando a isto a condição económica do país e o desejo desenfreado, e um pouco inconsciente, da nossa ministra da economia, de cortar em todas e quaisquer despesas, percebe-se, por exemplo, o retroceder no E4 e permite-nos prever que talvez não se verá qualquer grande investimento no desenvolvimento das ER em Portugal.

Existe ainda a aversão por parte da REN em abrir a sua rede à ER, desculpando-se na enorme dificuldade de tal acto, escondendo por trás, talvez, não só um economicismo avarento mas também uma enorme inércia ao fazer algo diferente.

A vontade política, que hoje não existe, de alterar esta situação surgirá, somente, no momento em que não haja alternativas do ponto de vista económico. Hoje e ontem, pela pressão de ambientalistas, cientistas e cidadãos comuns, assinam-se Acordos Mundiais e traçam-se Planos de desenvolvimento das ER que, como que fatalmente, não são cumpridos pelos países mais industrializados. E esse não cumprimento não deriva de ausência de valores morais ou éticos. Deriva, isso sim, do modelo de crescimento económico dominante que não se compadece com preocupações de médio/longo prazo, isentas de benefícios imediatos

## Exercício 2

Considere um colector solar do tipo plano com as características  $F'\eta_0 = 0.74$  e  $F'U_L = 5.5 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\text{C}^{-1}$ , com  $2 \text{ m}^2$ .

a)

Descreva sumariamente um colector plano que possa ter aquelas características.

Um colector plano que apresente valores iguais aos referidos para  $F'\eta_0$  e para  $F'U_L$  trata-se de um colector plano selectivo. Um colector deste tipo apresenta uma alta absorptividade para as radiações predominantes no espectro solar e uma baixa emitância para os comprimentos de onda maiores produzidos à temperatura de funcionamento do colector. Desta forma as perdas radiativas são significativamente reduzidas, enquanto que altas fracções de radiação solar são absorvidas e mantidas pela escolha de uma boa da superfície selectiva. Quanto melhor a superfície selectiva, mais eficiente o colector será a altas temperaturas e sobre condições de radiação baixas.

b)

Calcule a temperatura de saída da água que nele circula, se a de entrada for de  $30^\circ\text{C}$  e o caudal de  $0.5 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}\text{m}^{-2}$ , admitindo que a temperatura ambiente é de  $20^\circ\text{C}$  e a radiação solar global no plano do colector é de  $950 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ .

Para a resolução deste exercício foram utilizadas as seguintes expressões para o rendimento de um sistema solar térmico [2]:

$$\eta = F' \left[ \eta_0 - \frac{U(T_F - T_{amb})}{I_{col}} \right]$$
$$\eta = F_R \left[ \eta_0 - \frac{U(T_{in} - T_{amb})}{I_{col}} \right]$$

Com  $T_F = \frac{T_{in} + T_{out}}{2}$ . Igualando estas duas expressões, uma vez que representam o mesmo rendimento, e resolvendo para  $T_F$ , obtém-se:

$$T_F = \left( F'\eta_0 - F_R\eta_0 + F_RU \frac{T_{in} - T_{amb}}{I_{col}} \right) \frac{I_{col}}{F'U} + T_{amb} \quad (1)$$

Nesta expressão as únicas variáveis desconhecidas são:  $F_R\eta_0$  e  $F_RU$  e  $T_F$ . Para a determinação destas usa-se:

$$F_RU = \dot{m} C_P \left( 1 - e^{-\frac{F'U}{\dot{m} C_P}} \right)$$

e

$$F_R\eta_0 = \frac{F_RU}{F'U} F'\eta_0$$

Com:

$$\dot{m} \equiv \text{caudal em } \text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\text{m}^{-2}$$

$$C_P \equiv \text{calor específico do fluido, neste caso água, em } \text{J}\cdot\text{Kg}^{-1}\text{K}^{-1}$$

Calculemos  $F_RU$ :

$$\begin{aligned} F_RU &= \dot{m} C_P \left( 1 - e^{-\frac{F'U}{\dot{m} C_P}} \right) \\ &= 8.33 \times 4.19 \left( 1 - e^{-\frac{5.5}{8.33 \times 4.19}} \right) \\ &\simeq 5.09 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\text{K}^{-1} \end{aligned}$$

Calculemos  $F_R\eta_0$ :

$$\begin{aligned} F_R\eta_0 &= \frac{F_R U}{F' U} F' \eta_0 \\ &= \frac{5.09}{5.5} \times 0.74 \\ &\simeq 0.685 \end{aligned}$$

Com estes resultados, substituindo na equação 1, obtém-se:

$$\begin{aligned} T_F &= T_{amb} + \left( F' \eta_0 - F_R \eta_0 + F_R U \frac{T_{in} - T_{amb}}{I_{col}} \right) \frac{I_{col}}{F' U} \\ &= 20 + \left( 0.74 - 0.685 + 5.09 \frac{30 - 20}{950} \right) \frac{950}{5.5} \\ &\simeq 38.75^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Mas como se tem que:  $T_F = \frac{T_{in} + T_{out}}{2}$ , obtém-se:

$$\begin{aligned} T_{out} &= 2T_F - T_{in} \\ &= 47.5^\circ\text{C} \end{aligned}$$

c)

**Qual a quantidade de energia que este colector fornece em média no mês de Abril em Lisboa, supondo que a temperatura de entrada se mantém constante e igual a 30°C?**

Para o cálculo da energia que este colector fornece, em média, no mês de Abril em Lisboa, supondo que a temperatura de entrada se mantém constante e igual a 30°C, foi utilizada a expressão[2]:

$$\overline{Q}_{mes} = N F_R \overline{\eta}_0 \overline{H}_{col} \phi$$

Com:

$N \equiv$  número de dias do mês de Abril

$F_R \equiv$  factor que traduz a eficiência da transferência de E da placa receptora para o fluido circulante.

$\overline{\eta}_0 \equiv$  rendimento óptico médio do sistema

$\overline{H}_{col} \equiv$  radiação total incidente, em média, por dia no colector

$\phi \equiv$  *utilizability*, traduz a fracção de energia total disponível no colector

É necessário, então, calcular as grandezas:  $F_R\overline{\eta}_0$ ,  $\overline{H}_{col}$  e  $\phi$ . Como vimos anteriormente:

$$F_R\overline{\eta}_0 = \frac{F_R U}{F' U} F' \overline{\eta}_0$$

$\overline{H}_{col}$  é obtido por[2], para o caso de radiação difusa considerada isotrópica:

$$\overline{H}_{col}(\alpha, \beta) = \left( R_h - R_d \frac{\overline{H}_d}{\overline{H}_h} \right) \overline{H}_h \quad (2)$$

Onde:

$\alpha \equiv$  orientação do colector

$\beta \equiv$  inclinação do colector

$\overline{H}_h \equiv$  radiação global ou hemisférica no plano horizontal, valor fornecido em [2]

$\overline{H}_d \equiv$  radiação difusa

Iremos considerar, para simplificação dos cálculos, um colector voltado a sul  $\alpha = 0$  e com inclinação igual à latitude  $\beta = \varphi = 38^\circ 43'$ .  $\bar{H}_d$  é dada por:

$$\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}_h} = 0.775 + 0.347 \left( \omega_s - \frac{\pi}{2} \right) - \left[ 0.505 + 0.261 \left( \omega_s - \frac{\pi}{2} \right) \right] \cos [2 (\bar{K}_T - 0.9)]$$

Com  $\bar{K}_T = \frac{\bar{H}_h}{\bar{H}_0}$  e:

$$H_0 = \frac{T}{\pi} I_{0m} \left[ 1 + 0.033 \cos \left( \frac{2\pi n}{365.25} \right) \right] \cos \varphi \cos \delta (\sin \omega_s - \omega_s \cos \omega_s)$$

onde:

$H_0 \equiv$  radiação total disponível em cada dia num plano horizontal, fora da atmosfera.

$T \equiv$  duração, em segundos, de um dia: 86400s

$\varphi \equiv$  latitude do lugar, Lisboa

$\omega_s \equiv$  ângulo horário correspondente ao nascer e ao pôr do sol

$\delta \equiv$  declinação solar

sendo dados por:

$$\delta = \arcsin[0.3979 \sin(\gamma_0 + 0.03268 \cos(\gamma_0) + 0.000145 \cos(2\gamma_0) + 0.00713 \sin(\gamma_0) - 0.000318 \sin(2\gamma_0))]$$

$$\gamma_0 = \frac{2\pi (n + 284)}{365.25}$$

$$\omega_s = \arccos(-\tan \varphi \tan \delta)$$

Voltando à equação 2, temos ainda de calcular  $R_h$  e  $R_d$ :

$$R_h = \frac{T}{2\pi} \int_{\omega_c^-}^{\omega_c^+} r_h \left( \frac{\cos \theta_{col}}{\cos \theta_z} + \frac{\rho}{2} (1 - \cos \beta) \right) d\omega$$

$$R_d = \frac{T}{2\pi} \int_{\omega_c^-}^{\omega_c^+} r_d \left( \frac{\cos \theta_{col}}{\cos \theta_z} - \frac{1}{2} (1 + \cos \beta) \right) d\omega$$

com:

$$r_h = (a + b \cos \omega) \frac{\pi}{T} \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \omega_s \cos \omega_s}$$

$$r_d = \frac{\pi}{T} \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \omega_s \cos \omega_s}$$

e:

$$a = 0.409 + 0.5016 \sin \left( \omega_s - \frac{\pi}{3} \right)$$

$$b = 0.6609 - 0.4767 \sin \left( \omega_s - \frac{\pi}{3} \right)$$

$$\theta_{col} = \cos \delta \cos(\varphi - \beta) \cos \omega + \sin(\varphi - \beta) \sin \delta$$

$$\theta_z = \cos \delta \cos \varphi \cos \omega + \sin \delta \sin \varphi$$

sendo:

$\theta_{col} \equiv$  ângulo dos raios solares com o colector solar

$\theta_z \equiv$  ângulo de incidência dos raios solares com a horizontal

$\rho \equiv$  reflectividade do meio circundante

E  $\omega_c^+ = -\omega_c^- = \omega_c = \min(\omega_s, \frac{\pi}{2})$ , neste caso, porque  $\beta = \varphi$ . Para o cálculo de  $\phi$  utilizaremos a expressão[2]:

$$\phi(X_c) = \left(1 - \frac{X_c}{X_m}\right)^{X_m - a X_c}$$

onde, aqui,  $a$  terá de verificar a condição:

$$a < \min \left[ (1 + e^{-2})^{-1}, 0.86 (1 - X_m^{-1}) \right]$$

e é calculado pela expressão:

$$a(\beta) = -0.274 + 0.306583 \bar{K}_T^{-0.765} + \left( -0.277 + 0.329831 \bar{K}_T^{-0.765} \right) \sin \left( \frac{\pi\beta}{2\beta'} \right)$$

com  $\beta' = \min \left( \frac{\pi}{2}, 2\varphi - \delta \right)$ .

Temos também que

$$\begin{aligned} X_c &= \frac{I_c}{\bar{I}_{col}} \\ X_m &= \frac{I_{max}}{\bar{I}_{col}} \\ I_c &= \frac{F_R U}{F_R \eta_0} (T_{in} - T_{amb}) \\ I_{max} &\equiv \text{radiação máxima incidente no colector} \\ \bar{I}_{col} &= \frac{\bar{H}_{col}}{T} \\ T &= 2\omega_c \frac{180}{\pi} \frac{1}{15} 3600 \end{aligned}$$

Com  $T$  a duração do dia em segundos. Considerou-se  $I_{max}$  como sendo  $950 \text{ W m}^{-2}$ .

Agora, todas as variáveis podem ser calculadas. Só é necessário introduzir:  $\alpha = 0$ ,  $\beta = \varphi = 38.75 \frac{\pi}{180}$ ,  $\rho = 0.2$ ,  $C_P = 4187 \text{ J Kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ,  $\dot{m} = 0.00833 \text{ Kg s}^{-1} \text{ m}^{-2}$ ,  $T_{amb} = 20^\circ \text{C}$ ,  $T_{in} = 30^\circ \text{C}$ ,  $\bar{H}_h = 19.1 \times 10^6 \text{ J m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ,  $n = 105$ ,  $N = 30$ ,  $F'U = 5.5 \text{ W m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  e  $F'\eta_0 = 0.74$ .

Para facilitar os cálculos, introduziram-se estas expressões no **Mathematica**, utilizando o programa apresentado na figura 1, 2 e 3: Obtiveram-se, assim os seguinte resultados:

$\omega_c$	1.5708 rad
$R_h$	1.07339
$R_d$	1.62049
$\bar{H}_{col}$	19.2197 MJ m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup>
$X_m(0)$	2.29782
$a$	0.44791
$X_m$	2.13531
$X_c$	0.167058
$\phi$	0.845564
$\bar{Q}_{dia}$	11.1258 MJ m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup>
$\bar{Q}_{Abril}$	333.775 MJ m <sup>-2</sup>

Como o nosso colector tem uma área de  $2\text{m}^2$ , teremos para a energia que este colector fornece, em média, no mês de Abril, um valor de :

$$\bar{Q}_{Abril} \simeq 670 \text{ MJ}$$

```

α = 0;
β = 38.75  $\frac{\pi}{180}$ ;
φ = 38.75  $\frac{\pi}{180}$ ;
Area = 2; (*Área do coletor*)
ρ = 0.2;
Cp = 4187; (*Capacidade calorífica do fluido*)
m = 0.00833; (*Caudal*)
Tamb = 20;
Tin = 30;
Hh = 19.1 × 106; (*Alterar para o mês*)
n = 105; (*Alterar para o mês*) (*dia do ano*)
mes = 30; (*Alterar para o mês*) (*Número de dias no mês*)
FU = 5.5;
Fn = 0.74;
Print["FrU= ", FrU = m Cp  $\left(1 - e^{-\frac{FU}{m Cp}}\right)$ ]
Print["Frn= ", Frn =  $\frac{FrU}{FU}$  Fn]
Print["γ0= ", γ0 =  $\frac{2 \pi (n + 284)}{365.25}$ ]
Print["δ= ", δ = ArcSin[0.3979 Sin[γ0] + 0.00713 Sin[γ0] + 0.03268 Cos[γ0] - 0.000318 Sin[2 γ0] + 0.000145 Cos[2 γ0]]]
Print["os= ", os = ArcCos[-Tan[φ] Tan[δ]]]
Print["os2= ", os2 = ArcCos[-Tan[φ - β] Tan[δ]]]
Print["oc2= ", oc2 = Abs[Min[os, os2]]] (*Nascer do Sol*)
Print["oc1= ", oc1 = -Abs[Min[os, os2]]] (*Pôr do Sol*)
Print["H0= ", H0 =  $\frac{86400}{\pi}$  1367  $\left(1 + 0.033 \cos\left[\frac{2 \pi n}{365.25}\right]\right)$  Cos[φ] Cos[δ] (Sin[os] - os Cos[os])]
Print["KT= ", KT =  $\frac{Hh}{H0}$ ]
Print["Hd= ", Hd =  $\left(0.775 + 0.347 \left(\cos - \frac{\pi}{2}\right) - \left(0.505 + 0.261 \left(\cos - \frac{\pi}{2}\right)\right) \cos[2 (KT - 0.9)]\right) Hh$ ]

```

Figura 1: Código de Mathematica para cálculo da energia fornecida.

d)

**Qual seria um aplicação a que poderia o cálculo que fez?**

Dada a temperatura de saída da água, 47.5°C, uma aplicação seria a de aquecimento de águas, para uso doméstico (higiene). Se bem que seria difícil, neste caso, manter-se  $T_{in}$  constante durante todo o tempo, uma vez que, após um consumo de água quente, irá haver uma diminuição da temperatura do reservatório e, por conseguinte, do fluido mediador. Mas, numa primeira aproximação poder-se-ia considerá-la constante.

O valor calculado, serviria, então, para determinar, face aos gastos diários de água, se o sistema se encontrava bem dimensionado. Com o consumo de água saber-se-ia a energia necessária para a aquecer, resolvendo-se o problema.

Essencialmente este cálculo permite determinar a energia retirada do Sol por um sistema destes, obtendo-se, assim, a energia disponível para o fim que se pretende.

### Exercício 3

**Faça uma primeira abordagem ao dimensionamento de um sistema fotovoltaico capaz de fornecer uma casa isolada na região de Lisboa em com um consumo médio diário de 1800Wh.**

```

Print["a= ", a = 0.409 + 0.5016 Sin[os -  $\frac{\pi}{3}$ ]]
Print["b= ", b = 0.6609 - 0.4767 Sin[os -  $\frac{\pi}{3}$ ]]
(*Rh*)
Rh[ $\omega$ ] :=
Evaluate[
Chop[
 $\frac{1}{2}$ 
FullSimplify[(((a + b Cos[ $\omega$ ])  $\frac{\text{Cos}[\omega] - \text{Cos}[os]}{\text{Sin}[os] - os \text{Cos}[os]}$ ) ( $\frac{\text{Cos}[\delta] \text{Cos}[\phi - \beta] \text{Cos}[\omega] + \text{Sin}[\phi - \beta] \text{Sin}[\delta]}{\text{Cos}[\delta] \text{Cos}[\phi] \text{Cos}[\omega] + \text{Sin}[\delta] \text{Sin}[\phi]}$ ) +  $\frac{\rho}{2} (1 - \text{Cos}[\beta])$ ))]
 $\omega$ ]]]
(*Rd*)
Rd[ $\omega$ ] :=
Evaluate[
Chop[FullSimplify[ $\frac{1}{2} \int \left( \left( \frac{\text{Cos}[\omega] - \text{Cos}[os]}{\text{Sin}[os] - os \text{Cos}[os]} \right) \left( \frac{\text{Cos}[\delta] \text{Cos}[\phi - \beta] \text{Cos}[\omega] + \text{Sin}[\phi - \beta] \text{Sin}[\delta]}{\text{Cos}[\delta] \text{Cos}[\phi] \text{Cos}[\omega] + \text{Sin}[\delta] \text{Sin}[\phi]} - \frac{1}{2} (1 + \text{Cos}[\beta]) \right) d\omega \right)]]]
Print["Rh= ", Rh1 = Rh[oc2] - Rh[oc1]] (*é o Rh e é relativo ao mês em consideração*)
Print["Rd= ", Rd1 = Rd[oc2] - Rd[oc1]] (*é o Rd e é relativo ao mês em consideração*)
Print["T= ", T = 2 oc2  $\frac{180}{\pi} \frac{1}{15} \times 3600$ ] (*Duração do dia*)
Print["Hcol= ", Hcol = (Rh1 - Rd1  $\frac{Hd}{Hh}$ ) Hh]
Print["a= ", am = -0.274 + 0.306 KT-0.765 + (-0.277 + 0.329 KT-0.765) Sin[ $\frac{\pi \beta}{\text{Min}[\frac{\pi}{2}, 2\phi - \delta]}$ ]]]
Print["Xc= ", Xc =  $\frac{EzU}{Ezn} \frac{(Tin - Tamb)}{\frac{Hcol}{T}}$ ]
Print["Xm= ", Xm =  $\frac{950}{Hcol} T$ ]
Print["Xm(0)= ", Xm0 = 1.453 KT-0.765]
Print["a tem de ser menor que -> ", Min[(1 + e-2)-1, 0.86 (1 - Xm-1)]]$ 
```

Figura 2: Código de Mathematica para cálculo da energia fornecida.

```

Print[" $\phi$ ="]
 $\phi_q = \left( 1 - \frac{Xc}{Xm} \right)^{Xm - am Xc}$ 
Print["Q= ", Q = Frn Hcol  $\phi_q$ ]
Print["Q ao fim de um mês= ", QT = nmes Q]
Print["Q ao fim do mês total= ", QT * 2]

```

Figura 3: Código de Mathematica para cálculo da energia fornecida.

a)

### Indique como seria um consumo correspondente àquela carga

Para determinar o consumo optei por escolher os aparelhos eléctricos que, se fosse a minha casa, iria escolher para ter. Note-se que, por exemplo, o frigorífico não está presente, uma vez que se poderá utilizar um frigorífico a gás, o que é muito mais rentável do que utilizar, neste caso, um eléctrico. A casa considerou-se como tendo uma cozinha, uma sala e dois quartos. Sendo assim, considerou-se assim o consumo:

Onde se colocaram lâmpadas incandescentes na sala e nos quartos, visto serem mais acolhedoras e lâmpadas fluorescentes na cozinha e na casa de banho. Sobram 100Wh para cargas pontuais tipo telemóveis, e outra semelhantes.

Designação	Pot. (W)	Méd. dia (h)	C. diário (Wh)
Aspirador	1350	0.167	225
Aparelhagem	55	1.000	55
PC	300	2.000	600
Televisão	70	4.000	280
Lâmpadas	2 × 8	1.000	16
Lâmpadas	100	3.000	300
Lâmpadas	2 × 100	1.000	200
Total(Wh)			1676~1700

Tabela 1: Consumo

b)

**Dimensione um banco de baterias para armazenamento de energia correspondente a 3 dias (considere baterias apropriadas a sistemas fotovoltaicos.)**

O passo inicial para o dimensionamento de baterias é a separação dos dois tipos de consumos eléctricos existente: o AC e o DC. Neste caso, considera-se todo o consumo AC, apesar de, globalmente, menos eficientes para esta utilização, facilita a compra, não se tem de comprar especialmente para este fim. Temos assim uma carga AC  $L_{AC}$  de:

$$L_{AC} = 1800 \text{ Wh}$$

Uma vez que é preciso um inversor para se passar de corrente DC para corrente AC e este tem um rendimento de cerca de 0.85, isso significa que se obtém uma carga ajustada:

$$L_{ajustada} = \frac{1800}{0.85} \simeq 2120 \text{ Wh}$$

Se se tivesse considerado um carga DC, esta seria agora somada. Como não o foi, prossegue-se o cálculo. Considera-se que o sistema DC de baterias apresenta uma tensão de  $V=24V$ , logo, passando o nosso consumo para Ah, dá:

$$B = \frac{L_{ajustada}}{V} = \frac{2120}{24} \simeq 89 \text{ Ah}$$

Aqui surge um ajuste que se considera importante. Multiplica-se este resultado por um factor 1.2, por forma a compensar perdas e, também, como um factor de segurança:  $L_{seguranca} = 107 \text{ Ah}$ . Será este, para todos os efeitos, o nosso consumo diário.

As baterias terão de acomodar a carga suficiente para 3 dias, descarregando-se, para isso, até um determinado nível. Este nível, designado de profundidade de descarga é escolhido tendo em mente o seguinte. A vida de uma bateria é função da profundidade de descarga, quanto maior a última, menor a primeira. No entanto, quanto menor a profundidade de descarga, maior a dimensão do banco de baterias. Assim sendo, há que estabelecer um compromisso. Foi realizada uma procura na Internet e encontrou-se uma bateria própria para sistemas fotovoltaicos: é uma bateria da SunXtender, modelo PVX-2120L, de 12V e preço de €280, que fornece 235Ah numa descarga contínua de 20h. Estas baterias com uma utilização que compreenda profundidades de descarga de .50 terão uma duração entre 1000 e 2000 recargas. No entanto, escolhendo-se para o dimensionamento do sistema esse valor, estas durarão muito mais tempo do que as 1000-2000 recargas, isto devido ao facto de não se fazer sempre descargas de 0.50. Os dados do fabricante, para um dimensionamento de 0.50 apontam para uma duração de 3000-5000 recargas. O que dará cerca de 10-12 anos, dados do fabricante.

Como se escolheu uma tensão de 24V ter-se-à de utilizar pares de baterias destas, ou seja, uma unidade de carga de  $2 \times 235\text{Ah}$ . Logo o número de pares de baterias necessárias será:

$$\frac{B}{2 \times 235} = \frac{642}{470} \simeq 1.366$$

Como não se podem ter fracções de pares de baterias, teremos de arredondar para o inteiro seguinte: 2. Logo precisaremos de 4 baterias das referidas acima. Assim, apenas para as baterias, ter-se-à um custo de €1120.

c)

**Qual a área de painéis fotovoltaicos que necessita para o seu sistema, considerando que o seu sistema fotovoltaico permite recuperar aquela energia toda em 3 dias, para lá do fornecimento da carga diária e que quer a sua energia fornecida em corrente alterna, baixa tensão.**

A energia fornecida por dia pelo sistema fotovoltaico tem de ser igual a:

$$\bar{Q} = L_{\text{ajustada}} + \frac{L_{\text{ajustada}}}{0.80} = 4470 \text{ Ah} \quad (3)$$

onde o primeiro termo de  $L_{\text{ajustada}}$  corresponde ao consumo diário normal e o segundo termo  $\frac{L_{\text{ajustada}}}{0.80}$  corresponde ao carregamento das baterias, relativo a um dia (poderia ter multiplicado tudo por 3 e depois dividir por 3 para obter o valor diário, omitiu-se esse passo.). O factor  $\frac{1}{0.80}$  surge do facto de o carregamento de baterias não ter um rendimento 1, mas sim 0.8, tipicamente: tem-se de fornecer mais energia à bateria do que aquela que esta armazena. A energia diária fornecida pelo sistema fotovoltaico é:

$$\bar{Q} = \eta \bar{H}_{\text{col}} A \quad (4)$$

onde  $\eta$  é o rendimento, da ordem dos 0.12 (nos painéis topo de gama da BP, por exemplo este rendimento é de 0.16, para os de gama média ronda os 0.12-0.14) e  $A$  a área dos painéis. Igualando as equações 3 e 4, obtém-se:

$$A = \frac{\bar{Q}}{\eta \bar{H}_{\text{col}}} = \frac{4770}{0.12 \bar{H}_{\text{col}}}$$

Para que o sistema esteja bem dimensionado tem-se de escolher  $\bar{H}_{\text{col}}$  o mais pequeno que se encontra disponível para todo o ano, no nosso caso é para Dezembro, com um valor de 3214Wh/dia. Assim, garante-se que, para o ano em que menos energia solar está disponível, o sistema se encontra bem dimensionado.

Desta forma obtém-se uma área de 12.5 m<sup>2</sup>. Fazendo a correspondência de 1 m<sup>2</sup> ↔ €1000, teremos de dispendir €12500 para a aquisição dos painéis.

d)

**Faça um esquema de todo o sistema.**

Apresenta-se na figura 4 o esquema do sistema.

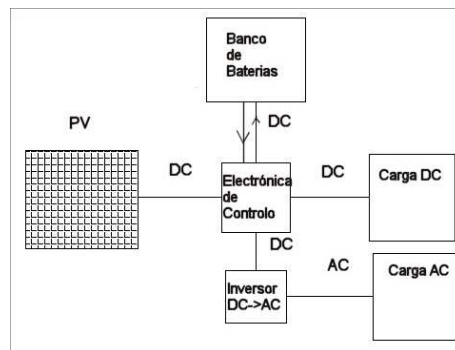


Figura 4: Esquema do sistema fotovoltaico.

**Baterias** - Devem ser protegidas dos elementos naturais. Se se esperarem temperaturas abaixo dos 0°C devem-se guardar em locais onde a temperatura se mantenha acima dos 0°C. Não devem ser colocadas em contacto com o cimento, principalmente se este estiver húmido, já que a auto-descarga é amplificada.

**Inversor** - Sistema electrónico que realiza a conversão de AC para DC.

**Controlador de carga** - Regula a carga das baterias. Este controlo é necessário se se pretender que a bateria funcione correctamente e realize o seu tempo de vida máximo. Se não existir controlo poderá suceder sobrecarregamento, o que poderá danificar a bateria que por sobreaquecimento que por perda de electrólitos.

e)

**Como procederia para tornar mais rigoroso o cálculo que efectuou, ou, por outras palavras, porque é que esta forma de proceder é apenas uma primeira abordagem ao problema.**

Uma abordagem mais rigorosa seria uma em que se teria em conta o microclima do local a ser instalado o sistema fotovoltaico, pois este pode diferir substancialmente do clima (insolação) da área mais abrangente. Podendo, assim, existir uma fonte de erro considerável.

Os componentes do sistema e toda a montagem eléctrica devem ser analisados, para se utilizarem valores de rendimentos (quer de carga quer do inversor) e de perdas, o mais próximos dos valores indicados pelos fabricantes.

Ou seja, o sistema real tem de ser verdadeiramente estudado e tomado em conta.

No entanto, como primeira abordagem este resultado é bastante satisfatório.

## Exercício 4

**A energia solar tem uma contribuição significativa a dar para tornar os edifícios mais confortáveis e inteligentes. Discorra sobre este assunto, dando exemplos (nota: seja sintético, não utilizando mais do que 3 páginas A4).**

A construção de edifícios com vista a otimizar o recurso solar no tempo frio e a resguardarem-se deste no tempo quente, remonta da antiguidade. Veja-se para isso os antigos edifícios do Alentejo, caiados no Verão por forma a protegerem-se da excessiva insolação.

Muita tecnologia se tem vindo a desenvolver no sentido de otimizar, ainda mais, as construções habitacionais, procurando, assim, reduzir os custos, quer económicos quer ambientais, de climatização.

Com o desenvolvimento desta tecnologia considera-se importante referir o conceito de edifício passivo. Este termo refere-se a um edifício que disponibiliza um clima interior confortável, no verão e no inverno, sem a utilização de sistemas de aquecimento ou arrefecimento convencionais. Trata-se de uma alternativa eficiente à minimização das necessidades energéticas nos novos edifícios, assegurando um bom conforto.

Uma casa passiva, bem construída, necessita de menos de 15 KWh por m<sup>2</sup>, correspondentes a 1.5l de combustível para aquecimento. Os edifícios convencionais necessitam, em média, de 200KWh por m<sup>2</sup>. Esta abordagem é particularmente apelativa em termos monetários porque se centra nos componentes de construção de qualquer forma indispensáveis: os tijolos, o cimento, as janelas, a cobertura, o sistema de ventilação, etc..

Em termos arquitectónicos a única restrição reside no facto de ser recomendável uma optimização da relação superfície versus volume. Quanto menor a superfície, para um mesmo volume, mais eficiente é a habitação, uma vez que apresentará menos perdas. Estas habitações são equipadas

com um isolamento térmico excelente, impedindo as trocas de calor com o exterior: para não aquecer no verão nem arrefecer no inverno. As janelas são viradas a sul para otimizar a captação de calor. Este uso passivo de irradiação solar compensa cerca de 40% da restante perda de calor. Para se atingir isto, as janelas são equipadas com vidros triplos. Estas janelas deixam entrar mais calor solar do que aquela que perdem.

Uma vez que a restante necessidade energética de uma casa passiva é muito pequena, toda ela pode ser coberta por energias renováveis. Sistemas solares térmicos podem responder a 40%-60% dos requisitos de calor de baixa temperatura, como o aquecimento de água quente.

Em termos de custos adicionais, esta construção não implica grandes inflações no custo final uma vez que, tal como já foi referido, se trata de material que, de qualquer forma terá de ser instalado na habitação. Contudo, mesmo por vezes sendo ligeiramente mais dispendioso, as compensações que se obtêm quer a nível de bem estar, quer a nível de recuperação do investimento efectuado, são reais e bastante satisfatórias.

Portugal, com o seu clima temperado e uma generosa quota solar, é um privilegiado comparativamente aos seus parceiros da UE. É então, tal como foi já falado na primeira questão, um desaproveitamento de um recurso tão acessível e tão simples de aproveitar. Brada aos céus verificar que, dentro dos edifícios mal desenhados em termos térmicos se encontram os edifícios do estado. Seria de esperar, se houvesse uma política nesse sentido, que fosse dado o exemplo.

## Exercício 5

**Considere um parque eólico em que os aerogeradores têm uma potência nominal de 750KW.**

a)

**Explique o que isso quer dizer e faça uma estimativa do seu tamanho.**

A potência nominal é a potência extraída pela turbina quando o vento apresenta uma velocidade de  $12 \text{ m.s}^{-1}$  e se encontra de frente para esta.

Da teoria linear de fluídos sabe-se[3] que a potência extraída do vento ( $P_T$ ) é dada por:

$$P_T = \frac{1}{2} \rho A_1 u_0^3 C_P$$

Pelo critério de Betz,  $C_P = 4a(1 - a)^2$  e é máximo para  $a = \frac{1}{3}$  com o valor de  $C_P = \frac{16}{27}$ . Assim, com  $\rho = 1.2 \text{ Kg.m}^{-3}$  a densidade do ar, obtém-se:

$$\begin{aligned} P_T &= \frac{1}{2} \rho A_1 u_0^3 \frac{16}{27} \\ &= \frac{1}{2} 1.2 A_1 12^3 \frac{16}{27} \end{aligned}$$

E, neste caso,  $P_T = 750 \text{ KW}$ , logo:

$$\begin{aligned} A &= \frac{27 \times 750 \times 10^3}{8 \times 1.2 \times 12^3} \\ &\simeq 1221 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Como a turbina é um disco, teremos que o seu raio será de  $r \simeq 20 \text{ m}$ .

Este resultado, como se disse é para o critério de Betz, pelo que o resultado ideal. Para um valor real é necessário utilizar um valor de  $C_P$  mais adequado. Assim sendo, e analisando a figura 9.11

de [3], verifica-se que para turbinas de 2 ou 3 pás com um *tipspeed ratio* ( $\lambda$ ) de, aproximadamente, 3.8 temos um valor de  $C_P$  de cerca de 0.4, contrariamente aos  $\frac{16}{27} \simeq 0.593$ . Logo a área ficará:

$$\begin{aligned} A_1 &= 1808 \text{ m}^2 \\ r &\simeq 24 \text{ m} \end{aligned}$$

Usando as mesmas fórmulas, somente com  $C_P$  diferente.

b)

**Qual a quantidade de energia que poderemos esperar, em média, e por ano desse mesmo gerador num local com velocidade média de vento de  $7 \text{ m.s}^{-1}$**

Como foi visto anteriormente, a potência extraída por uma turbina é dada por:

$$P_T = \frac{1}{2} \rho A_1 u_0^3 C_P$$

O valor médio de  $P_T$  é obtido determinando o valor médio da parte direita da igualdade:

$$\bar{P}_T = \overline{\frac{1}{2} \rho A_1 u_0^3 C_P}$$

Mas  $\rho$  é constante,  $A_1$  também e  $C_P$  igualmente. Fica-se assim com:

$$\bar{P}_T = \frac{1}{2} \rho A_1 C_P \bar{u}_0^3$$

O nosso problema é, portanto, o cálculo de  $\bar{u}_0^3$ .

Seja  $f(u_0 = \frac{u_0}{s^2} e^{-\frac{u_0^2}{2s^2}})$  a função densidade de probabilidade da velocidade dos ventos  $u_0$  – distribuição de Rayleigh – então,  $\bar{u}_0^3$  é, nada mais que o momento de ordem 3  $\mu_3$ , definido por:

$$\mu_n = \int_0^{+\infty} P(u_0) u_0^n du_0$$

quando  $n = 3$ . Estes integrais dão:

$$\begin{aligned} \mu_m &= \int_0^{\infty} u_0^m P(u_0) du_0 \\ &= \frac{1}{s^2} \int_0^{\infty} u_0^{m+1} e^{-\frac{u_0^2}{2s^2}} du_0 \\ &= \frac{1}{s^2} I_{m+1} \left( \frac{1}{2s^2} \right) \end{aligned}$$

onde  $I(t)$  é um integral gaussiano. Os primeiros integrais gaussianos são:

$$\begin{aligned} I_1(a^{-1}) &= \frac{1}{2} a \\ I_2(a^{-1}) &= \frac{1}{4} a \sqrt{a\pi} \\ I_3(a^{-1}) &= \frac{1}{2} a^2 \\ I_4(a^{-1}) &= \frac{3}{8} a^2 \sqrt{a\pi} \\ I_5(a^{-1}) &= a^3 \\ &(\dots) \end{aligned}$$

Logo, os primeiros momentos  $\mu_m$  são:

$$\begin{aligned}\mu_0 &= 1 \\ \mu_1 &= s\sqrt{\frac{\pi}{2}} \\ \mu_2 &= 2s^2 \\ \mu_3 &= 3s^3\sqrt{\frac{\pi}{2}} \\ \mu_4 &= 8s^4 \\ &(\dots)\end{aligned}$$

Como se sabe:

$$\mu_1 = \overline{u_0} = s\sqrt{\frac{\pi}{2}}$$

Logo:

$$s = \overline{u_0}\sqrt{\frac{2}{\pi}}$$

O que significa que:

$$\mu_3 = \overline{u_0^3} = \frac{6}{\pi}\overline{u_0^3}$$

Donde se compreende a aproximação feita em [3]:  $\overline{u_0^3} \simeq 2\overline{u_0^3}$ , mas será utilizado o valor exacto. A diferença entre os dois é negligenciável já que é da ordem dos 5%.

Assim, a potência média será dada por:

$$\begin{aligned}\overline{P_T} &= \frac{1}{2}\rho A_1 C_P \overline{u_0^3} \\ &= \rho A_1 C_P \frac{3}{\pi}\overline{u_0^3} \\ &\simeq 285 \text{ KW}\end{aligned}$$

A quantidade de energia que podemos esperar, em média, por ano, deste gerador é:

$$\overline{P_T} \times 365 \times 24 \simeq 2.50 \text{ GWh}$$

c)

**A lei prevê que a EDP compre essa energia injectada na rede a cerca de 8 cêntimos; discuta a “bondade” desse negócio, face aos valores obtidos na alínea anterior.**

Para analisar a “bondade” deste negócio há que avaliar em quanto tempo o investimento é retomado. Para isso tomamos como ponto de partida o custo do W nominal. Valores típicos que contabilizam tanto a compra das turbinas como os custos do terreno, são de €1.4 por W nominal. Assim, cada turbina terá um custo de €1.05 × 10<sup>6</sup>. Por ano a energia mecânica que tiram do vento é, como foi calculado, de 2.50 GWh. Como o rendimento da produção de energia eléctrica de energia mecânica não é 1 mas sim 0.9, teremos 2.25 GWh de energia eléctrica produzida por ano.

A EDP comprando a €0.08 o KWh, cada turbina renderá, por ano, €180.000. Desta forma o investimento será recuperado em 5.8 anos. O que é já um investimento relativamente rentável. Mais rentável, pelo menos, que manter o dinheiro no banco a juros normais.

No entanto se a EDP pagasse os valores desejáveis, seria um negócio muito mais lucrativo. Bastava pagar €0.12 por KWh para o investimento ser recuperado em 3.8 anos, menos 2 anos. Com um preço desses não seria tão fácil encontrar instituições financeiras que oferecessem juros mais promissores.

## Exercício 6

**Um conjunto de produtores de vacas leiteira tem entre si 5000 animais. Decidem colocar num ponto comum que todos alimentam, um digestor para produção de biogás.**

a)

**Discuta brevemente o interesse desta solução.**

Uma produção de vacas destas dimensões apresenta, já, um grande potencial exploratório de biogás. Note-se que, apesar de não estarem todas juntas estas vacas emanariam para a atmosfera gases ainda mais perigosos que o  $\text{CO}_2$  produzido na combustão do biogás. Pelo que, só por este motivo seria uma solução com interesse.

Adicionando a isto as possíveis utilizações, apresentadas na questão seguinte, torna-se numa solução bastante atractiva. Por exemplo, a produção de electricidade iria diminuir os custos de funcionamento da unidade, isto pensando que não conseguiria vender a electricidade à EDP ou a outra indústria próxima. A utilização da energia térmica ira contribuir também, largamente, para isso.

Esta solução é sem dúvida uma excelente forma de, para além de transformar os gases nocivos dos dejetos das vacas em algo menos poluente, é também uma fonte de rendimento, tornado, desta forma, esta produção leiteira mais rentável.

b)

**Qual a produção diária de biogás a esperar? Que utilização poderia ter e de que forma é que essa utilização poderia influenciar a escolha do local para implantação do digestor?**

Considerando que vacas com 400kg de massa e uma fracção de massa de sólidos voláteis produzidos por unidade de massa, por dia de  $0.0053 \text{ dia}^{-1}$ . Considerando, também, que o volume de biogás produzível por unidade de massa de sólidos é de  $0.625 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ .

Assim, quantidade de sólidos voláteis ( $SV$ ) e o volume de biogás  $VB$  produzidos diariamente são de:

$$SV = 400 \times 0.0053 = 2.12 \text{ kg} \cdot \text{dia}^{-1} \text{ vaca}^{-1}$$
$$VB = 0.625 \times 2.12 = 1.325 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1} \text{ vaca}^{-1}$$

Ou seja, cada vaca poderá produzir  $1.325 \text{ m}^3$  de biogás por dia.

Tomando o PCI do gás como sendo  $6.5 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-3}$ , para teores de metano de 65%, isto resulta numa produção energética total diária (5000 vacas) de:

$$E_d = 8612 \times 5000 = 43.06 \text{ MWh} \cdot \text{dia}^{-1}$$

Considerando que 30% desta energia é utilizável em electricidade e 45% é utilizável para fins térmicos, obtém-se:

$$E_{\text{electrica}} = 12.90 \text{ MWh} \cdot \text{dia}^{-1}$$
$$E_{\text{termica}} = 19.38 \text{ MWh} \cdot \text{dia}^{-1}$$

Poderia ser feita cogeração, utilizando, por exemplo, para a produção de electricidade motores Caterpillar 6341TA *gas generator* que produzem 375 eKWh em contínuo, com consumos da ordem dos  $160 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ . Trata-se de um gerador por indução que, apesar de menos eficiente, tem a vantagem de produzir electricidade que está automaticamente em fase com a rede de distribuição que alimenta a quinta. Como resultado, a electricidade em excesso pode ser injectada na rede pública

sem a necessidade de aparelhagem adicional, que é dispendiosa. Outra vantagem é o facto de aceitar gás a baixa pressão, não sendo, por isso, necessária aparelhagem para comprimir o biogás.

Com a energia térmica pode-se aquecer o digestor, mas esta energia térmica é mais do que o necessário para o digestor, pelo que outras funções se lhe pode dar. Por exemplo, como se trata de exploração de leite, este terá, em alguma altura, de ser pasteurizado. A pasteurização é feita aquecendo o leite a 63°C durante 30 minutos e, depois, arrefecê-lo rapidamente até 4°C. Outro processo de tratamento do leite é o HTST (*high temperature short time*) onde o leite é aquecido a 72°C por 16 segundos. Qualquer um destes processos pode ser realizado com parte ou a totalidade da energia térmica produzida.

Outra utilização poderá ser a de abastecimento dos veículos dos produtores, por forma a reduzir as despesas de transporte dos animais e do leite.

Para a produção de electricidade, convém ter o digestor relativamente perto do motor, para não se dispendir muito dinheiro em tubagem e não complicar o sistema.

Para a pasteurização ter-se-ia de colocar ainda o aparelho de pasteurização perto do motor e do digestor.

Para uma espécie de posto de abastecimento era uma questão de colocar o posto perto do digestor.

Penso que a melhor opção será sempre colocar o digestor perto do local de armazenamento e tratamento do leite, uma vez que é o local mais central e todos os produtores têm de se deslocar lá.

## Exercício 8

**Meteu-se-lhe na cabeça que quer conceber uma turbina Pelton de um jacto único para funcionar com uma queda de água de 5m de altura e fornecer uma potência de 200KW. Calcule a velocidade angular óptima a que deve rodar essa turbina e faça uma estimativa do seu tamanho. Comento os resultados que obteve. Em que condições poderá tirar melhor partido desta tecnologia? Na realidade que tipo(s) de turbina se adaptaria(m) melhor ao seu problema?**

Temos uma altura  $H_t = 5m$ . Para o dimensionamento da turbina é necessário determinar a altura disponível. Em [3] vem que a altura disponível é dada por:

$$H_a = H_t - H_f$$

onde  $H_f$  é a altura “perdida” devido a fricção. Com uma boa escolha de tubagem pode-se ter:

$$H_f \lesssim \frac{H_t}{3}$$

Pelo que:

$$H_a \gtrsim \frac{2}{3} H_T = \frac{10}{3} \text{ m}$$

Tendo a altura efectiva podemos prosseguir o cálculo.

Considera-se um jacto de água circular com um raio de  $r = \frac{R}{12}$ , com  $R$  o raio da turbina. A condicionante que existe é a de ter de  $r$  ter de ser inferior a  $\frac{R}{10}$ , já que valores superiores a este implicariam pás de tal maneira grandes que interfeririam com o fluxo de cada uma, reduzindo o rendimento. De[3] retira-se que o rendimento é 0.9, para uma Pelton Wheel. Para uma turbina desta o seu número de forma  $\mathcal{S}$  é dado por:

$$\mathcal{S} = \frac{r}{R} \frac{\eta^{\frac{1}{2}}}{0.68} \simeq 0.11626$$

A frequência angular é dada pela equação[3]:

$$\omega = \frac{\rho^{\frac{1}{2}}(g H_a)^{\frac{5}{4}} \mathcal{S}}{P_m^{\frac{1}{2}}}$$

com  $\rho = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$ ,  $g = 9.81 \text{ m.s}^{-2}$  e  $P_m = 200 \text{ KW}$ . Logo:

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{(10^3)^{\frac{1}{2}}(9.81 \times \frac{10}{3})^{\frac{5}{4}} \times 0.11626}{(200 \times 10^3)^{\frac{1}{2}}} \\ &\simeq 0.642561 \text{ rad.s}^{-1}\end{aligned}$$

Para o cálculo do raio  $R$  usou-se [3]:

$$R = \frac{0.5 (2gH_a)^{\frac{1}{2}}}{\omega}$$

Resultando o seguinte valor:  $R \simeq 6.30 \text{ m}$ .

Este valor é um valor absurdo, é demasiado grande para que se leve a prática este sistema. Esta desproporção só sublinha a desadequação desta tecnologia a esta queda de água. São mais indicadas para um instalações em que se verifique *low flow/nigh head*.

Esta tecnologia é mais adequada para quedas de água maiores, digamos 70, 80 metros de altura, ou mais. Para quedas de água destas dimensões penso que turbinas de reacção seriam as mais adequadas.

## Referências

- [1] Oliveira Fernandes, E., Maldonado, E., *Contribuição da Energia Solar Passiva para o Aquecimento de Edifícios*, Congresso Ibérico de Energia Solar, Porto, 1997.
- [2] Collares-Pereira, M., Carvalho, M.J., *Dimensionamento de Sistemas Solares, Sistemas de Aquecimento de Água com armazenamento acoplado*, LNETI-DER, Lisboa, 1983.
- [3] Twidell, John W., Weir, Anthony D., *Renewable Energy Resources*, London - New York, E. & F. Spon.
- [4] Collares-Pereira, Manuel, *Energias Renováveis, a opção inadiável*, Weir, Anthony D., SPES.