



Universidade dos Açores

DOUTORAMENTO NO RAMO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
ESPECIALIDADE DE CIÊNCIA DO SOLO

**AVALIAÇÃO DO VALOR DOS ECOSISTEMAS DE TURFEIRAS DOS AÇORES,
COM RECURSO A MODELAÇÃO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO
GEOGRÁFICA**

Orientadores:

Professor Doutor Eduardo Manuel Ferreira Dias
(Universidade dos Açores)

Professor Doutor Rui Miguel Pires Bento Silva Elias
(Universidade dos Açores)

Dinis Manuel Teixeira Pereira

Angra do Heroísmo, Novembro de 2014

Citação:

Pereira D (2014). Avaliação do valor dos ecossistemas de turfeiras dos açores, com recurso a modelação em Sistemas de Informação Geográfica. Tese de doutoramento no ramo de Ciências Agrárias, especialidade de Ciência do Solo. Universidade dos Açores. Departamento de Ciências Agrárias.

Esta Tese de doutoramento foi apoiada com uma Bolsa de Investigação da Fundação pra a Ciência e a Tecnologia (Ministério da Educação e Ciência), com a referência SFRH / BD / 66357 / 2009, financiada por fundos nacionais do MEC.

"A ciência será sempre uma busca e jamais uma descoberta.

É uma viagem, nunca uma chegada".

Karl Popper

A ti, Gonçalo.

Eu gostava de ter uma bicicleta para chegar mais longe. Procurei, mas as que encontrei não me pareciam adequadas. Então decidi construir uma (como, se nunca tinha construído nenhuma?). Juntei amigos: um ajudou-me com uma roda, outra com outra roda, outro com os pedais, outros com os travões, houve quem me oferecesse partes da biciceta e ajudasse na construção da mesma. Por vezes, faltava um ou outro parafuso ou peça, mas surgiu também quem se oferecesse para o pedir por mim. A bicicleta ia ganhando forma, mas por vezes caía. Não estava bem montada. Não fazia mal, com a experiência já a poderia construir mais facilmente (poderíamos).

Esta bicicleta é para eu aprender a andar, e não só: é para emprestar e dar boleia a quem me ajudou na construção da mesma. É a esses amigos que quero agradecer.

Onde nos levará a bicicleta? Não sei... Mas que a construção da mesma foi fascinante, isso é inegável!

E você, já construiu a sua bicicleta? Eu, já.

O que me interessou mais foi o caminho, não necessariamente o fim do mesmo.

AGRADECIMENTOS.

A realização deste estudo envolveu um vasto conjunto de entidades e pessoas intervenientes que, sem a sua ajuda e aceitação, seria difícil a boa execução do projecto inicialmente planeado. O propôr desta tese de Doutoramento representa isso mesmo, o desfecho de um sonho partilhado, o desfecho de várias tristezas e alegrias compartilhadas, de camaradagem e provas de amizade. Para a concretização deste trabalho, várias pessoas contribuíram e a elas desejo demonstrar o meu carinho, a elas pretendo agradecer por estarem presentes no momento certo.

Ao Professor Doutor Eduardo Dias, por ter acreditado em mim, pelas ideias, sugestões e críticas, apoio, incentivo, amizade, paciência, sapiência, amabilidade e compreensão. Também pelas oportunidades, orientação na vida e frontalidade com que resolve os problemas.

Ao Professor Doutor Rui Elias, pela amizade que demonstrou, inabalável, compreensão nos momentos de maior dúvida, pelo incentivo e entusiasmo contagiante, pela partilha de conhecimento de quem sabe de campo e pelo exemplo.

Ao Professor Doutor Eduardo Brito, pela compreensão nas horas que dispensou comigo, excelentes conselhos, apoio naquelas dúvidas fundamentais de modelação em Sistemas de Informação Geográfica, incentivo para desenvolvimento pessoal e aprendizagem e, especialmente, amizade.

À Professora Doutora Adelaide Lobo, a quem não poderia deixar de dar um valioso e muito sincero agradecimento, especialmente pela ajuda nos momentos mais inóspitos na vida, compreensão dos altos e baixos que a vida pode oferecer e pelo ombro muito amigo que sempre demonstrou ser para mim.

Ao Professor Doutor Jorge Pinheiro e Professor Doutor João Madruga, um sincero agradecimento pela força de vontade com que me contagiou várias vezes.

À Mestre Cândida Mendes, pelo esufiante entusiasmo, partilhado, no conhecimento que a vegetação pode oferecer, pela pachorra, compreensão quando as perguntas não foram as mais complexas, apoio no fornecimento de informação, conselhos experientes de encorajamento e amizade e leitura de textos. Também pela grande ajuda na Flora das turfeiras dos Açores.

À Mestre Diana Pereira, pelos comentários tão bem-vindos, palavras de incentivo nos momentos mais negativos, compreensão nas perguntas chatas, mas que foram muito importantes para mim, apoio nos momentos de maior necessidade, conselhos e amizade. Também pela ajuda nas consultas à base de dados ATLÂNTIDA@GEVA.

À INTERGRAPH, especialmente nas pessoas do Engenheiro Murça e Administrador Orlando Neto da Silva, pela aposta que fizeram ao permitirem o reconhecimento do Gabinete de Ecologia Vegetal e Aplicada, no qual me incluo, como INTERGRAPH Registered Rearch Laboratory, com tudo o que tal reconhecimento implica.

À Secretaria Regional de Habitação, Equipamentos e Obras Públicas dos Açores, especialmente nas pessoas da Engenheira Luísa Magalhães e Engenheira Maria de Lurdes, pelo fornecimento de fotografia aérea, além de outras informações.

À Directora Regional dos Assuntos Comunitários da Agricultura, Engenheira Fátima Amorim, ao Director Regional do Ambiente, Doutor Frederico Cardigos e ao Presidente do Conselho de Administração da Geoterceira, Engenheiro Leonildo Garcia de Vargas, pela confiança que depositaram em mim para este desafio.

Um abraço muito especial aos Engenheiro Luís Coutinho (muito especial mesmo) e Doutora Paula Oliveira, Engenheiro Carlos Teixeira e Subintendente Daniel Magalhães, pela perseverança no que a vida tem de bom.

Aos meus colegas de Doutoramento, pela camaradagem.

À minha mãe, avó e pai, pelos sacrifícios que mais ninguém faria, aos meus irmãos, pela ajuda financeira e psicológica várias vezes bem-vinda, às minhas cunhadas e cunhado e aos meus sobrinhos, pela alegria contagiante quando dela necessitei.

Ao Genão, muito obrigado.

À Susana Andrade, à Sandra Machado e ao Sr. Vítor e Professora Dolores, pelo apoio moral, sempre bem-vindo.

Ao Engenheiro João Filipe, pelo apoio e disponibilidade que prestou nas dúvidas sobre dados do CLIMAAT.

Ao Engenheiro Francisco Reis, pela ajuda sempre excelente nas questões de hardwares e softwares.

À Cecília Aamaral, do laboratório de análise de plantas, do Departamento de Ciências Agrárias, da Universidade dos Açores, pelas análises de Carbono, tão necessárias.

A tantas outras pessoas, cujos agradecimentos não caberiam nestas breves páginas, mas de quem não me esquecerei:

Professor Doutor Alfredo Borba,

Professor Doutor Cota Rodrigues,

Professor Doutor José Fontes,

Professor Doutor Tomaz Dentinho,

Doutora Eduarda Torres,

Dona Graça Silveira,

Dr.^a Ingrid Kellen,

Dr. Mauro Ponte,

Arquiteta Ana Mendes,

Mestre Paulo Silveira,

Dr.^a Rita Costa,

Dr.^a Rita Marques,

Eng.^a Filipa Viegas,

aos alunos de Guias da Natureza,
Professor Doutor José Aranha (Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro),
Professor Doutor Domingos Lopes (Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro),
Engenheiro Joaquim Barreto, Presidente da Câmara Municipal de Cabeceiras de Basto,
Engenheiro Humberto Cerqueira,
Professora Maria José,
Sr. Albino (Cabeceiras),
Mário Silva,
Engenheiro Vasconcelos,
Dr. Noé Branco,
Pierre-Luc Dallaire (Agent de recherche. Groupe de recherche sur l'eau souterraine. Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue - Campus d'Amos),
Engenheiro Gilberto Fernandes,
Engenheira Sandrine Vieira,
D.na Fernanda Carneiro,
Jukka Laine (Emeritus Professor of Helsinki University),
Harri Vassander (Professor of Helsinki University).
Dr. Karl-Josef Sandmeier (geophysicist)
Dr. Xavier Comas,
Dr. Andrew D. Parsekian, Assistant Professor, Department of Geology and Geophysics, University of Wyoming, USA,
Dr. Lauren Parry,
Doutora Ivone Rocha, Doutor João Quintela Cavaleiro e Doutor Paulo Caetano pelo apoio e entusiasmo.
Por fim, à minha Ana Teresa, um agradecimento muito especial pela paciência de quem ama.

Se o seu nome não está aqui, peço-lhe desculpas sinceras, é esquecimento momentâneo perante tantas pessoas que contribuíram para o mesmo objetivo. Mas agradeço-lhe profundamente.

“Se alguém te disser: não consegues, desiste, não acredites, pois basta acreditares em ti próprio e o teu objectivo será alcançado”. Este trabalho representa isso mesmo.

Nota introdutória

A Tese encontra-se dividida em vários capítulos, quatro dos quais organizados como artigos científicos, com a seguinte estrutura:

Capítulo I - Introdução, agregadora do state-of-the-art relativo aos temas a desenvolver.

Capítulo II - Evaluation of internal structure of different Sphagnum peatlands of the Azorean mires, with GPR methodologies.

Este capítulo, destinado a publicação em artigo científico centra-se na verificação da aplicabilidade de tecnologias GPR ao conhecimento da estrutura interna das turfeiras dos Açores.

Capítulo III - Estimation of Carbon Stocks of different Sphagnum peatlands of the Azorean mires, with GPR methodologies.

Este capítulo centra-se na determinação de stocks de carbono de várias tipologias de turfeiras dos Açores, bem como nas pistas que este parâmetro pode fornecer sobre a evolução temporal das mesmas.

Capítulo IV – Avaliação dos serviços prestados por diferentes tipos de turfeiras de Sphagnum dos *mires* dos Açores: armazenamento e retenção da água.

Segue-se neste capítulo a mesma linha de pensamento que o anterior, mas aplicado a questões do ciclo hidrológico e respetiva interdependência com várias tipologias de turfeiras presentes nos Açores

Capítulo V – Cenários evolutivos relativos a serviços prestados por turfeiras dos Açores em Carbono e água.

Selecionou-se neste capítulo uma área de estudo na ilha Terceira, com a aplicação de cenários evolutivos tendo em consideração várias possibilidades de gestão da ocupação do solo, determinando-se os serviços prestados em água e carbono.

Capítulo VI - Conclusões.

Apontam-se neste capítulo as principais conclusões, dissertando também sobre os serviços prestados pelas turfeiras nos Açores relativamente a questões de biodiversidade.

Os capítulos II, III, IV e V destinam-se a publicação sob a forma de artigos científicos, encontrando-se em processo de publicação os capítulos II e III à revista *Wetlands*, razão pela qual os mesmos se encontram em Inglês.

ÍNDICE.

	<i>Página:</i>
CAPÍTULO I – Introdução	1
TEMA DE INVESTIGAÇÃO	1
SUMÁRIO	1
ESTADO DA ARTE	2
OBJECTO CONSTRUÍDO	3
QUADRO(S) CONCEPTUAL(IS) / DISCIPLINAR(ES)	5
ORGANIZAÇÃO DA TESE	6
OBJECTO REAL	7
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	8
WEBGRAFIA	13
CAPÍTULO II - Evaluation of the internal structure of different <i>Sphagnum</i> peatlands of the azorean mires, with GPR methodologies	 14
ABSTRACT	14
KEY WORDS	14
INTRODUCTION	14
METHODOLOGY	17
RESULTS AND DISCUSSION	23
CONCLUSIONS	33
ACKNOWLEDGEMENTS	34
REFERENCES	35
CAPÍTULO III - Estimation of carbon stocks of different <i>Sphagnum</i> peatlands, with gpr methodologies	 41
ABSTRACT	41
KEY WORDS	41
INTRODUCTION	41
METHODOLOGY	42
RESULTS AND DISCUSSION	47
CONCLUSIONS	68
ACKNOWLEDGEMENTS	69
REFERENCES	69

CAPÍTULO IV - Avaliação dos serviços prestados por diferentes tipos de turfeiras de <i>Sphagnum</i> dos mires dos Açores: armazenamento e retenção da água	73
ABSTRACT	73
RESUMO	73
PALAVRAS-CHAVE	74
INTRODUÇÃO	74
MATERIAIS E MÉTODOS	75
RESULTADOS	76
TRATAMENTO DE DADOS E DISCUSSÃO	85
CONCLUSÕES	96
AGRADECIMENTOS	98
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99
CAPÍTULO V - Cenários evolutivos relativos a serviços prestados por turfeiras dos Açores em Carbono e água	102
ABSTRACT	102
RESUMO	102
PALAVRAS-CHAVE	103
INTRODUÇÃO	103
MATERIAIS E MÉTODOS	104
RESULTADOS E DISCUSSÃO	110
AGRADECIMENTOS	124
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	124
CAPÍTULO VI – CONCLUSÕES	128

Capítulo I

CAPÍTULO I - Introdução

TEMA DE INVESTIGAÇÃO

“Avaliação do valor dos ecossistemas de turfeiras dos Açores, com recurso a modelação em Sistemas de Informação Geográfica”.

SUMÁRIO

O panorama mundial tem-se debatido com os problemas inerentes às alterações climáticas, bem como os decorrentes das alterações aos usos do solo, propondo soluções que passam, em grande parte, pelo recurso a sistemas florestais. Recentemente tem-se assistido ao dealbar de vozes que reclamam as zonas húmidas como uma solução mais promissora, assistindo-se a um avanço do conhecimento caracterizador dos diferentes impactos ambientais resultantes das ações antrópicas. As turfeiras são zonas húmidas particulares, nas quais se têm centrado grandes esforços de obtenção de conhecimento, revelando-se como ecossistemas prioritários a inserir nas preocupações de entidades internacionais, tais como a FAO, ou a Comissão Europeia (e. g.: European Commission 2013; Borges *et al.* 2010; Joosten *et al.* 2012; McInnes 2007; Wood & Halsema 2008)

No caso específico de Portugal as turfeiras não assumiram ainda um papel de destaque, encontrando-se uma grande área de turfeiras, perturbadas e/ou em bom estado de conservação no arquipélago dos Açores e só recentemente surgiu no debate científico como área relevante (Mendes 2009, 2010, 2013) e no plano político como área de investimento prioritário para recuperação ecológica (Decreto Legislativo Regional n.º 15/2010/A). Estas, na Região açoriana, ocupam cerca de 40% da superfície das áreas protegidas, sendo esta emergente relevância reconhecida pelas funções que as mesmas desempenham como elementos estruturadores da paisagem, na capacidade das ilhas para serem ecologicamente equilibradas, como sistema tamponizante/retentor de eventos climáticos, atuando como regularizadores do mesmo nas partes mais altas das ilhas e, conseqüentemente, das linhas de água a jusante. São um sistema retentor de metano e sequestrador de carbono; promotores de biodiversidade zonal e azonal (Dias *et al.* 2004); são ainda promotores da estabilidade física das zonas mais altas das ilhas, limitando a possibilidade de derrocadas e deslizamentos. São ecossistemas produtivos, que, nos Açores sofrem pressões antrópicas, as quais limitam as funções ecológicas desempenhadas pelos mesmos.

Existem trabalhos caracterizadores das turfeiras nos Açores, porém o desconhecimento ainda é considerável, pelo que se torna premente desenvolver um estudo que quantifique os impactos que as mesmas têm na regulação do ciclo hídrico e no processo de crescimento e acumulativo de turfa

(com as consequências inerentes), bem como da distribuição potencial no território açoriano. Pretende-se assim colmatar esta falta de conhecimento, estimando estes impactos, recorrendo a técnicas de modelação tridimensional em Sistemas de Informação Geográfica (SIG), com recurso a dados cartográficos, modelação da distribuição potencial de diversos tipos de turfeiras, secções transversais das mesmas, medições de matéria orgânica, uso de radares de penetração no solo e dados da quantidade de água retida pelas turfeiras, bem como uma avaliação do seu potencial futuro sob diferentes modelos de gestão.

ESTADO DA ARTE

A diminuição dos gases de estufa constitui um dos grandes desafios no mundo moderno, estando no plano político uma estratégia mundial contra as alterações climáticas, decorrente da Cimeira de Copenhaga. Tem-se destacado o dióxido de carbono como problemático, existindo uma forte linha de investigação internacional na tentativa de diminuição das emissões atmosféricas do mesmo, ou de soluções para o respectivo sequestro com recurso ao restauro ecológico de zonas húmidas (e. g., Gruber *et al.* 2004; Parish *et al.* 2008; Wetlands International 1999). Em Portugal, esta temática tem sido considerada, através do Programa Nacional para as Alterações Climáticas, ou mesmo do Fundo Português do Carbono [1], no entanto, a atenção tem-se centrado na floresta, descurando o grande sorvedor de carbono que são as zonas húmidas. Um outro problema a referir, de grande relevância internacional (e. g., [2]; [3]; [4]; [6]), tem sido o da regulação de eventos climáticos, decorrente dos problemas climatéricos que têm assolado o planeta, aos quais os Açores não têm sido colocados de parte. De facto, com as recentes cheias, bem como com situações de carência de água para consumo (e. g. caso da Agualva – ilha Terceira, que sofreu com cheias recentemente, ou mesmo o caso de carência de água para consumo humano, bastante evidente na ilha Terceira nos últimos anos), o panorama regional e internacional tem-se debatido com a procura de métodos e meios de colmatar a inconstância das disponibilidades hídricas.

Tendo em consideração estes dois problemas fulcrais, pretende-se com este trabalho contribuir para a compreensão da importância das zonas húmidas, fornecendo uma alternativa que tem surgido, com especial destaque, nas soluções propostas por entidades de relevância internacional e nacional, conforme referido. Este estudo surge numa linha de pensamento actual, a qual se enquadra nas preocupações que vários grupos de investigação, ao debruçarem-se sobre as zonas húmidas como uma das soluções para estes problemas mundiais, até recentemente relegadas para segundo plano (e. g.: Dallaire *et al.* 2009; Doolittle *et al.* 1995; Dommain *et al.* 2009; Eastmain 2010; Holden 2005; Howell *et al.* 2010; Nolan *et al.* 2008; Parkesian *et al.*, *In Press*; Parry & Charman 2009; Sheng *et al.* 2004).

De entre as zonas húmidas, as turfeiras surgem como os ecossistemas com maiores impactos ambientais. Estas, quando perturbadas, drenadas ou minadas, libertam quantidades maciças de

gases com efeito de estufa e de água para o exterior do sistema (e. g.: Dinsmore & Billet 2008, Holden 2005). A degradação de turfa ocorre, tradicionalmente, por exploração da mesma; nos Açores, no entanto, o processo ocorreu por utilização de turfa para a cultura do ananás, drenagem e arroteia para implantação de florestas de produção e, na maior parte dos casos, por implantação direta de pastagens. As turfeiras, geralmente consideradas de crescimento lento e extremamente sensíveis a pressões externas, não podem ser facilmente substituídas, pelo que a sua conservação é primordial (e. g.: Jaenicke *et al.* 2008). São responsáveis por impactos significativos ao nível da paisagem: são tamponizantes de eventos climáticos, atuando como regularizadores do mesmo nas partes mais altas das ilhas e, conseqüentemente, das linhas de água a jusante; são um sistema retentor de metano e sequestrados de dióxido de carbono, gases com efeito de estufa; são ecossistemas naturais promotores de biodiversidade; são ainda promotores da estabilidade física das zonas mais altas das ilhas, limitando a possibilidade de derrocadas e deslizamentos (e. g.: Elias & Dias 2009).

Relativamente à questão hidrológica, existe toda uma dinâmica no interior das turfeiras, extremamente importante para a regularização da água. Este facto torna-se relevante, dado que as áreas ocupadas pelas turfeiras nos Açores são consideráveis – por exemplo, na ilha das Flores, ocupam 2511 ha, e potencialmente 6040 ha; e na ilha Terceira, as áreas também são consideráveis rondando os 3155 ha e 5925 ha, respetivamente (Tabela I.1).

Um outro impacto actualmente considerado importante é o das turfeiras como sorvedores de carbono com objetivos de diminuição do efeito de estufa. Estes ecossistemas contêm cerca de 14% do total de carbono mundial retido (Wetlands International 1999), havendo mais carbono em turfeiras do que em toda a atmosfera da Terra - numa avaliação global sobre zonas húmidas, diversidade e as alterações climáticas, produzido em 2008 pelas organizações não-governamentais Wetlands International e Global Environment Centre, revelou que as emissões de dióxido de carbono, resultantes das drenagens de zonas húmidas, liberta aproximadamente 3000 milhões de toneladas, por ano, de dióxido de carbono, o que corresponde a mais de 11 por cento das emissões globais anuais de combustíveis fósseis ([3]; [6]).

Se as turfeiras crescerem naturalmente, têm o potencial para guardar este carbono e continuar indefinidamente a absorver mais do mesmo. No entanto, quando perturbadas ou drenadas (pressões antrópicas frequentes no arquipélago açoriano), este carbono é libertado (sob a forma de dióxido de carbono e metano) para a atmosfera em quantidades maciças. Ao contrário das florestas, em que a quantidade de carbono fixada é equivalente ao *standing crop*, no caso específico das turfeiras, devido à sua regeneração constante, o carbono é fixado num *continuum* temporal, o que permite que as mesmas sejam sequestradoras de carbono, e não apenas fixadoras.

Estas formações são, por isso, preocupação dominantes de várias Entidades de referência (e. g., [2]; [3]; [4]; [5]; [6]). No meio científico internacional tem-se também verificado preocupação com estas questões, existindo já algumas aproximações à determinação destes impactos das zonas

húmidas, (e. g.: Jaenicke *et al.* 2008; Wiebe 2003). No entanto, foram realizados para territórios com especificidades edafo-climáticas bem diferentes dos Açores.

No caso específico dos Açores não existem ainda trabalhos relativos a esta temática. No entanto, Dias *et al.* (2005, 2006) tem desenvolvido uma linha de investigação que permite tirar pistas interessantes sobre estas preocupações, na tentativa de determinar a respectiva distribuição actual e potencial. Os primeiros resultados apontam, para as zonas húmidas em geral, uma contínua degradação, relacionada com a antropização da paisagem que ocorreu nas últimas décadas, devida à substituição dos usos tradicionais da terra por sistemas intensivos (Dias *et al.* 2005).

Tem-se assim verificado uma crescente preocupação na recuperação de turfeiras para fixação de carbono, mas também para a conservação de espécies e habitats raros, bem como para a regulação do ciclo hidrológico. Desta forma, o restauro ecológico de zonas húmidas surge como um campo promissor na política actual de combate às alterações climáticas (Jaenicke *et al.* 2008; [2]; [3]; [4]; [5]; [6]). É neste contexto que o presente estudo se insere, no sentido de avaliar o valor dos ecossistemas de turfeiras dos Açores, com recurso a modelação em Sistemas de Informação Geográfica.

OBJECTO CONSTRUÍDO

Descrição detalhada

As turfeiras tradicionalmente mais conhecidas no meio científico situam-se em climas nos quais dependem das baixas temperaturas para a sua existência. No caso específico dos Açores, as turfeiras existentes estão associadas não ao frio, mas ao encharcamento (CBO elevada e pH ácido) e à existência de um horizonte de ferro e magnésio designado de plácico (ou pláquico), que impermeabiliza o mesmo. Especificamente, as zonas altas da maioria das ilhas dos Açores, por terem elevados valores de precipitação e humidade (Dias 1996) e ao facto dos solos ândicos em altitude, terem tendência a formar um horizonte impermeabilizante - plácico (Madruça 1986), desenvolvem condições óptimas para a formação e acumulação de turfa, um substrato pedológico, que se desenvolve em condições de encharcamento, pH baixo e anoxia (McQueen 1990). Em locais com estas características, a catividade dos decompositores, no solo, é limitada e a decomposição da matéria orgânica é muito lenta, acumulando-se esta em camadas (Dias 1996). Este substrato de natureza orgânica é muito variável, quer em função do material vegetal de origem (*Sphagnum* spp., gramíneas, espécies florestais, etc.), quer em função da sua posição no perfil, permitindo-se, em condições favoráveis, evoluir para turfeiras (Keys 1992). Este conjunto de factores edafo-climáticos conjugam-se nas zonas altas das ilhas do arquipélago dos Açores, promovendo a existência de extensas turfeiras, que ainda têm áreas actuais consideráveis e áreas potenciais (estimadas) bastante maiores (Tabela I.1).

Tabela I.1: Primeira estimativa de áreas atuais na Rede NATURA 2000 e potenciais de turfeiras nos Açores (Coligido de Mendes 2010; adaptado de Dias *et al.* 2005).

Ilha	Designação da Área Natural	Área Natural terrestre total (ha)	Área Total de Zonas húmidas (ha)	Área de Zonas húmidas Protegidas (ha)	Proporção de turfeiras no total da Área Natural (%)	Área de turfeiras no total da Área Natural (ha)	Área estimada de turfeiras no total das Áreas Naturais (ha)
CORVO	Costa e Caldeirão	823	105	64	36,4	299,57	571
FLORES	Zona Central - Morro Alto	2978	2156	1984	84,35	2511,96	6040
TERCEIRA	Serra de Santa Bárbara e Pico Alto	4795	1837	1370	65,8	3155,11	5925
	Costa das Quatro Ribeiras	108	0,94	0,94	0	0	
PICO	Montanha do Pico, Praínha e Caveiro	8508	2950	1138	26,73	2274,19	4320
FAIAL	Caldeira e Capelinhos	1786	506	443	18,5	330,41	974
SÃO JORGE	Ponta dos Rosais	157	1	1	0	0	1271
	Costa NE Ponta do Topo	3462	653	466	33	1142,46	
SÃO MIGUEL	Lagoa do Fogo	948	475	393	49,4	468,31	4836
	Total ->	24261	8713	5860		10182	23936

As atuais áreas ainda em turfeiras estão essencialmente localizadas dentro de Áreas Protegidas pela Diretiva Habitats (92/43/EEC), revogado pelo DLR 15/2012, e dos Parques Naturais de Ilha, sublinhando a importância das mesmas. Algumas estão classificadas com protecção prioritária pela Directiva Habitats, sendo relevantes não só para a Região, mas também no contexto nacional, pois em Portugal continental as turfeiras que existem são apenas resquícios de reduzida dimensão.

O facto de serem protegidas é relevante, pois tem-se assistido nas últimas décadas, essencialmente através da aplicação da Política Agrícola Comum, à destruição de grande área de turfeiras nos Açores, com os consideráveis impactos consequentes, resultantes das alterações do uso do solo, por aumento de área ocupada por pastagens ou por plantações florestais. Estas práticas resultaram na existência de vários estádios de degradação, nos diferentes tipos de turfeiras: turfeiras com degradação actual, com degradação anterior e sem degradação. Porém, não existe, ainda, quantificação científica, que sirva de suporte a decisões sobre o uso do território (e. g., o uso do território para recuperação ou manutenção de turfeiras – com objetivos de

crescimento e acumulação de turfa, ou de regulação hídrica, ou, pelo contrário, para produção de leite, uma actividade económica das mais importantes nos Açores).

Tornam-se assim necessários estudos detalhados e alargados a todas ilhas, para um conhecimento mais preciso da distribuição, área, e volumes, actuais e potenciais, das zonas húmidas dos Açores. Por outro lado, se para climas frios são conhecidos os valores relativos ao crescimento de turfa, (valores de crescimento de 1 a 3,5 cm por século, limitados precisamente pelo clima frio; Lamb 1977), no caso específico dos Açores, existem apenas indicadores de que o crescimento seja superior, atingindo valores de 3,0 a 3,5 cm/ano (SRAF 2007). Este valor é muito considerável e potencialmente poderá implicar uma taxa de sequestro de carbono superior às dos climas frios, os quais chegam a umas 0,7 toneladas/ha anuais (Belyea & Malmer 2004), bem como uma considerável retenção e regulação hídrica. No entanto, e embora os indicadores de crescimento anual apontem para valores maiores para a turfa nos Açores, existe um desconhecimento total sobre o mesmo para o arquipélago.

Assim e potencialmente, considerando a área de turfeiras açorianas, bem como os indicadores existentes relativos a crescimento de turfa (e conseqüente sequestro de carbono e de retenção de água), este estudo é de importância crucial no conhecimento do papel das turfeiras na regiões montanhosas temperadas, dado que todos os dados existentes indicam que podem ter um valor significativo no todo Nacional e Internacional.

ESQUEMA/MODELO EXPLICATIVO

A pergunta deste trabalho integra-se na seguinte linha condutora (Figura I.1):

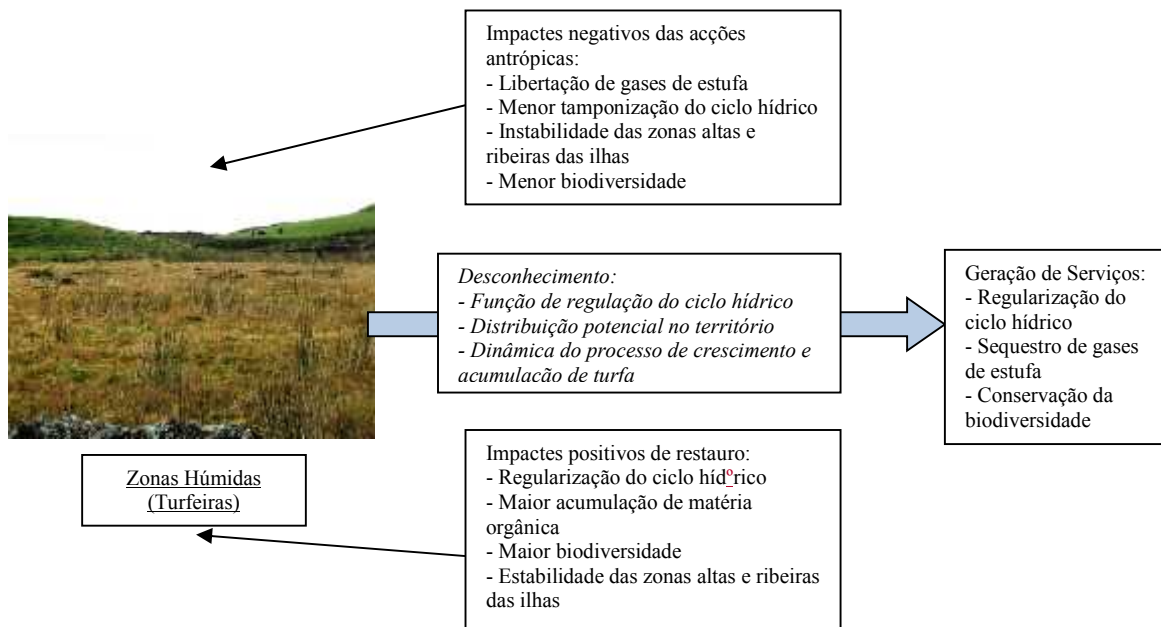


Figura I.1: Esquema proposto como integrador do tema proposto neste Doutoramento.

Tem este trabalho como objetivo efectuar uma “Avaliação do valor dos ecossistemas de turfeiras dos Açores, com recurso a modelação em Sistemas de Informação Geográfica”. Tem-se assim como objetivos específicos quantificar os impactos que as turfeiras têm na regulação de eventos climáticos e no processo de crescimento e acumulativo de turfa (com os serviços inerentes), bem como da distribuição potencial no território açoriano.

Esta multifuncionalidade das turfeiras relativamente aos serviços prestados (Figura I.1), bem como a distribuição potencial das mesmas é algo que, após a obtenção do seu conhecimento, tem implicações na evolução da sociedade actual mas principalmente no futuro, nas evoluções previsíveis da Política Agrícola Comum, nos cenários da revisão da Convenção de Copenhaga e na crescente importância da Rede Natura 2000 e no seu restauro de habitats.

QUADRO(S) CONCEPTUAL(IS) / DISCIPLINAR(ES)

A noção de Paisagem constitui um objecto de estudo adequado para determinados processos decorrentes na natureza (Troll 1939). Para um ecólogo terrestre, a paisagem pode ser entendida como um conjunto de comunidades ou de manchas diferenciadas de vegetação, dispostos sob uma estrutura geomorfológica, de tal modo que existam consideráveis fluxos materiais e energéticos que lhes dão uma certa coesão.

Esta noção de paisagem pode ajudar a integrar, sistemas naturais, numa visão mais complexa do sistema a estudar. Por exemplo, as zonas húmidas (e, conseqüentemente, as turfeiras) dos Açores serão melhor compreendidas se considerarmos as acções antrópicas sobre as mesmas. No entanto, refira-se que o conceito de paisagem continua sem estar definido na sua totalidade (Terradas 2001). Pode-se situar a paisagem como uma escala de observação geográfica na ordem dos quilómetros, a qual analisa territórios complexos com espaços naturais e outros mais ou menos artificiais, e a que considera, a paisagem, como uma abstracção que representa a heterogeneidade a qualquer escala (Pickett y Cadenasso 1995). Segundo esta óptica, introduz-se o problema da escala da paisagem, que é fundamental e, em ambos os casos, o das relações entre as funções espaciais e os respectivos processos ecológicos.

Este trabalho subentende uma abordagem integrada, nas áreas das Ciências do Ambiente, da Ecologia e das Ciências Agrárias (Especialidade de Ciência do Solo), ao ser um estudo sobre turfeiras, tema estudado em Ecologia do Solo, mas também porque o estudo começa por uma abordagem à uma escala local, mas cujos dados resultantes (com a aplicação de técnicas destas Ciências) podem ser projectados em Sistemas de Informação Geográfica, com a inerente macroescala (*upscaling*). Estes poderão ser posteriormente aplicados a modelos (Dias 1996; Mendes 2004) de distribuição potencial de turfeiras (com a inerente validação).

São aqui também abordadas outras questões científicas do domínio destas Ciências, tais como: a validade de determinar o volume de carbono ou de água existentes em zonas húmidas, a representatividade tridimensional do modelo gerado, a evolução sucessional de determinados

estádios de turfeiras ser estudada num único período temporal – com aplicação em períodos temporais da evolução sucessional de zonas húmidas - e a validade de distinguir os diferentes estados e formações de turfeiras.

ORGANIZAÇÃO DA TESE

A Tese encontra-se dividida em vários capítulos, quatro dos quais organizados como artigos científicos, com a seguinte estrutura:

Capítulo I - Introdução, agregadora do state-of-the-art relativo aos temas a desenvolver.

Capítulo II - Evaluation of internal structure of different Sphagnum peatlands of the Azorean mires, with GPR methodologies.

Este capítulo, destinado a publicação em artigo científico centra-se na verificação da aplicabilidade de tecnologias GPR ao conhecimento da estrutura interna das turfeiras dos Açores.

Capítulo III - Estimation of Carbon Stocks of different Sphagnum peatlands of the Azorean mires, with GPR methodologies.

Este capítulo centra-se na determinação de stocks de carbono de várias tipologias de turfeiras dos Açores, bem como nas pistas que este parâmetro pode fornecer sobre a evolução temporal das mesmas.

Capítulo IV – Avaliação dos serviços prestados por diferentes tipos de turfeiras de Sphagnum dos *mires* dos Açores: armazenamento e retenção da água.

Segue-se neste capítulo a mesma linha de pensamento que o anterior, mas aplicado a questões do ciclo hidrológico e respetiva interdependência com várias tipologias de turfeiras presentes nos Açores

Capítulo V – Cenários evolutivos relativos a serviços prestados por turfeiras dos Açores em Carbono e água.

Selecionou-se neste capítulo uma área de estudo na ilha Terceira, com a aplicação de cenários evolutivos tendo em consideração várias possibilidades de gestão da ocupação do solo, determinando-se os serviços prestados em água e carbono.

Capítulo VI - Conclusões.

Apontam-se neste capítulo as principais conclusões, dissertando também sobre os serviços prestados pelas turfeiras nos Açores relativamente a questões de biodiversidade.

Os capítulos II, III, IV e V destinam-se a publicação sob a forma de artigos científicos.

OBJECTO REAL

A recuperação ecológica de zonas húmidas tem surgido como um campo promissor na política actual de combate às alterações climáticas (e. g., [2]; [3]; [4]; [5]; [6]). Neste contexto, este trabalho revela-se interessante, pois Portugal encontra-se, atualmente, numa tendência mundial em que a procura de energia e as emissões de dióxido de carbono deverão aumentar cerca de 55 por cento até 2030, segundo a Agência Internacional de Energia, no relatório «Panorama da Energia Mundial» [7]. O ciclo hidrológico global também tem sofrido alterações relevantes às quais os territórios continental e regional não têm sido exceção. As medidas acordadas até recentemente para colmatar estas situações têm sido insuficientes, das quais a Cimeira de Copenhaga foi reflexo. As zonas húmidas têm surgido como ecossistemas promissores (ainda mais que a floresta), passíveis de serem uma solução considerável. Este trabalho surge tomando em conta esta linha de pensamento.

O conhecimento potencialmente obtido, com esta de Doutoramento, poderá fornecer dados relativos aos impactos ambientais da função de regulação e eventos climáticos, da distribuição potencial de turfeiras e da dinâmica do processo de crescimento e acumulativo de turfa nos Açores pelas turfeiras, e ainda a aferição de metodologia para tal, fornecendo suporte cientificamente válido para defender junto da comunidade regional, nacional e internacional as turfeiras como uma mais-valia portuguesa (nos próximos anos as turfeiras serão consideradas no Mercado de Carbono, conforme já referido, sendo necessários dados relativos ao sequestro de carbono entre diferentes estádios evolutivos das mesmas, pois só a diferença positiva de sequestro de carbono é financiada pelo Mercado de Carbono - os quais poderão ser considerados aquando da definição do tipo e/ou estágio de turfeiras pretendido para determinado local). Pode assim ser directamente integrado nas políticas Regionais, pela simulação de cenários, como os exemplos práticos já anteriormente referidos (Aqualva e Caldeira Guilherme Moniz).

Refira-se, por fim, que este projecto não ficará limitado à Região dos Açores, pois existem outros locais no planeta em que as condições de existência para as turfeiras se assemelham – os factores limitantes são o encharcamento e o pH, ao contrário do frio (conforme já referido). Poderá, então, este trabalho potencialmente ser aplicado a locais tão distantes dos Açores, como os de climas temperados ou a América Central, de modo a estimar impactos ambientais de turfeiras. Pode-se extrapolar, para esses locais, a quantidade de Carbono retido e/ou sequestrado. Pode-se inclusive extrapolar para as turfeiras da Serra da Estrela, (estas teriam que evoluir mais na respetiva sucessão ecológica para reterem significativamente Carbono, mas podem ser relevantes para a regulação e tamponização do ciclo hidrológico).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Belyea LR, Malmer N (2004) Carbon sequestration in peatland: patterns and mechanisms of response to climate change. *Global Change Biology* 10, 1043-1052, doi: 10.1111/j. 1365-2486.2004.00783.x.
- Borges P, Azevedo E, Borba A, Dinis F, Gabriel R, Silva E (2010) Ilhas Oceânicas. *In: Ecosistemas e Bem-Estar Humano. Avaliação para Portugal do Millenium Ecosystem Assessment*. Escolar Editora.
- Dallaire P-L, Garneau M & Giroux B (2009) High-Resolution Carbon Pool Estimation at Peatland Scale Using Ground-Penetrating Radar and Paleoecological Data. The 2nd International Symposium: Peatlands in the Global Carbon Cycle, Prague, Czech Republic, 25-30 September, 2009.
- Dias E (1996) *Vegetação Natural dos Açores. Ecologia e Sintaxonomia das Florestas Naturais*. Tese de Doutoramento. Universidade dos Açores. Angra do Heroísmo.
- Dias E, Elias RB & Nunes V (2004) Vegetation mapping and nature conservation: a case study in Terceira Island (Azores). *Biodiversity and Conservation*, 13: 1519-1539.
- Dias E, Fontes J, Pereira D, Mendes C, Melo C (2006) Modelo espacial de avaliação da importância da floresta no ordenamento do território, em função da precipitação oculta. *Comunicação. Participação nas IV Jornadas Forestales de la Macaronesia celebradas en Breña Baja – La Palma, Canárias, del 6 al 9 de junio de 2006*.
- Dias E, Mendes C, Melo C, Pereira D, Elias R, Santos E, Elias S (2005) *Plano Global de Gestão para a Rede NATURA 2000 – Açores – Áreas Terrestres*. Gabinete de Ecologia Vegetal e Aplicada. Departamento de Ciências Agrárias. Universidade dos Açores.
- Dinsmore KJ & Billett MF (2008) CO₂ Losses From a Peatland Stream During Stormflow Events. *Water Resources Research*, Vol. 44, W12417, 11 PP., 2008. doi:10.1029/2008WR007284.
- Dommain R, Couwenberg J & Joosten H (2009) Holocene Peat and Carbon Sequestration Rates and Palaeo and Modern CO₂ Emissions from SE-Asian Peatswamps. The 2nd International Symposium: Peatlands in the Global Carbon Cycle, Prague, Czech Republic, 25-30 September, 2009.
- Doolittle JA, Collins ME (1995) Use of soil information to determine application of ground penetrating radar. *Journal of Applied Geophysics* 33 (1995) 101-108.
- EASTMAIN EM-1 (2010) The use of a Ground-Penetrating Radar (GPR) to characterize peat stratigraphy and estimate the carbon pool and estimate the carbon pool in a boreal peatland. EM-1 PROJECT.
- Elias RB & Dias E (2009) The effects of landslides on the mountain vegetation of Flores Island, Azores. *Journal of Vegetation Science* 20: 706-717.
- European Commission (2013) *Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services. An analytical framework for ecosystem assessments under Action 5 of the EU Biodiversity Strategy* to

2020. Environment. Discussion paper – Final, April 2013. ISBN 978-92-79-29369-6. doi: 10.2779/12398. © European Union, 2013.
- Gruber N, Friedlingstein P, Field CB, Valentini R, Heimann M, Richey JE, Romero-Lankao P, Schulze D, Chen C-TA (2004) The vulnerability of the carbon cycle in the 21st century: an assessment of carbon-climate-human interactions. *In*: Field C. B., Raupach M. R. (eds.) *The Global Carbon Cycle: Integrating Humans, Climate, and the Natural World*. Island Press, Washington, D. C., pp. 45-76.
- Holden Z (2005) Peatland Hidrology and carbon release: why small-scale process matters. *Phil. Trans. R. Soc. A* (2005) 363, 2891-2913. Doi: 10.1098/rsta.2005.1671. Published online 24 October 2005.
- Howell D, Astin T, Branch NP & Young DS (2010) Using ground-penetrating radar to image features within peatlands: a feasibility study from four Irish bogs. Abstracts for Wetland Archaeology in Ireland and Beyond: University College Dublin, 6th-7th February 2010.
- Jaenicke J, Rieley JO, Mott C, Kinman P, Siegert F (2008). Determination of the amount of carbon stored in Indonesian peatlands. *Geoderma* 147 (2008) 151–158.
- Joosten H, Tapio-Biström ML & Tol S (eds.) (2012) *Peatlands - guidance for climate change mitigation through conservation, rehabilitation and sustainable use*. Second edition. Mitigation of climate change in agriculture series 5. Published by the Food and Agriculture Organization of the United Nations and Wetlands International. *Mitigation of Climate Change in Agriculture (MICCA) Programme*. October 2012.
- Keys D (1992) Canadian Peat Harvesting and the environment. *Sustaining Wetlands*, 3: 1-14. North American Wetlands Conservation Council (Canada).
- Lamb HH (1977) *Climate Instabilities*. *Climate: Present, Past and Future*. Vol. 2. Climatic history and the future. Methuen.
- Madruga JS (1986) *Andossolos dos Açores - Contributo para o seu estudo*. Provas de síntese para Provas de aptidão Pedagógica e Capacidade Científica. Universidade dos Açores. Departamento de Ciências Agrárias. Angra do Heroísmo. Ciclostizado.
- McInnes RJ (2007) Integrating ecosystem services within a 50-year Vision for wetlands. *Wetland Vision Technical Document: Overview and reporting of project philosophy and approach*. Annex for the Wetland Vision Technical Document. Report to the England Wetland Vision Partnership. Wildfowl & Wetlands Trust. November 2007.
- McQueen CB (1990) *Field Guide to the Peat Mosses of Boreal North America*. University Press of New England. London.
- Mendes C (2010) Critérios de identificação das zonas húmidas protegidas na Directiva Habitats nos ZEC terrestres dos Açores. Tese de Mestrado em Gestão e Conservação da Natureza. Universidade dos Açores.
- Mendes C & Dias E (2013) Azorean *Sphagnum* peatbog classification. Cases from Terceira Island. *SUO* 64(4): 147–163.

Mendes C, Dias E (2004) Avaliação da Distribuição Espacial dos Processos Hidro-ecológicos nos Ecossistemas de Montanha nos Açores. Plano Global de Gestão para a Rede NATURA 2000 – Açores – Áreas Terrestres. Gabinete de Ecologia Vegetal e Aplicada. Departamento de Ciências Agrárias. Universidade dos Açores.

Mendes C, Dias E (2009) Characterisation of Sanguinhal Mire, Terceira Island (Azores): a protected quaking bog habitat. *Acta bot. bras.* 23(3): 812-819. 2009.

Nolan JT, Parkesian AD, Slater LD, Glaser PH (2008) Geophysical characterization of the Red Lake Peatland Complex, Northern Minnesota. 21st SAGEEP. Symposium on the application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems.

Parish F, Sirin A, Charman D, Joosten H, Minaeva T, Silviu M (Eds.) (2008) Assessments on Peatlands, Biodiversity and Climate Change: Main Report. Global Environment Centre, Kuala Lumpur and Wetlands International, Wageningen. 179 pp.

Parry L & Charman D (2009) Methods for Modeling Soil Organic Carbon Distribution at a Landscape Scale: a Case Study on Dartmoor, Southwest England. The 2nd International Symposium: Peatlands in the Global Carbon Cycle, Prague, Czech Republic, 25-30 September, 2009.

Parsekian A, Slater L, Comas X & Glaser P (*In Press*) A comparison of biogenic gas accumulation between near-crest bogs and mid-slope lawns in the Glacial Lake Agassiz peatland using ground penetrating radar (GPR): evidence for free-phase gas variation along the peat column, *Journal of Geophysical Research-Biogeosciences*.

Pickett STA, Cadenasso ML (1995) Landscape ecology: spatial heterogeneity in ecological systems. *Science* 269: 331-334.

Secretaria Regional da Agricultura e Florestas – SRAF - DRRF (2007) Inventário Florestal da Região Autónoma dos Açores.

Sheng Y, Smith LC, MacDonald G (2004) A high-resolution GIS-based inventory of the west Siberian peat carbon pool. *Global Biogeochemical Cycles*, Vol 18. GB3004, doi:10.1029/2003GB002190, 2004.

Terradas J (2001) *Ecología de la vegetación. De la ecofisiología de las plantas a la dinámica de comunidades e paisajes*. Ediciones Omega S. A. Barcelona.

Troll (1939) Luftbildplan und ökologische Bodenforshung. *Z. Ges erdkunde* 241-298.

Wetlands International (1999) *Wetlands and Climate Change: The Potential for Crediting Wetland Conservation as Carbon Sinks*. North American Wetlands Conservation Council (Canada) and International Institute for Sustainable Development. Ducks Unlimited Canada.

Wiebe B (2003) Calculation of Carbon Storage in Western Siberian Peatlands using GIS-Modeling Techniques. XVI INQUA Congress. Geological Society of America Abstracts with Programs, p. 186.

Wood A & Halsema G (Coordinated and edited by) (2008) *Scoping agriculture-wetland interactions. Towards a sustainable multiple-response strategy*. FAO Water Reports, 33. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 2008.

WEBGRAFIA

- [1]- Fundo Português de Carbono. <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=17&subref=162&sub2ref=306> (Consultado em Setembro de 2014).
- [2]- North American Waterfowl Management Plan (2010). <http://abnawmp.ca/about-ab-nawmp/> (Consultado em Novembro de 2010).
- [3]- Directorate-General for the Environment – climate change homepage. http://ec.europa.eu/clima/policies/eccp/index_en.htm (Consultado em Setembro de 2014).
- [4]-Wetlands International. <http://www.wetlands.org/> (Consultado em Novembro de 2010).
- [5] - Global Environment Centre Foundation. <http://gec.jp/> (Consultado em Setembro de 2014).
- [6]- United Nations climate change conference in Copenhagen (COP 15). <http://unfccc.int/2860.php> (Consultado em Setembro de 2014).
- [7]-Agência Internacional de Energia. <http://aie.ineti.pt/> (Consultado em Novembro de 2010).