

C&S SIG

***A DETECÇÃO REMOTA E OS SIG NA
PRODUÇÃO ANIMAL
Análise da Contribuição e Situação Actual***

Ana Cristina V. R. Ferreira da Veiga Carvalho

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência e Sistemas de Informação Geográfica

Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação
da Universidade Nova de Lisboa

A DETECÇÃO REMOTA E OS SIG NA PRODUÇÃO ANIMAL

Análise da Contribuição e Situação Actual

Dissertação orientada por

Professor Doutor Mário Sílvio Rochinha de Andrade Caetano

Fevereiro de 2010

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Mário Sílvio Rochinha de Andrade Caetano pela sua disponibilidade na orientação deste trabalho, sugestões e conselhos que sempre me procurou transmitir, e, finalmente, paciência e persistência muitas vezes maior que a minha própria.

Ao Professor Doutor Andy Tatem pela sua disponibilidade sempre que o solicitei.

Ao Engenheiro Técnico Dean Anderson por todos os esclarecimentos que me prestou e pelos valiosos ensinamentos que tantas vezes me transmitiu.

À Engenheira Rosário Pós-de-Mina pela força e determinação que me incutiu.

Aos meus pais e irmão por todo o apoio e incentivo durante estes longos meses.

A DETECÇÃO REMOTA E OS SIG NA PRODUÇÃO ANIMAL

Análise da Contribuição e Situação Actual

RESUMO

O sector pecuário está a atravessar rápidas mudanças em resposta às pressões impostas pela globalização e pela crescente procura pelos produtos de origem animal nos países em desenvolvimento. Este crescimento e transformação têm consequências sociais e ambientais.

Perante este cenário revela-se pertinente um levantamento através de uma revisão de literatura, da situação actual no que toca à contribuição que a Detecção Remota (DR) e os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) podem dar, para atingir um objectivo: aumentar a produtividade do sector agro-pecuário de forma sustentável, dando resposta à procura (actual e futura) preservando a integridade dos ecossistemas onde se encontram inseridos os núcleos de produção, minimizando os impactos ambientais.

Serve este trabalho para contribuir para este levantamento, desenvolvendo a forma como os conceitos de Agricultura de Precisão (*Precision Farming*) e Produção Animal de Precisão (*Precision Animal Farming*) podem auxiliar no sentido do desenvolvimento de uma gestão sensata dos recursos naturais, cada vez mais escassos, respeitando assim o ambiente e o bem-estar de animais e pessoas. Dá-nos também uma panorâmica actual dos sistemas operacionais de vigilância de doenças, que recorrem à utilização dos SIG e da DR.

REMOTE SENSING AND GIS IN LIVESTOCK BREEDING

Analyzing its Contribution and Present Situation

ABSTRACT

The livestock sector is undergoing rapid change in response to pressures imposed by globalization and the rising demand for products of animal origin in emerging nations. Meat consumption per capita more than doubled in the second half of last century, even though the world's population continued to increase. As a result, the overall demand has increased fivefold. This growth and transformation have social and environmental consequences.

Against this background it is pertinent to do a survey by reviewing literature as well as the current situation as regards the contribution Remote Sensing (RS) and Geographical Information Systems (GIS) can give to achieve an objective: to sustainably increase the productivity of livestock farming sector; responding to demand (current and future), preserving the integrity of ecosystems where farms are inserted, minimizing the environmental impacts.

This work aims to contribute to this survey, developing the way precision agriculture concepts (Precision Farming) and precision livestock production (Precision Animal Farming) can assist in the development of a wise management of increasingly scarce natural resources, respecting the environment and the well-being of animals and people. It also gives us an overview of current disease surveillance operating systems, which include the use of GIS and RS.

PALAVRAS-CHAVE

Agricultura de Precisão
Alterações climáticas
Controlo do pastoreio
Detecção Remota
GPS
Poluição
Produção Animal de Precisão
Sanidade Animal
Sistemas de Informação Geográfica

KEYWORDS

Precision Farming
Climate changes
Animal Grazing Control
Remote Sensing
GPS
Pollution
Precision Livestock Farming
Animal Health
Geographical Information System

ACRÓNIMOS

AIG – *Analytical Imaging and Geophysics*

ALI – *Advanced Land Imager*

ALOS – *Advanced Land Observation Satellite*

AET – *Actual Evapotranspiration*

AP – *Agricultura de Precisão*

ASTER - *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*

aPAR – *Absorbed Photosynthetic Active Radiation*

AVHRR – *Advanced Very High Resolution Radiometer*

AVIRIS – *Airborne Visible Infrared Imaging Spectrometer*

AVNIR-2 – *Advanced Visible and Near Infrared Radiometer-2*

BGIS – *Ball Global Imaging System*

CBERS – *China-Brazil Earth Resources Satellite*

CCD – *Charge-Coupled Device*

CLM – *Common Land Model*

DEM – *Digital Elevation Model*

DITI – *Digital Infrared Thermal Imaging*

DR – *Detecção Remota*

EO-1 – *Earth Observing-1*

EOC-CSIRO – *Earth Observation Centre - Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation*

EOS - *Earth Observing System*

EM – *Espectro Electromagnético*

ERTS – *Earth Resources Technology Satellite*

ET - *Evapotranspiration*

ETM + - *Enhanced Thematic Mapper Plus*

EVI – *Enhanced Vegetation Index*

FAO – *Food and Agricultural Organization*

fPAR – *Fraction of Absorbed Photosynthetic Active Radiation*

GOES – *Geostationary Operational Environmental Satellites*

GPS – *Global Positioning System*

GSD - *Ground Sample Distance*

JPL-NASA – *Jet Propulsion Laboratory-National Aeronautics and Space Administration*

IR – *Infravermelho (Infrared)*

IRS – *Indian Remote Sensing Program*

IV – *Infra-vermelho*

KARI – *Korea Aerospace Research Institute*

KOMPSAT-2 – *Korean Multi-Purpose Satellite-2*

LAAS - *Local Area Augmentation System*

LAI – *Índice de Área Foliar (Leaf Area Index)*

LANDSAT - *Land Space Application Technology*

LiDAR – *Light Detection And Ranging*

LISS-3 – *Linear Imaging Self-Scanning Sensor - 3*

MERIS - *MEdium Resolution Imaging Spectrometer*

MODIS - *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*

MNLF – *Modified Non-Linear Vegetation Index*

MSS – *Multispectral Scanner*

NASA – *National Aeronautics and Space Administration*

NASDA – *National Space Development Agency of Japan*

NDVI – *Normalized Difference Short Wavelength Infrared*

NIR – *Infravermelho próximo (Near Infrared)*

NOAA – *National Oceanic and Atmospheric Administration Satellite*

PALSAR – *Phased Array type L-Band Synthetic Aperture Radar*

PAN – *Pancromatic*

PAR – *Photosynthetic Active Radiation*

PCA – *Principal Component Analysis*

PET – *Potential Evapotranspiration*

PETS – *Pet Travel Scheme*

PLF – *Produção Animal de Precisão (Precision Livestock Farming)*

PRISM - *Pico-satellite for Remote-sensing and Innovative Space Missions*

PSLV – *Polar Satellite Launch Vehicle*

RADAR – *Radio Detection And Ranging*

RADAR - *Rapid Analysis and Detection of Animal-related Risks*

RET – *Reference Evapotranspiration*

RGB – *Red Green Blue*

SIC - *Satellite Imaging Corporation*

SIG – *Sistema de Informação Geográfica*

SPOT – *Satellite Pour l’Observation de la Terre*

SPOT-HVR – *Satellite Pour l’Observation de la Terre-High Resolution Visible*

SSCM – *Site-Specific Crop Management*

SWIR – *Short Wave Infrared*

TM – *Thematic Mapper*

USDA FAS – *United States Department of Agriculture – Foreign Agricultural Service*

USGS – *United States Geological Survey*

UV - *Ultravioleta*

VNIR – *Visible Near Infrared*

WiFS – *Wide Field Sensor*

ÍNDICE DO TEXTO

AGRADECIMENTOS	iii
RESUMO.....	iv
ABSTRACT	v
PALAVRAS-CHAVE	vi
KEYWORDS.....	vi
ÍNDICE DE TABELAS.....	xv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvi
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objectivos	3
1.3. Estrutura do trabalho	3
2. APLICAÇÕES DA DETECÇÃO REMOTA E SIG NO CAMPO DA AGRO-PECUÁRIA	4
2.1. Agricultura de precisão	8
2.1.1. Definição	8
2.1.2. A Aquisição de dados	11
2.1.3. Processamento dos dados.....	16
2.1.4. Inputs para aplicação da VRT	17
2.1.5. Benefícios ambientais	18
2.1.5.1. Agricultura com trânsito controlado (CTF - <i>Controlled Traffic Farming</i>)	18
2.1.5.2. Aplicação de Pesticidas.....	21
2.1.6. Principais limitações	23
2.2. Monitorização de culturas	24
2.2.1. Tipos de dados disponíveis.....	27
Ópticos/Reflectivos.....	28

	RADAR (<i>Radio Detection and Ranging</i>).....	29
	LiDAR (<i>Light Detection and Ranging</i>).....	30
2.2.2.	A utilização de dados	31
	Estimativa de produções	33
2.2.2.1.	Caso concreto das pastagens.....	34
	2.2.2.1.1. Estimativa da disponibilidade e taxa de crescimento	34
	2.2.2.1.2. Análise nutricional de forragens	40
2.3.	Produção Animal de Precisão	43
	2.3.1. Definição	43
	2.2.2. Gestão da Distribuição dos Animais.....	45
	2.2.2.1 Controlo do Pastoreio.....	45
	A Vedação Virtual	46
	Capacidades e Limitações das Coleiras.....	48
	2.2.2.2. Monitorização em confinamento	51
	O LPM	51
3.	Higiene e Sanidade Animal.....	52
	3.1. Utilização dos SIG.....	52
	Os movimentos dos animais.....	57
	3.2. Controlo de doenças infecto-contagiosas e zoonoses	59
	3.2.1. Programas de Vigilância Operacionais	60
	3.2.1.1. A Nível Global	60
	EMPRES.....	60
	GLEWS (<i>Global Early Warning System for Major Animal Diseases, including Zoonoses</i>).....	61
	WAHID (<i>World Animal Health Information Database</i>)	61
	3.2.1.2. A Nível Regional.....	62
	DIM (<i>Detection Identification and Monitoring Zoonoses</i>).....	62
	RADAR.....	63
	PAHERDS	63

STEM (<i>Sistema Telemático per la gestione delle Emergenze Epidemiche</i>)	63
3.2.2. Acções Específicas em algumas zoonoses e outras ocorrências	64
Vírus da Língua Azul (BTV - <i>Bluetongue virus</i>)	65
Febre Aftosa (FMD – <i>Foot-and-mouth disease</i>)	67
Gripe Aviária (H5N1).....	67
Vírus da Encefalite	69
Surto de Carraças	70
4. Monitorização das mudanças ambientais derivadas da Produção Animal.....	72
4.1. O sobrepastoreio.....	72
4.2. Delineação de percursos e trilhos.....	73
4.3. Papel da Pecuária na alteração Climática e Poluição do ar e Água	75
4.4. Integração de dejectos e nutrientes.....	78
O Azoto	78
O Fósforo	80
5. Conclusões	83
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	86
ANEXOS.....	105
Anexo 1 - A Detecção Remota	105
O Espectro Electromagnético	105
Anexo 2 - Sistemas de Navegação Global por Satélite.....	110
O GPS.....	110
O DGPS.....	112
O GALILEO	113
GMES	114
Anexo 3 - Sensores.....	115
Caracterização de sistemas de imagem de satélite por detecção remota	115
Sensores multiespectrais e hiperespectrais	118
Anexo 4 – Dados Biofísicos das Plantas	122

LAI (<i>Leaf Area Index</i>).....	122
PAR (<i>PHOTOSYNTHETICALLY ACTIVE RADIATION</i>).....	124
RET (<i>Reference Evapotranspiration</i>).....	126
AET (<i>Actual Evapotranspiration</i>).....	127
Anexo 5 – Índices de Vegetação	129
NDVI (<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>).....	130
EVI (<i>Enhanced Vegetation Index</i>).....	132

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 -- Exemplos de satélites utilizados na monitorização agrícola (GEO, 2007).....	27
---	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Previsão para o mercado da carne de vaca na eu 2004-2011 (milhões ton) (Prospects for Agricultural Markets 2004 – 2011 update for EU-25, July 2004)	1
Figura 2 - Evolução dos <i>outputs</i> agrícolas na EU-27 (1995=100) (EC, 2008).....	5
Figura 3 - Evolução dos <i>inputs</i> agrícolas na EU-27 (1995=100) (EC, 2008)	5
Figura 4 – Como actua a radiação na folha (SHORT, 2007b)	7
Figura 5 - Componentes da agricultura de precisão (BERRY & ASSOCIATES, 2007)	10
Figura 6 - Aplicação da tecnologia VRT numa pulverização (ESRI, 2008)	11
Figura 7 - Parcela sujeita a técnicas de agricultura de precisão (ESRI, 2008)	12
Figura 8 – Esquema da implementação de um SSCM evidenciando a importância do georreferenciamento (TAYLOR, J., WHELAN, B., 2008)	12
Figura 9- funcionamento do sistema RTK (JOHN DEERE, 2009).....	13
Figura 10 - Esquema da compensação do terreno (JOHN DEERE, 2009).....	13
Figura 11 - Sensor de massa e caudal (esq.) e unidade de monitorização (dir.) (JOHN DEERE, 2009) .	14
Figura 12 - Mapas de rendimento (JOHN DEERE, 2009).....	16
Figura 13 – Tractor com sistema CTF (<i>controlled traffic farming</i>) (DPI&F, 2004).....	19
Figura 14 – Comparação dos trilhos deixados no terreno em situação de mobilizações convencionais (cima), sem mobilizações (centro) e no sistema CTF (baixo) (DPI&F, 2004).....	20
Figura 15 – Mapa teórico de uma parcela identificando regiões nas quais qualidades e dosagens de spray específico são requeridas (JOHNSTON <i>et al.</i> , 2001).....	22
Figura 16 - Posição de um satélite geostacionário cada 12 horas(DATA DISCOVERY, 2003).....	24
Figura 17 – Comportamento nos NIR e SWIR face ao stress das plantas (SHORT, 2007b)	25
Figura 18 - Dados de altitude LiDAR (SHORT, 2007b)	30
Figura 19 - Cobertura do <i>Pastures from Space</i> (PASTURES FROM SPACE, 2006)	36
Figura 20 - Mapa de taxa crescimento de pastagem	37
Figura 21 – Mapa de biomassa da pastagem, (kg/ha), (soun averaged), Mongolia, 2007	38
Figura 22 - Mapa de encabeçamento permitido pela pastagem (CN/ha), Mongolia, 2007	38

Figura 23 - Avaliação da praticabilidade da medição da qualidade da forragem a partir da detecção remota (PASTURES FROM SPACE, 2003)	41
Figura 24 - Controlo dos processos da produção animal (WATHES, 2007)	44
Figura 25 - Bovinos com coleiras GPS (fonte: CSIRO)	48
Figura 26 - Bezerro com colar GPS de dimensões mais reduzidas (BRAIDOTTI, 2005)	48
Figura 27 - Coleira GPS (Hotgroup, 2007)	50
Figura 28 - Monitorização através das coleiras GSM GPS (Hotgroup, 2007)	50
Figura 29 - Esquema do conceito do TETRAD (GEERS <i>et al.</i> , 1998)	58
Figura 30 - Presença/ausência do <i>c. Imicola</i> , na região do mediterrâneo, prevista por um modelo derivado de dados de presença/ausência em 87 locais de Portugal (TATEM, 2003)	66
Figura 31 - Trajectórias migratórias (esq.) e utilização de paragens (dir.) determinadas através de telemetria por satélite (USGS, 2008)	68
Figura 32 - Processo de construção de um mapa de risco (PFEIFFER <i>et al.</i> , 2009)	69
Figura 33 - Aglomerados de algas no Golfo do México (EARTH OBSERVATORY - NASA, 2004).....	77

1. INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

A gestão sensata da biodiversidade agrícola no mundo, está a tornar-se num cada vez maior desafio para a comunidade internacional. O sector da produção animal em particular, está a ser sujeito a mudanças dramáticas enquanto se assiste a uma expansão na produção em larga escala, como resposta à crescente procura de carne, leite e ovos (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO, 2007).

Com o aumento da prosperidade, a população está a consumir mais carne e produtos lácteos por ano. Prevê-se que a produção global de carne, mais que duplique de 229 milhões de toneladas em 2001 para 465 milhões de toneladas em 2050, enquanto a produção de leite se espera que suba de 580 para 1043 milhões de toneladas (UNITED NATIONS - UN, 2006).

Na EU (*European Union*) a tendência é semelhante conforme representado na Figura 1.

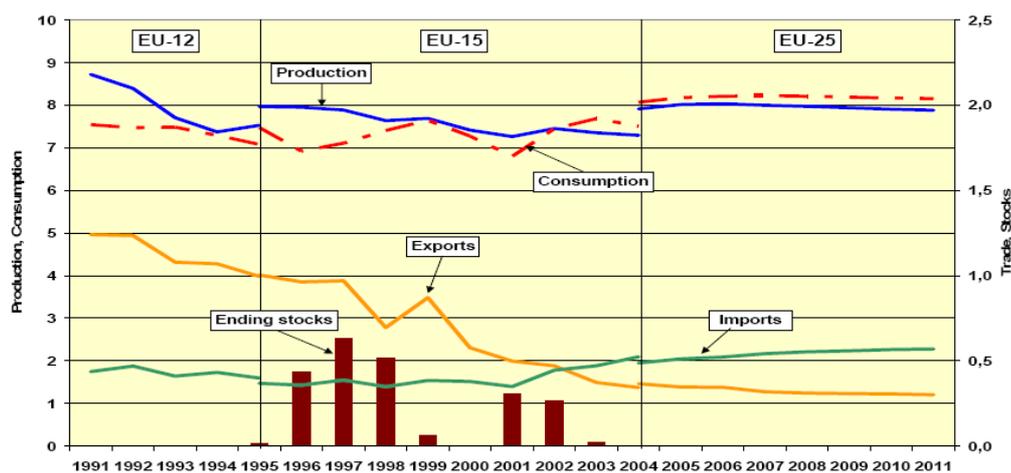


Figura 1 - Previsão para o mercado da carne de vaca na eu 2004-2011 (milhões ton) (Prospects for Agricultural Markets 2004 – 2011 update for EU-25, July 2004)

Os cereais e as pastagens e forragens são a base da alimentação animal. Segundo DE HAAN *et al.* (1996), um quinto do solo arável mundial é utilizado para cereais destinados à alimentação animal. Este facto coloca uma grande pressão sobre os recursos naturais globais e, como a procura continua a aumentar, é necessário encontrar formas pelas quais a produção animal possa ser aumentada sem prejudicar o ambiente no qual essa produção tem que ter lugar.

A pecuária é muitas vezes o único capital de reserva de muitos produtores, para vender quando os tempos se tornam mais difíceis. De uma maneira ou de outra, a produção animal é crucial para o sustento de agricultores mais pobres. Aqui residem as vantagens ambientais nas quais as futuras políticas de produção animal se devem basear. Devem assegurar que o ambiente não é comprometido. Ignoramos o perigo da interacção entre a pecuária e o mundo em que vivemos, as suas reservas naturais e o meio ambiente dos quais dependemos para a nossa sobrevivência. A melhor forma de julgar o efeito que esta procura vai ter no ambiente, é ver o que está a acontecer neste momento, de bom e de mau, e que acções podem ser tomadas para incentivar uma produtividade extra, limitando os efeitos nefastos e optimizando os bons. Uma coisa é certa, a opção que tínhamos no passado, de aumentar a área usada para a produção animal de forma a responder á crescente procura, já não está, na maioria das situações, disponível. A terra e outros recursos são finitos e, a não ser que sejam salvaguardados, a esperança de podermos aumentar a produção animal, e assim satisfazer as aspirações de biliões de pessoas, irá desvanecer-se (DE HAAN *et al.*, 1996).

A volatilidade no custo dos *inputs* agrícolas e o retorno gerado pela produção, gera uma instabilidade na economia agrícola. Este cenário apela á introdução de novas tecnologias que melhorem a produtividade das culturas, forneça informação para possibilitar melhores decisões em tempo útil, reduza os custos em produtos químicos e fertilizantes através de uma aplicação mais eficiente, permita registos mais exactos, aumente a margem de lucro e reduza a poluição. Por outras palavras, agricultura com precisão para optimizar *inputs* e *outputs*. Mesmo que a tecnologia

tenha o potencial para ajudar a aliviar o problema face às futuras gerações, uma abordagem integrada é indispensável para promover a sua utilização por parte dos agricultores (SEELAN *et al.*, 2003).

A agricultura mundial é actualmente responsável por mais de metade do aumento de óxido nitroso (N_2O), dois terços do amoníaco (NH_3) global que entra para a atmosfera, e 40% das emissões globais de metano (CH_4). Alguns compostos desempenham importantes papéis na química atmosférica, depleção de ozono, formação de aerossóis e efeito estufa. Entre eles estão o amoníaco e óxido nitroso libertados pelos dejectos dos animais e adubos minerais, bem como o metano que tem origem nos animais ruminantes (FAO, 1997).

1.2. OBJECTIVOS

É nesta linha de pensamento que surge este trabalho. Pretende-se fazer um levantamento mais ou menos detalhado dos recursos existentes e dos que estão previstos num futuro próximo em termos de Detecção Remota e SIG, de forma a tornar mais sustentável e eficiente a produção animal, e por inerência, a produção agrícola, como geradora de *inputs* para a actividade pecuária, na forma de pastagens e forragens.

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho divide-se essencialmente em três partes:

- Um capítulo que aborda a agricultura de precisão e a produção animal de precisão, tocando nos principais conceitos e ideias envolvidas
- Um capítulo dedicado à contribuição dada pelos SIG e DR à sanidade animal e controlo e gestão de zoonoses
- Um capítulo dedicado aos impactos ambientais da produção animal, e como podem ser minimizados recorrendo a ferramentas como os SIG e DR.
- No final apresentam-se algumas conclusões mediante a análise da informação recolhida

2. APLICAÇÕES DA DETECÇÃO REMOTA E SIG NO CAMPO DA AGRO-PECUÁRIA

Neste capítulo são abordados os conceitos de Agricultura de Precisão e Produção Animal de Precisão, desenvolvendo as principais características destes sistemas, salientando as mais-valias para o produtor e para o meio ambiente.

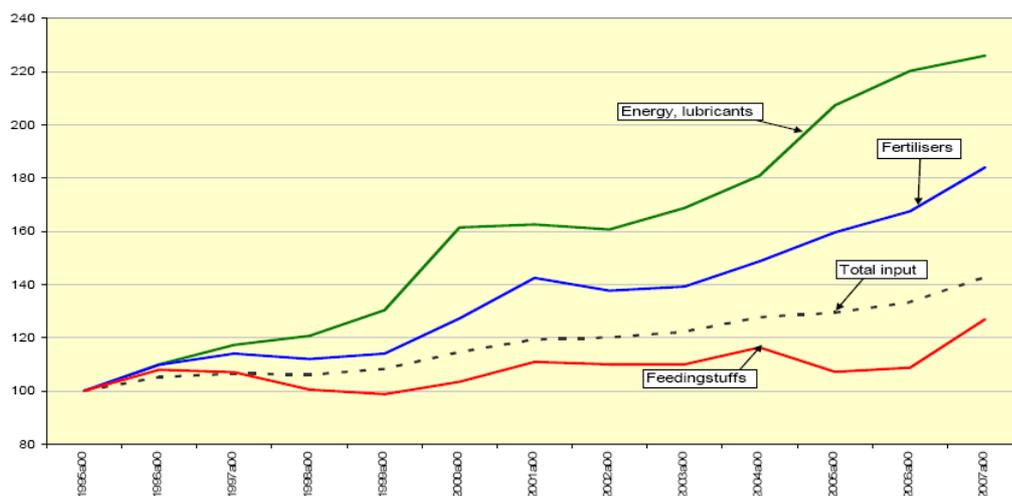
A agricultura é um componente do bem-estar social, e a produção agrícola influencia e é influenciada pela saúde, água, ecossistemas, biodiversidade, economia, utilização e fontes de energia. A sazonalidade e ubiquidade da agricultura tornam as práticas agrícolas e a produção favoráveis a uma monitorização sinóptica eficiente. A avaliação das necessidades para melhorar as observações da agricultura (por satélite e *in situ*) é uma actividade da IGOL (*Integrated Global Observations of Land*), e o desenvolvimento de uma estratégia a 10 anos para obter estas observações e gerar e distribuir a informação necessária é uma tarefa específica do programa GEOSS (*Global Earth Observing System of Systems*) (GEO, 2007).

O actual cenário, em termos de crescimento populacional e conseqüente aumento da procura de alimento, juntamente com a diminuição de recursos físicos (área cultivável, aumento da pressão na terra actualmente produtiva) e a volatilidade no custo dos *inputs* agrícolas (Figura 3) associada ao lucro gerado pela venda dos produtos agrícolas (Figura 2), gera uma grande instabilidade na economia agrícola (SEELAN *et al.*, 2003).



Source: Eurostat.

Figura 2 - Evolução dos *outputs* agrícolas na EU-27 (1995=100) (EC, 2008)



Source: Eurostat.

Figura 3 - Evolução dos *inputs* agrícolas na EU-27 (1995=100) (EC, 2008)

No entanto, sendo dois sectores que se alimentam mutuamente, é de esperar que os preços do *output* da produção animal subam no futuro.

É imprescindível a introdução de tecnologias modernas para o aumento das produções, disponibilização de informação para possibilitar uma melhor decisão na gestão agrícola, permitindo reduzir os custos nos químicos e fertilizantes através de

uma aplicação mais eficiente, criando registos agrícolas mais precisos, aumentar a margem de lucro ao mesmo tempo que diminui a poluição. Por outras palavras, agricultura com precisão, de forma a otimizar *inputs* e *outputs* (SEELAN *et al.*, 2003).

A Detecção Remota (DR) abrange técnicas de recolha de dados da variação espacial de parâmetros quer do solo, quer das culturas, usando plataformas de observação aéreas ou de satélite. A maioria das técnicas assentam no facto de diferentes coberturas têm frequentemente assinaturas espectrais características na zona do visível e/ou não visível no espectro electromagnético [por exemplo ultra-violeta (UV), Infravermelho (IV) reflectido, IV térmico, microondas, etc]. Devido a esse facto, alguns fenómenos que não são visíveis ao olho humano, podem ser observados através de técnicas de DR, por exemplo árvores afectadas por doenças e ataques de insectos que podem ser detectados muito antes de serem visíveis (AUSTRALIAN CENTRE FOR PRECISION AGRICULTURE - ACPA, 2007, BALASELVAKUMAR, s.d.).

A utilização de informação remotamente detectada, em mapas de recursos naturais e como fonte de *input* de informação para processos de modelação ambiental, tem-se tornado bastante popular nos últimos anos. Com a disponibilidade de informação obtida através da DR a partir de diversas plataformas com um vasto leque de resoluções espaço-temporais, radiométricas e espectrais, fizeram da DR, talvez, a melhor fonte de informação para aplicações de grande escala e outros estudos (MELESSE *et al.*, 2007).

Como muitos aparelhos de DR operam nas regiões do verde, vermelho e IV Próximo (*Near Infrared* – NIR) do espectro electromagnético (ver Anexo 1), podem discriminar a absorção da radiação e reflectância da vegetação. Uma característica especial da vegetação é que as folhas, como ocorrência comum, são parcialmente transparentes permitindo que alguma da radiação as atravesse (frequentemente atingindo o solo que reflecte a sua própria assinatura). O comportamento da

radiação que, de um modo geral, entra e sai actuando numa folha, está representado na Figura 4 (SHORT, 2007b).

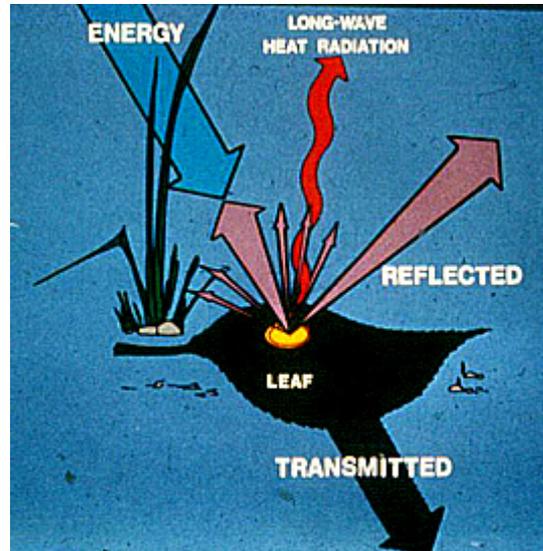


Figura 4 – Como actua a radiação na folha (SHORT, 2007b)

Identificar vegetação com imagens de DR depende de várias características das plantas. Por exemplo, em geral as folhas caducas tendem a ser mais reflectivas que as folhas sempre verdes em forma de agulha. Assim, nos compósitos em infravermelho, as cores vermelhas associadas com essas bandas do intervalo dos 0,7-1,1 μ m, têm normalmente uma matiz mais rica e são mais brilhantes, nas folhas das árvores que nas agulhas dos pinheiros. Estas variações facilitam bastante uma detecção precisa, identificando e monitorizando a vegetação em superfícies terrestres e, em alguns casos, nos oceanos e outros corpos de água. Assim, podemos continuamente avaliar (com frequência a um nível quantitativo) alterações em florestas, pastagens, terrenos arbustivos, culturas e pomares, e plâncton marinho. Como a vegetação é a componente dominante na maioria dos ecossistemas, podemos utilizar a DR aérea e por satélite para, por rotina, juntar informação para caracterizar e gerir estes sistemas orgânicos (SHORT, 2007b).

Uma das aplicações das imagens de satélite multiespectrais com maior sucesso é a monitorização do estado da produção agrícola mundial. Esta aplicação inclui a identificação e diferenciação da maioria dos tipos de culturas: trigo, cevada, painço

(milho miúdo), aveia, milho, grãos de soja, arroz, entre outras. Esta capacidade foi convincentemente demonstrada inicialmente pelo ERTS-1¹ classificando diversos tipos de culturas cultivadas em Holt County, Nebraska (SHORT, 2007b).

Muitos factores combinados provocam pequenas a grandes diferenças nas assinaturas espectrais para as variedades culturais cultivadas pelo homem. Geralmente, é necessário determinar a assinatura de cada cultura numa região de amostras representativas em alturas específicas. No entanto, alguns tipos de culturas têm respostas espectrais bastante semelhantes em estádios de crescimento equivalentes. As diferenças entre os tipos de culturas (planta) podem ser bastante pequenas no NIR, considerando outras variáveis tais como o tipo de solo, humidade do solo, etc., como constantes (SHORT, 2007b).

2.1. AGRICULTURA DE PRECISÃO

Através dos tempos, os sistemas de produção agrícola beneficiaram da incorporação de avanços tecnológicos, inicialmente desenvolvidos para outras indústrias. A era industrial trouxe a mecanização e fertilizantes sintéticos, a era tecnológica ofereceu a engenharia genética e agora a era da informação traz o potencial para a Agricultura de Precisão (WHELAN *et al.*, 2007).

2.1.1. DEFINIÇÃO

Agricultura de Precisão (AP) é a designação dada a um método de gestão agrícola integrado, incorporando várias tecnologias, e através do qual áreas de terreno ou culturas podem ser geridos com diferentes níveis de *input* dependendo da produção potencial de determinada cultura naquela zona particular (COVEY, 1999). Tal é conseguido através do processo de observação da variação dos factores que controlam o processo da produção agrícola, avaliando os problemas que podem ser

¹ O ERTS-1 (*Earth Resources Technology Satellite*) é hoje conhecido por LANDSAT

causados, e então providenciar atempadamente tratamentos muito específicos. A forma de AP relacionada com a gestão de culturas é frequentemente designada por *Site-Specific Crop Management* (SSCM) e assenta na correspondência entre a aplicação de recursos e práticas agrícolas com a variação de características (atributos) do solo e requisitos das culturas dentro de determinada área. Este tratamento é conhecido como *Differential Treatment of Field Variation*, em oposição ao tratamento uniforme que suporta os sistemas de gestão agrícola tradicionais (ACPA, 2007). Desta forma é gerida, espacial e temporalmente, a variabilidade numa parcela (REICHARDT & JURGENS, 2008), que se tratava como homogénea até então (ESRI, 2008).

A AP é por isso um sistema agro-pecuário integrado de tecnologias de informação e produção, criado para aumentar a longo prazo, *site-specific* e a produção agro-pecuária no seu todo, no que respeita a eficiência, produtividade e lucro enquanto minimiza impactos não intencionais na vida selvagem e meio ambiente (ACPA, 2007). Não é um objectivo mas uma abordagem integrada, estandardizada internacionalmente, dirigida para uma agricultura sustentável, visando não apenas uma utilização eficiente de recursos mas também uma redução da incerteza nas decisões de gestão, respondendo simultaneamente à segurança e necessidade de bem-estar de pessoas e animais (SCHELLBERG *et al.*, 2008).

As principais actividades ou componentes no âmbito da Agricultura de Precisão são a aquisição de dados e informação a uma escala e frequência adequadas (NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC, 1997), o processamento dos dados e os inputs para a aplicação com uma taxa variável (*Variable Rate Technology* - VRT) (REICHARDT & JURGENS, 2008), por outras palavras, a implementação de uma resposta ao problema, a uma determinada escala e em determinada altura (NRC, 1997). Na Figura 5 encontram-se esquematizados estes componentes: A aquisição dos dados contempla as tecnologias espaciais (*GPS – Global Positioning System* e DR) entre outras, o processamento dos dados é feito através de um SIG que fornece por sua

vez os inputs para uma aplicação de taxa variável, recorrendo a equipamento específico.

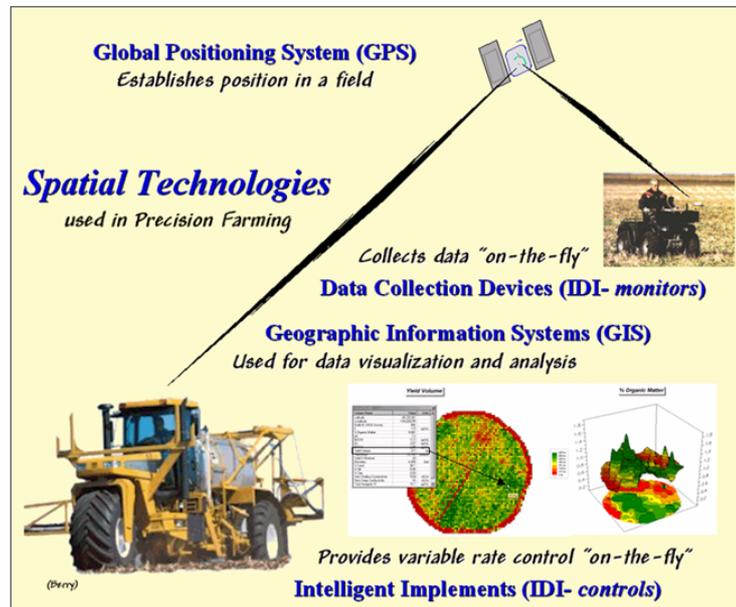


Figura 5 - Componentes da agricultura de precisão (BERRY & ASSOCIATES, 2007)

A aplicação de tecnologias de AP tem geralmente seguido um de dois caminhos. Um deles é inteiramente baseado em mapas de informação e o outro é baseado em sensores em tempo real. Estas duas abordagens podem complementar-se. A abordagem por mapas permite o uso de informações históricas, enquanto os sensores permitem avaliar as condições da estação. A informação baseada em mapas geralmente é recolhida com monitores de produtividade, através de análise de solo, e/ou com DR (TAYLOR, 2007).

A principal diferença entre estratégias baseadas em mapas e sensores é a análise de dados e interpretação. Com o mapa de aplicação de taxa variável como base, o produtor deve recolher e analisar dados de entrada para um algoritmo de resposta esperada para a cultura e, em seguida, transferir a esta indicação para um aplicador de taxa variável (Figura 6). A abordagem baseada no sensor utiliza sensores para medir a colheita e/ou propriedades do solo em tempo real à medida que o aplicador se desloca através do campo. Os dados do sensor são recolhidos,

processados e interpretados pelo computador de bordo e imediatamente utilizados num controlador de taxa variável. Uma das vantagens desta abordagem é automatizar o passo da análise e interpretação de dados na abordagem baseada em mapa (TAYLOR, 2007).



Figura 6 - Aplicação da tecnologia VRT numa pulverização (ESRI, 2008)

2.1.2. A AQUISIÇÃO DE DADOS

A agricultura moderna trata da optimização da produção agrícola. Neste aspecto, nada mudou durante milhares de anos. A sempre crescente aceitação de tecnologias de informação no dia-a-dia teve um impacto na agricultura. Talvez o maior desenvolvimento capaz de expedir influencias para a AP foi o GPS. Incorporando o GPS nas práticas agrícolas tradicionais, os agricultores, cientistas e consultores têm sido capazes de melhorar a precisão da gestão de actividades agrícolas existentes através da sua implementação, à escala da parcela (ESRI, 2008) isto é, fazendo uma abordagem a diversos níveis (REICHARDT & JURGENS, 2008). Os factores que influenciam a produtividade das culturas podem ser potencialmente identificados, mapeados, e usados para possibilitar a implementação de uma solução (ver Figura 7) (ESRI, 2008).



Figura 7 - Parcela sujeita a técnicas de agricultura de precisão (ESRI, 2008)

O conhecimento da parcela é uma informação nem sempre transferível, e, aqueles sem experiência, teriam que depender de práticas de gestão pouco precisas. Este facto aumentou a consciência e a capacidade de mapear com maior precisão, permitindo ao sector agrícola implementar ferramentas espaciais importantes num SIG (ESRI, 2008).

Com o contínuo aumento dos custos de produção na agricultura moderna, com mais legislação agrícola, uma maior consciência ambiental, e a necessidade de alimentar a crescente população humana, cresce a necessidade de otimizar a gestão agrícola através da utilização dos SIG (ESRI, 2008). A capacidade para georreferenciar actividades dá aos produtores a opção para mapear e expor visualmente as operações agrícolas. Este facto permite avaliar tanto a produção como as operações agrícolas pouco eficientes (Figura 8) (TAYLOR, J., WHELAN, B., 2008).

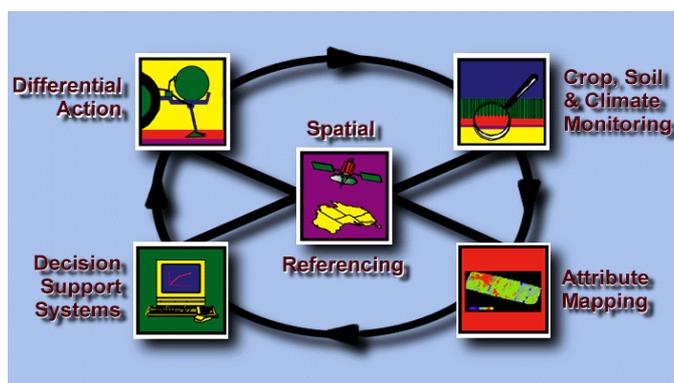


Figura 8 – Esquema da implementação de um SSCM evidenciando a importância do georreferenciamento (TAYLOR, J., WHELAN, B., 2008)

O GPS é o motor da AP, pois calcula onde o utilizador está localizado (longitude, latitude, elevação) a partir de sinais difundidos por 24 satélites. Normalmente os receptores GPS de baixo custo, têm uma exactidão de 15-20 m, o DGPS corrigido diferencialmente (*Differential GPS*) tem uma exactidão de 1-5 m enquanto os receptores RTK-DGPS (*Real-Time Kinematic*) oferecem uma exactidão inferior a 5 cm. Normalmente grande exactidão significa grandes custos (DEPARTMENT OF PRIMARY INDUSTRIES & FISHERIES - DPI&F, 2004). O sistema RTK consta de uma estação base local, próxima à exploração onde se trabalha, que transmite as correcções de posição a um receptor (a John Deere utiliza o StarFire ITC) do veículo equipado com RTK através do rádio RTK (Figura 9).

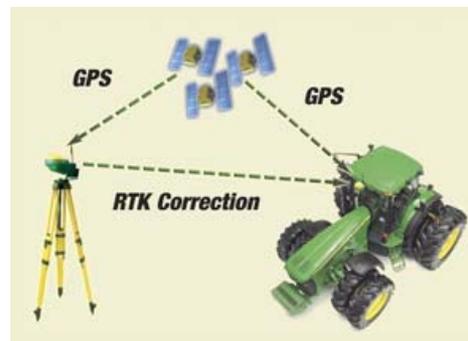


Figura 9- funcionamento do sistema RTK (JOHN DEERE, 2009)

Normalmente um módulo de compensação do terreno, encarrega-se de fazer a correcção de posição para a ajustar a diferentes terrenos e declives (Figura 10).



Figura 10 - Esquema da compensação do terreno (JOHN DEERE, 2009)

Os Sensores e Registos de Dados (*dataloggers*) fornecem informação acerca da cultura, solo e clima que pode ser monitorizada com uma grande frequência recorrendo a estas tecnologias. Os dados recolhidos numa base de uma localização específica disponibilizam informação para decisões de gestão a curto e a longo prazo. Podem ser utilizados sensores *on-line*, sensores remotos ou sensores *off-line*. Os primeiros estão ligados a um GPS e um *data logger*, e recolhem dados de uma localização específica enquanto se desloca dentro da área de interesse (abordagem da AP por sensores).



Figura 11 - Sensor de massa e caudal (esq.) e unidade de monitorização (dir.) (JOHN DEERE, 2009)

Os sensores *on-line* mais vulgarmente utilizados são os *grain flow meter* ou sensores de massa e caudal (Figura. 11) que possibilitam a criação de um mapa de produções durante a operação de colheita (abordagem da AP por mapas) (DPI&F, 2004). O sensor de massa é uma placa curva que mede o caudal e a massa de grão.

Um sensor de humidade situado num lado do elevador de grão limpo possibilita a medição de forma constante do conteúdo de humidade e da temperatura do grão. O alto grau de precisão permite uma conversão exacta para toneladas de grão seco. Outros sensores úteis incluem sensores de indução electromagnética, capazes de medir a textura do solo e bandas de sal, sistemas de detecção instantânea de infestantes, usando uma câmara de IV ou óptica e sensores *on-board*. Engenheiros e agrónomos do DPI&F australiano estão actualmente a usar resultados coincidentes de produção e proteína para apurar quais os factores que estão a limitar a produção em determinada área, tais como o azoto ou a humidade. Os sensores remotos

captam dados de um determinado local, a partir de uma localização remota. Imagens de satélite ou aéreas podem identificar um leque de factores que influenciam a produção, como o tipo de solo, topografia, infestações de ervas daninhas, germinação da semente e sanidade da cultura. Uma imagem em tempo correcto pode fornecer informação útil acerca da cultura actual, a produção potencial e qualquer acção melhoradora que possa aumentar a produção. Os sensores *off-line* possibilitam a medição de factores que influenciam a produção em alturas diferentes daquelas em que está a agir no local. Por exemplo, a avaliação da fertilidade de solos, contagem de insectos, medição de seiva, ou identificação de incursões de infestantes, podem ser confrontados para construir uma imagem daquilo que pode influenciar as produções finais. Um sistema, incluindo um GPS e um *data logger*, é necessário para registar os dados ou observações (DPI&F, 2004).

2.1.3. PROCESSAMENTO DOS DADOS

A abordagem por sensores permite a automatização deste passo, isto é, enquanto a informação é recolhida, está a ser analisada e processada para passar ao aplicador de taxa variável na mesma altura em que a máquina está a desempenhar determinada tarefa.

Na abordagem baseada em mapas depois de os dados terem sido recolhidos, um software informático converte os dados guardados em mapas de produtividade ou rendimento (Figura. 12), topografia, solo, nutrientes ou infestantes. No entanto estes mapas apenas descrevem a variação, e não explicam a causa da mesma. Os mapas precisam ser calibrados no terreno, pela observação durante o ciclo produtivo para identificar convenientemente as possíveis razões para as variações de produtividade (DPI&F, 2004).

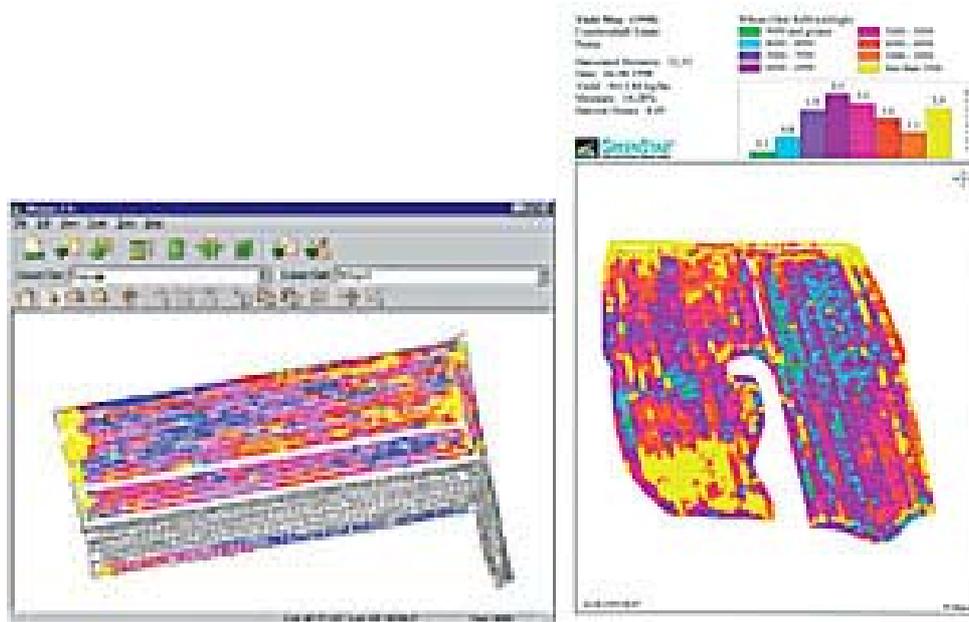


Figura 12 - Mapas de rendimento (JOHN DEERE, 2009)

2.1.4. INPUTS PARA APLICAÇÃO DA VRT

Uma vez que os factores que limitam a produção estejam identificados, uma decisão tem que ser tomada sobre se a variação justifica uma intervenção, se os factores que causaram a variação podem ser geridos, e se os custos de uma gestão *site-specific* compensam os retornos antecipados (DPI&F, 2004).

Mais do que gerir determinada área metro a metro, uma técnica mais prática é dividir a área, baseado na produtividade, tipo de solos, ou outro factor característico, em várias zonas de gestão. Os mapas podem então ser gerados baseados nas necessidades para serem diferenciadamente aplicadas, dentro dessas zonas. Onde os factores limitantes da produtividade podem ser economicamente geridos variando os *inputs*, assim como fertilizantes, pesticidas ou aplicações de semente, a VRT pode ser utilizada para dispensar o mapa da aplicação. A VRT consiste em equipamento electrónico montado e.g. no tractor, que controla a taxa de fertilizante pesticida ou semente, de acordo com a posição dentro da área da cultura, baseado nas recomendações dos produtores. Várias empresas desenvolveram esta tecnologia para variar a aplicação de semente e/ou fertilizante (DPI&F, 2004).

Os benefícios de tais acções são de dois tipos:

- O custo de produção de determinada cultura pode ser reduzido;
- O risco de poluição ambiental através dos agro-químicos aplicados em quantidades superiores às requeridas pela cultura, pode ser reduzido (COVEY, 1999).

O objectivo da AP é juntar e analisar a melhor informação disponível acerca da variabilidade das condições do solo e da cultura (COVEY, 1999; MUELLER *et al.*, 2000) de forma a maximizar a eficiência dos *inputs*, em pequenas áreas dentro da exploração.

A capacidade de monitorizar e responder tal variabilidade, em pequena escala, é o objectivo da agricultura de precisão (WHELAN *et al.*, 2007). Para atingir esta eficiência, a variabilidade dentro da área de cultura tem que ser controlável. A eficiência na utilização de *inputs* na cultura significa redução de na quantidade de adubos e produtos químicos, e em vez disso, são colocados onde realmente são necessários. Os benefícios desta eficiência serão quer económicos quer ambientais. Os custos ambientais são mais difíceis de quantificar em termos monetários, mas a redução da poluição de águas subterrâneas com origem em actividades agrícolas, resulta num benefício muito desejável para o agricultor e para a sociedade (COVEY, 1999).

2.1.5. BENEFÍCIOS AMBIENTAIS

As tecnologias da Agricultura de Precisão têm sido aplicadas principalmente para aumentar a produção das culturas. Estas tecnologias são extensíveis à gestão dos recursos naturais, tanto na exploração agrícola, como em escalas mais amplas. Esta competência ampliada da tecnologia de precisão, apropriadamente denominada conservação de precisão, enfatiza a sustentabilidade dos recursos do solo e água em sistemas agrícolas e naturais, não apenas para os benefícios agrícolas, mas também para a protecção do ambiente. Para esse efeito, a conservação de precisão é um conceito inclusivo que recorre à investigação e tecnologia para o mapeamento da variação biológica e físico-química no solo, a fim de auxiliar as decisões de gestão adequadas para essa variação, sob uma perspectiva espaciais e temporais (CABOT *et al.*, 2006).

2.1.5.1. AGRICULTURA COM TRÂNSITO CONTROLADO (CTF - *CONTROLLED TRAFFIC FARMING*)

A compactação do solo ocorre quando a pressão exercida pelos pneus das máquinas, dentes de alfaias ou animais, comprime o solo aumentando a sua densidade. Solos mais densos levam a dificuldades de germinação das culturas,

fraca infiltração da água das chuvas e produções culturais mais baixas, podendo ainda aumentar a escorrência superficial e a erosão do solo. A compactação ocorre em solos húmidos ou molhados. Em solos cultivados recentemente, a primeira passagem provoca o maior estrago, normalmente nos 20-30cm superficiais. Independentemente da forma como o solo for trabalhado, ocorrem sempre prejuízos. As condições do solo óptimas para a produção de culturas (solos macios, friáveis e permeáveis) são inadequadas para uma deslocação eficiente das máquinas e vice-versa (DPI&F, 2004).

A agricultura com trânsito controlado (*Controlled Traffic Farming* - CTF) separa as zonas de passagem daquelas onde estão as culturas semeadas. Significa que as mesmas rodas são usadas para todas as mobilizações, plantações, pulverizações e operações de colheita (Figura 13). Na prática significa que todas as rodas estão alinhadas nos mesmos trilhos. Além disso melhora a tracção e eficiência de campo, evita danos na estrutura do solo através de uma compactação contínua e facilita o sistema de mínima mobilização (DPI&F, 2004).



Figura 13 – Tractor com sistema CTF (*controlled traffic farming*) (DPI&F, 2004)

A Figura 14 representa a cobertura feita pelas rodas numa situação de mobilizações convencionais, sem mobilizações e finalmente na situação CTF. Esta situação é baseada numa largura de trabalho de 3m. A ceifeira, pulverizador e semeador/tractor têm múltiplos de 3m (neste caso 9m). É possível usar equipamento mais largo nesta composição (DPI&F, 2004). As combinações mais frequentemente utilizadas são baseadas num semeador de 9m e ceifeira com um

pulverizador de 27m, tudo com uma largura de trilhos de 3m, com pneus de 0,5m de secção e pilotagem automática por GPS-RTK de 2cm (TULLBERG, 2008).

A CTF recorre a sistemas de orientação compostos por vários componentes. O GPS (ver Anexo 5) é necessário para localizar exactamente o veículo, um instrumento de assistência na orientação e respectiva montagem, perto do volante que ajusta a direcção do movimento (apenas em sistemas automátatos). A orientação visual é suficiente onde a precisão não é essencial. No entanto, a maioria destes sistemas fornecem uma precisão inferior a 1m. Os sistemas automatizados são aplicáveis a situações, tais como sementeiras em linha, onde a precisão tem que ser inferior a 10cm (DPI&F, 2004). Estes sistemas têm as vantagens adicionais de menor fadiga para o condutor (WHELAN, 2007) e maior confiança em operações durante a noite. A precisão destes sistemas está relacionada com o tipo de GPS utilizado (DPI&F, 2004). O facto de se conseguir manter os mesmos trilhos de passagem das rodas numa cerca, ano após ano, é conseguido através da orientação pelo sistema GNSS (ver Anexo 5) (MCNEILL *et al.*, 2009).

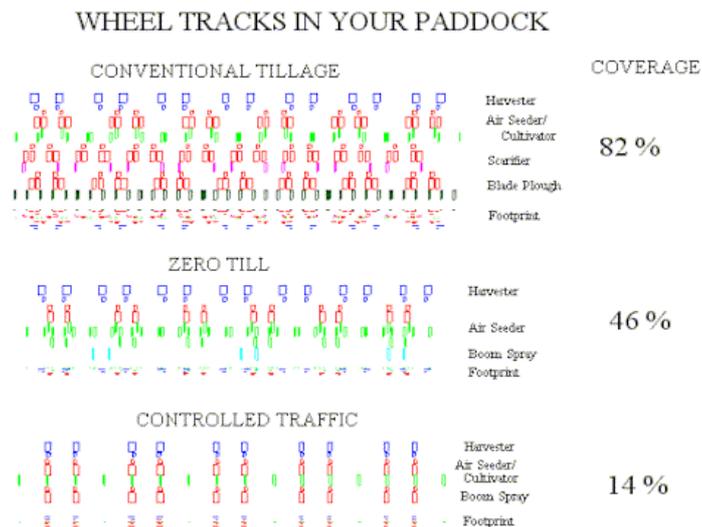


Figura 14 – Comparação dos trilhos deixados no terreno em situação de mobilizações convencionais (cima), sem mobilizações (centro) e no sistema CTF (baixo) (DPI&F, 2004)

Em resumo, a CTF fornece benefícios de sustentabilidade (tais como a minimização da compactação do solo, permitindo a sementeira e plantação com entre-linhas

para reduzir o impacto das doenças e utilização de herbicidas, benefícios económicos (minimizando a sobreposição de *inputs*, melhorando a gestão de água do solo e melhorando a oportunidade das operações) e benefícios sociais (WHELAN, 2007). A CTF contribui também para uma redução de emissões de gases de efeito estufa reduzindo o consumo de energia e fertilizantes (MCNEILL *et al.*, 2009).

2.1.5.2. APLICAÇÃO DE PESTICIDAS

A forma mais eficaz de reduzir o impacto ambiental é a aplicação de menos produto, acima de tudo, evitando tratamentos por completo ou aplicando doses reduzidas onde se justifique. Além da DR através da fotografia por infravermelhos ou detecção multiespectral, uma tecnologia promissora é a utilização de um *green-sensing sprayer* (pulverizadores sensíveis ao verde). Estes pulverizadores (*sprayers*) estão disponíveis há já algum tempo, mas têm sido limitados à capacidade do verde *versus* não-verde, isto é, o seu uso é limitado a casos de pousios tratados quimicamente, após queimadas, ou culturas em linhas. Uma nova forma de utilizar estes pulverizadores seria com recurso a mapas georreferenciados de parcelas verdes, numa área que não requeira uma decisão quanto a um tratamento imediato. Isto até poderia ser feito na presença da cultura. Uma mancha de infestantes poderia ser definida como qualquer região onde a área verde detectada excede os níveis representados pelo coberto da cultura. Depois de elaborado o mapa, estes valores têm que ser calibrados eficientemente para identificar espécies ou quantificar densidades (JOHNSTON *et al.*, 2001).

Outra forma importante de reduzir a utilização generalizada de pesticidas é através do controlo do fluxo. Este pode ser categorizado em endo e exo-fluxo. Endo-fluxo é aquele fora da largura de trabalho dos gotejadores do pulverizador sendo o produto recapturado para o interior dos limites da área tratada. Para a maioria das utilizações práticas, a endotracção não é considerada um problema de maior. O exofluxo é o movimento do *spray* para fora da área tratada, criando potencialmente

um impacto nos ecossistemas, cursos de água e humanos. Este facto recebeu grande atenção e está a ser gerido a um nível de regulação através de zonas *buffer* ou zonas não-*spray*. Uma vez disponíveis uma série de dados meteorológicos, volumes de *spray*, alturas de crescimento, e velocidades de deslocação, o fluxo de *spray* pode efectivamente ser gerido através da utilização de sprays mais grosseiros. Esta tecnologia recorre a sistemas que permitem ajustar o tamanho do gotejador durante a deslocação, sem afectar o volume de *spray* ou a velocidade de deslocação. Este controlo pode ser feito através de GPS. A Figura 15 representa um campo a ser tratado com pesticida, e identifica uma fronteira adjacente a uma zona não-*spray* e regiões de várias densidades de pesticidas, relevo ou características de solo. Fazendo com que o pulverizador se desloque no sentido da seta, várias regiões serão atravessadas.

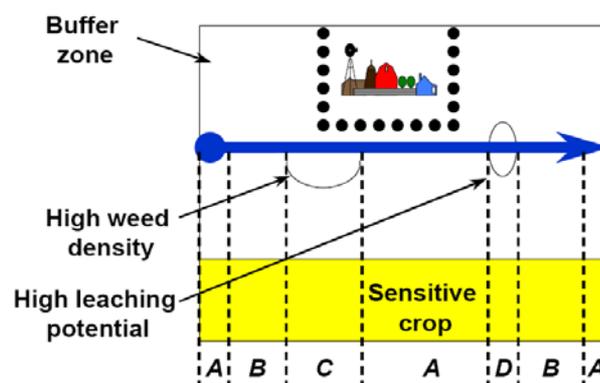


Figura 15 – Mapa teórico de uma parcela identificando regiões nas quais qualidades e dosagens de spray específico são requeridas (JOHNSTON *et al.*, 2001)

Em primeiro lugar a zona sensível (região A) requer a taxa padrão com uma qualidade grosseira de *spray*. Na região B, afastada das regiões sensíveis, será desejada uma taxa padrão com uma qualidade média de *spray*. Na região C, uma mais alta densidade de infestantes pode requerer uma maior taxa de herbicida em combinação com um *spray* mais grosseiro para os limites da parcela. Na região A, regressamos à taxa padrão, mas retendo o *spray* mais grosseiro em qualidade. Na região D, onde a textura grosseira dos solos ou um ponto mais baixo sugere uma

lixiviação mais elevada, uma taxa de herbicida pode ser utilizada para minimizar esse risco. Como não existe o risco de exofluxo, uma qualidade média de *spray* é necessária. Para terminar a passagem, o pulverizador regressa às regiões anteriormente definidas como B e A. O operador pode manter uma única velocidade de deslocação durante a passagem. A mesma tecnologia pode disponibilizar um registo electrónico da aplicação, documentando a taxa e qualidade do *spray* através da parcela (JOHNSTON *et al.*, 2001).

2.1.6. PRINCIPAIS LIMITAÇÕES

Nomeadamente na Alemanha, os agricultores que já recorreram às tecnologias da AP, depararam-se com problemas no início, mas, uma vez ultrapassados, de um modo geral, encontram-se satisfeitos com a introdução destas tecnologias. No entanto a maioria hesita em introduzir estas técnicas principalmente devido ao alto custo de aquisição do equipamento. Vários inquéritos conduzidos nos EUA, Reino Unido, Dinamarca e Alemanha, mostraram que a utilização da AP é menor que a esperada. Por outro lado, aqueles que estão interessados em implementar a AP terão que modificar o parque de máquinas da sua exploração bem como adoptar nova tecnologia informática (REICHARDT & JURGENS, 2008).

Estabelecer as ligações entre os diferentes equipamentos, apresenta-se como a principal dificuldade, sempre que um projecto envolve novas tecnologias de diferentes fabricantes (SERRANO *et al.*, 2005; REICHARDT & JURGENS, 2008).

Neste sentido a Organização Internacional de Normalização (*International Organization for Standardization*) tem desenvolvido actividades com vista ao estabelecimento de normas que permitam as ligações entre diferentes equipamentos electrónicos (ex. a Norma 11783 define a linha de comunicação para as trocas de informação entre os equipamentos móveis, tractores e alfaias) (SERRANO *et al.*, 2005).

2.2. MONITORIZAÇÃO DE CULTURAS

Para a monitorização agrícola, as leituras por satélite a partir de sensores ópticos (ver Anexo 2) fornecem os dados primários para *input*, para elaboração de mapas, e caracterização da área da cultura, tipo e condição da cultura. Para um mapa e monitorização a uma escala global, produtos derivados de sensores de baixa resolução e órbita polar diária podem ser usados. Os sensores geostacionários fornecem informação horária a uma escala continental. Para manter a mesma velocidade angular que a Terra, os satélites com órbitas geostacionárias têm que estar colocados em órbita 36.000km acima do equador, o que limita a sua resolução espacial (Figura 16).

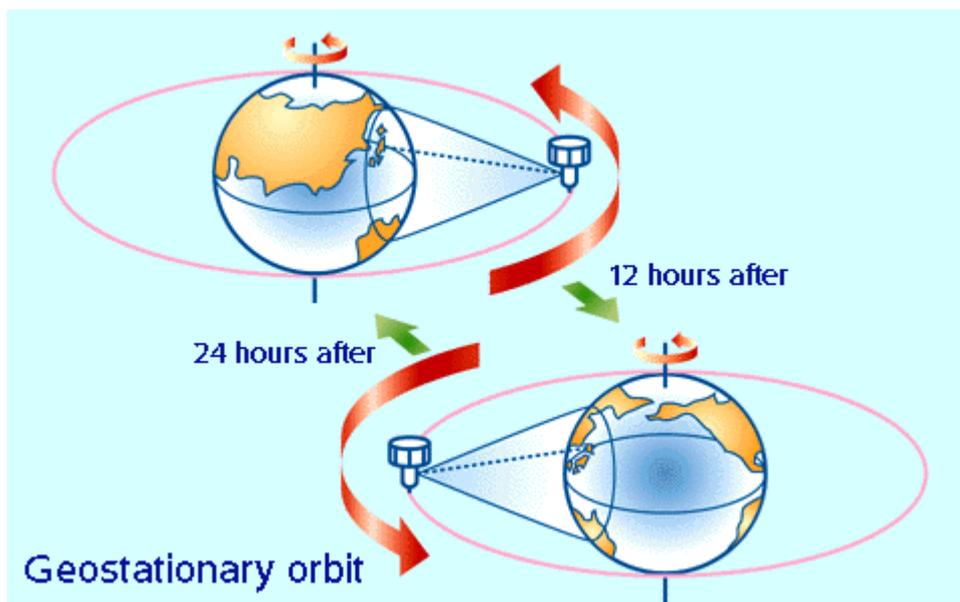


Figura 16 - Posição de um satélite geostacionário cada 12 horas (DATA DISCOVERY, 2003)

Existem diferentes vantagens em aumentar a resolução espacial dos sistemas geostacionários para monitorização agrícola, mas actualmente uma resolução de 500m permanece um desafio tecnológico. A monitorização agrícola *wall to wall* a uma escala nacional/regional é levada a cabo com informação diária de baixa resolução para áreas com grandes campos, ou parcelas contínuas com a mesma

cultura (*synthetic field*) ou usando múltiplas imagens de resolução moderada adquiridas com a frequência possível durante a época produtiva. A monitorização a uma escala nacional/local é conseguida com dados de resolução moderada a alta (10m ou melhor). Este acerto é nomeadamente conseguido entre a resolução espacial, a largura do *swath* do sensor e a repetição da cobertura. Para os sistemas ópticos as aquisições de alta resolução espacial possibilitam maximizar a oportunidade de obter observações livres de nuvens (GEO, 2007).

Em circunstâncias favoráveis, é praticável a detecção de stress nas culturas geralmente a partir da deficiência de humidade ou doenças e pragas, e por vezes sugerir tratamentos antes de os agricultores terem consciência dos problemas. O stress é indicado pela diminuição progressiva no IV Próximo (*Near Infrared - NIR*) mas o contrário no IV de Onda Curta (*Short Wave Infrared – SWIR*) (Figura 17).

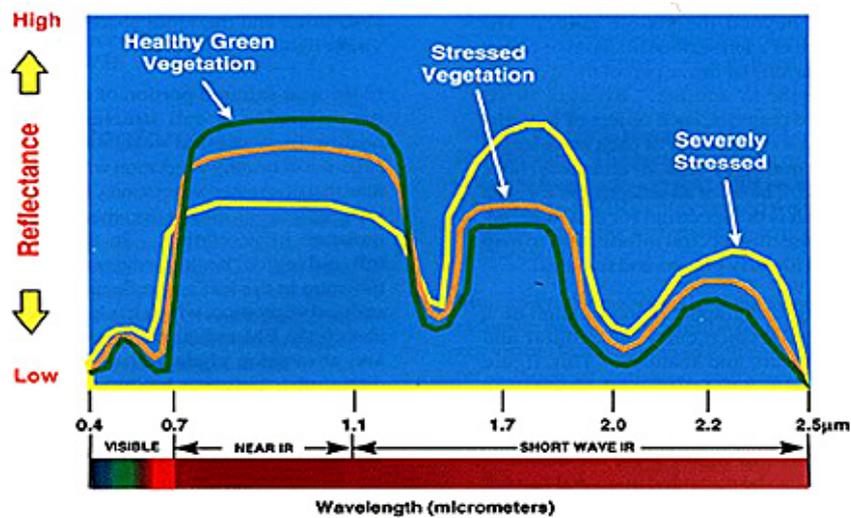


Figura 17 – Comportamento nos NIR e SWIR face ao stress das plantas (SHORT, 2007b)

As diferenças no vigor vegetativo, que resultam do stress variável, são especialmente evidentes quando são utilizadas imagens ou dados no NIR (GEO, 2007).

A monitorização e mapeamento de áreas inundadas para arroz, áreas irrigadas, e áreas com nebulosidade persistente podem beneficiar da utilização de informação microondas. A resolução moderada multitemporal pode ser utilizada para

possibilitar a detecção da emergência de culturas e estimativa da área cultivada. A monitorização do regime hídrico das plantas e *deficits* podem ser levados a cabo usando dados SWIR e térmicos. Anomalias na vegetação associadas por exemplo como uma seca agrícola ou infestação de insectos, podem ser identificados usando análises comparativas de dados de séries temporais de épocas produtivas anteriores, os quais requerem um registo de dados consistentes e bem calibrados (GEO, 2007).

Uma combinação de dados de satélite e *in situ*, dados biofísicos e condições de crescimento (insolação, albedo, e temperatura da superfície terrestre), são indicadores usados para derivar a AET (*Actual Evapotranspiration*) e RET (*Relative Evapotranspiration*) (ver Anexo 4) para avaliar a condição da cultura, e como indicadores da produção. Esta abordagem do balanço de energia e água está a surgir como um método efectivo usando dados no visível, NIR e IR térmico, na resolução espacial de 10m a 1km (WU *et al.*, 2006; GEO, 2007).

A sensibilidade/mudança da componente agricultura-clima pode ser tratada usando sensores de baixa resolução espacial tais como o AVHRR do NOAA e o MetOP, MODIS, séries com órbita polar SPOT VGT. Para monitorizar impactos da variabilidade climática na agricultura, são necessários dados de alta resolução temporal e podem ser encontrados por estes sensores com uma grande resolução espacial e cobertura global diária. As necessidades para mapas de uso do solo/e alterações no coberto, mapas de distribuição de culturas, tipos de culturas e estimativa de área agrícola, podem ser colmatadas por sistemas de sensores de moderada a alta resolução espacial incluindo o LANDSAT, SPOT, CBERS, IRS-AWiFs, entre outros (ver Tabela 1).

A necessidade de resolução espacial variará como função do tamanho da parcela. Em países onde a agricultura de larga escala é comum, como os Estados Unidos da América, Argentina, Rússia, Brasil, as necessidades podem ser cobertas recorrendo a sensores com resolução espacial de 30m-80m. Noutros países por exemplo em África e na Europa, onde o tamanho das propriedades é pequeno e a paisagem

agrícola é complexa, os mapas de tipos de culturas e estimativas de áreas agrícolas, requerem sensores com uma resolução espacial com menos de 20m (ex. SPOT HRV) (GEO, 2007).

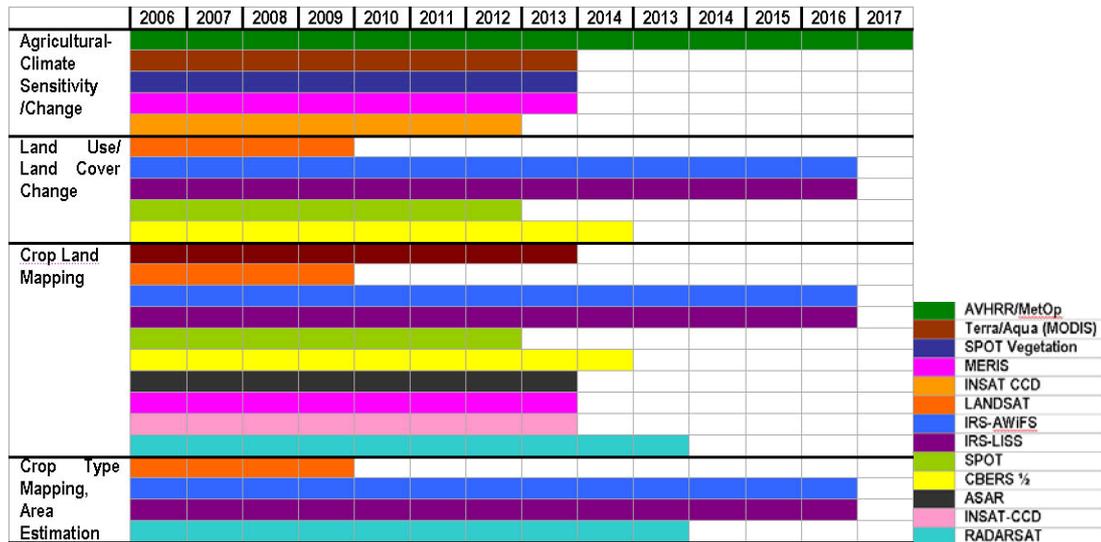


Tabela 1 -- Exemplos de satélites utilizados na monitorização agrícola (GEO, 2007)

2.2.1. TIPOS DE DADOS DISPONÍVEIS

As culturas produzidas por todo o mundo usando apenas a precipitação como fonte de água, representam um vasto leque de espécies, práticas culturais, e utilizações (HATFIELD *et al.*, 2004; KUSTAS, W., 2004).

Nas últimas décadas a detecção remota tem oferecido novas perspectivas para completar o trabalho em desenvolvimento, tirando vantagem das diferentes resoluções espaciais e temporais disponibilizadas por diferentes sensores (DI BELLA, 2004). As diferentes resoluções (espacial, temporal e espectral) são o factor limitante para a utilização dos dados de Detecção Remota para diferentes aplicações. Devido a restrições técnicas, os sistemas de satélite oferecem uma alta resolução espacial associada a uma baixa resolução espectral e vice-versa. Por vezes outras formas de aquisição de dados são necessárias (SIC, 2008).

Conforme as suas resoluções espectrais, os sensores podem dividir-se em Ópticos, RADAR e LiDAR:

ÓPTICOS/REFLECTIVOS

Os detectores ópticos registam informação radiométrica nas regiões do visível e do infravermelho. As imagens daí provenientes podem ser:

- Imagens Pancromáticas

O sensor é um detector num único canal sensível, à radiação dentro de um largo espectro de comprimentos de onda. Se o comprimento de onda coincide com a região do visível, a imagem resultante assemelha-se a uma fotografia a preto e branco tirada do espaço. É medido o brilho dos alvos. A informação espectral da “cor” dos alvos é perdida. Exemplos de sistemas de imagens pancromáticas são o IKONOS PAN (ver Anexo 2) e o SPOT HRV-PAN (LIEW, 2001).

- Imagens Multiespectrais

O sensor é um detector multi-canais com algumas bandas espectrais. Cada canal é sensível a radiação dentro de uma região de pequeno comprimento de onda. A imagem resultante é uma imagem *multilayer*² que contém quer o brilho quer a informação espectral (cor) dos alvos observados. Exemplos de sistemas multiespectrais são o LANDSAT MSS, LANDSAT TM, SPOT HRV-XS, IKONOS MS (LIEW, 2001).

² As imagens *multilayer* também podem ser formadas a partir da combinação de imagens de diferentes sensores, e outra informação adicional.

- **Imagens Superespectrais**

Um sensor de imagem superespectral tem muitas mais bandas que um sensor multiespectral (normalmente >10). As bandas têm largura de banda inferior, possibilitando a captura das características mais finas do alvo. O MODIS e o MERIS são exemplos de sistemas superespectrais (LIEW, 2001).

- **Imagens Hiperespectrais**

O sistema hiperespectral adquire imagens em cerca de uma centena ou mais bandas espectrais contíguas. A informação espectral precisa contida numa imagem hiperespectral possibilita uma melhor caracterização e identificação dos alvos. Estas imagens têm potenciais aplicações em campos como o da agricultura de precisão (ex. monitorizando os tipos de culturas, sanidade, estado de humidade e maturação). O Hyperion a bordo do satélite EO-1, é um exemplo de um sistema hiperespectral (ver Anexo 2) (LIEW, 2001).

RADAR (*RADIO DETECTION AND RANGING*)

É um sistema de sensores activo, pois gera a sua própria iluminação. Parte do sinal que emite e interage com o alvo, é devolvido e capturado pela mesma antena que emitiu o feixe radar (SHORT, 2007). Detecta informação radiométrica relativamente à região das microondas. A resolução no solo é limitada pelo tamanho do feixe de microondas emitido pela antena. Os detalhes mais finos podem ser visíveis utilizando um feixe mais estreito. A largura do feixe é inversamente proporcional ao tamanho da antena (LIEW, 2001).

Os sistemas RADAR, bem como sensores passivos que operam na região das microondas, são também eficazes na detecção da humidade do solo, tempestades-nuvens-chuva, e estado do mar. Imagens SAR (*Synthetic-Aperture Radar*) podem ser obtidas a partir de sensores como o ERS, JERS e RADARSAT (SHORT, 2007b), e mais

recentemente RADARSAT-2, ALOS PALSAR, Cosmo-Skymed, TERRA SAR-X, RISAT-1 e o Sentinel-1 do programa GMES, esperado para 2011 (MCNAIM *et al*, 2008).

LIDAR (*LIGHT DETECTION AND RANGING*)

Outro sistema de sensor activo, semelhante ao RADAR em alguns aspectos é o LiDAR. Um LiDAR transmite um laser, em vários comprimentos de onda do visível ou NIR, bem como séries de impulsos para a superfície a partir da qual alguma da luz é reflectida. Neste sentido é semelhante ao RADAR. Podemos operar instrumentos LiDAR dia e noite. Determina altitudes (topografia a elaboração de mapas) e profundidades (na água) e analisa partículas no seio da atmosfera. Dados de medições de altitude podem ser apresentados visualmente em diagramas de blocos tais como o da Figura 18 que mostra uma pequena parte da floresta próxima de La Selva na Costa Rica.

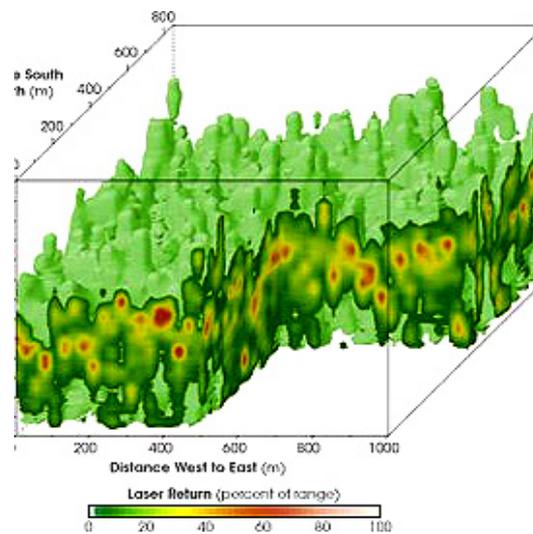


Figura 18 - Dados de altitude LiDAR (SHORT, 2007b)

Estes dados podem ser interpretados como indicadores de biomassa associada principalmente às folhas. Esta informação é importante na determinação da condição global da vegetação responsável pela produção de dióxido de carbono (CO₂) e oxigénio (O₂), factores chave na sustentabilidade da vida, agora motivo de

grande preocupação devido à grande desflorestação nos trópicos e zonas temperadas que devasta estes recursos gasosos (SHORT, 2007b).

2.2.2. A UTILIZAÇÃO DE DADOS

A vegetação pode ser distinguida da maioria dos materiais (essencialmente inorgânicos) usando informação por detecção remota, pela sua característica notável de absorção nos segmentos vermelho e azul do espectro visível, a sua elevada reflectância verde e, especialmente, a sua muito elevada reflectância no IV próximo. Os diferentes tipos de vegetação apresentam frequentemente uma grande variabilidade entre eles, devendo-se tal facto a parâmetros tais como a forma e o tamanho das folhas, a forma global da planta, a composição em água, e a envolvência associada (por exemplo tipos de solo e espaçamento entre plantas). Mesmo a vegetação marinha e lacustre pode ser detectada. O uso da Detecção Remota para monitorizar culturas, em termos da sua identidade, estágio de crescimento, previsão de produções (produtividade) e sanidade é um grande desafio. Este é um excelente exemplo do valor das observações multitemporais, como várias observações durante a estação de crescimento permitem uma melhor determinação do tipo de cultura e uma melhor estimativa de *output* (SHORT, N., 2007b).

A utilização de dados espectrais para estimar os parâmetros da vegetação baseia-se no diferencial de reflectância dos tecidos fotossintéticos, na porção do vermelho e do infravermelho do espectro electromagnético (ver Anexo 1). As folhas verdes reflectem uma pequena proporção da radiação incidente na banda do vermelho e uma grande proporção na banda do infravermelho. Usando esta resposta particular, diversos índices podem ser utilizados para a estimativa da produtividade aérea primária bruta (*Aerial* ou *Aboveground net primary productivity* – ANPP) ou da biomassa (DI BELLA, 2004). A produtividade primária bruta é a diferença entre a energia acumulada através da fotossíntese e a gasta pela respiração pelos mesmos seres autotróficos (TUELLER, 2001).

Os índices de vegetação mais vulgarmente utilizados são o NDVI (*Normalized Vegetation Difference Index*) o SR (*Simple Ratio*) (ver Anexo 3). Durante as últimas décadas estes índices têm sido calculados a partir de sensores multiespectrais como o LANDSAT TM, caracterizados por algumas bandas largas não contíguas (<50nm). Este satélite é adequado para monitorizar alterações do coberto vegetal e elaboração de mapas recorrendo a índices de vegetação (NDVI e SAVI) em termos qualitativos, pois apenas nos mostra a tendência da mudança. Normalmente o campo instantâneo de visão de um sensor (IFOV - *Instantaneous Field Of View*) contém mais do que um tipo de cobertura do terreno, especialmente em ambientes áridos, que são frequentemente uma combinação de vegetação e solo nas mais variadas proporções criando *mixed pixels*, (KAPLAN *et al.*, 2006). A complexidade desta interacção multifactores é responsável pela variabilidade da reflectância espectral da vegetação, em diferentes estádios do seu desenvolvimento, dificultando a estimativa do teor em clorofila. Juntamente com a SMA³ (*Spectral Mixture Analysis*) é possível obter uma análise das alterações em termos quantitativos, contornando o problema dos *mixed pixels*. A maioria dos estudos relacionados com *unmixing* dos elementos da cobertura do terreno em regiões mais áridas, usaram técnicas multiespectrais de *unmixing* nas quais a fracção vegetal foi quantificada em função das fracções do solo e rochosa (KAPLAN *et al.*, 2006).

Mais recentemente o desenvolvimento dos sensores transportados por via aérea (por ex. o CASI - *Compact Airborne Spectrographic Imager*, o AISA – *Airborne Imaging Spectrometer for Application*), que disponibilizam um espectro contíguo em várias bandas de largura mais baixa, abriu novas perspectivas para a definição das bandas espectrais mais úteis para utilização na formulação dos Índices de Vegetação. Dados de campo hiperespectrais têm sido utilizados para identificar e seleccionar bandas óptimas para a maximização da sensibilidade dos Índices de Vegetação a variáveis específicas ao nível da folha e do coberto vegetal. Neste

³ A SMA (*Spectral Mixture Analysis*) é desenvolvida para derivar as proporções dos diferentes componentes básicos de coberto do terreno que compõem um *mixed pixel*.

sentido as expressões do NDVI e do SR têm sido generalizadas utilizando os pares de bandas que permitem maximizar a relação entre os Índices de Vegetação e as variáveis de interesse (FAVA *et al.*, 2009, HABOUDANE *et al.*, 2002). O desenvolvimento de novos Índices de Vegetação através de dados hiperspectrais é de limitada aplicação sendo importante avaliar até que ponto são dependentes de resoluções espectrais específicas, e exportáveis para instrumentos de satélite ou aerotransportados (FAVA *et al.*, 2009).

ESTIMATIVA DE PRODUÇÕES

A estimativa de produção a partir da DR, vai mais longe do que a identificação da cultura, requerendo não apenas informação sobre o tipo de cultura, mas também sobre a condição da cultura (LOBELL & ASNER, 2003).

Normalmente as estimativas do LAI ou da fAPAR (*Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation*) por DR, são usadas para conduzir, actualizar ou iniciar modelos de crescimento específicos para cada cultura, que frequentemente incluem variáveis de solo e meteorológicas (GEO, 2007, LOBELL & ASNER, 2003). As actuais observações de satélite da condição da vegetação são obtidas através da comparação com dados de séries temporais de épocas anteriores ou *outputs* de modelos de colheitas. As anomalias desenvolvidas pela análise comparativa entre observações e expectativas, servem como indicadores de aumento ou diminuição da produção devido a diversos factores como secas, inundações, infestação de insectos ou outros factores (GEO, 2007).

As estimativas de produções resultantes, que podem estar disponíveis meses antes da colheita, fornecem informação valiosa para agricultores e governos em termos de decisões de mercado. Os mapas de produtividade também permitem a possibilidade de uma forma consistente identificar áreas de alta ou baixa produtividade, que podem ser usadas para definir unidades de gestão independentes e analisar padrões, espacial e temporalmente, para melhor controlar

a produtividade cultural (LOBELL & ASNER, 2003). Uma vez que os responsáveis pelas decisões dependam de informação derivada de satélite, a disponibilidade de dados tem que ser assegurada. Dependendo dos dados de uma única plataforma satélite pode ser arriscado, pois a monitorização, uma vez operacional, não pode ser comprometida pela impossibilidade de recolher dados em pontos críticos no tempo, nem condições atmosféricas adversas, ou falhas no lançamento ou funcionamento de sensores uma vez em órbita. A integração de informação proveniente de múltiplos sensores – ópticos e SAR, é uma estratégia que pode ser equacionada por alguns motivos: a precisão na identificação de culturas utilizando dados ópticos, pode ser inadequada se ocorrerem falhas na aquisição de dados durante os seus estados fenológicos. Na região das microondas a energia reflectida pela vegetação é, antes de mais, função da arquitectura da planta e das suas características e propriedades dieléctricas, as imagens SAR podem ser utilizadas para diferenciar tipos de culturas (MCNAIRN, *et al*, 2008).

2.2.2.1. CASO CONCRETO DAS PASTAGENS

Do ponto de vista produtivo, as pastagens representam a mais importante fonte de alimento para os animais, em condições intensivas ou extensivas. Do ponto de vista económico, estes ecossistemas são quer uma importante fonte de biodiversidade quer ainda uma contribuição para a estética e diversidade da paisagem rural. A sua importância é significativa na União Europeia, onde ocupa 50% do total da área cultivada (DI BELLA, 2004).

2.2.2.1.1. ESTIMATIVA DA DISPONIBILIDADE E TAXA DE CRESCIMENTO

Várias abordagens metodológicas têm sido desenvolvidas para estimar a produção de pastagens. O método tradicional “corta e pesa”, e o método da amostragem dupla, desenvolvido a partir de estimativas visuais ou por imagem digital, têm sido usados com excelentes resultados para estimar a biomassa verde ou produtividade primária das pastagens, ao nível local. No entanto a baixa representatividade destes

métodos a nível espacial e temporal, faz com que se tornem inadequados a uma escala regional. O uso dos modelos de simulação registou importantes avanços, pois com estas ferramentas que tem em conta as condições de solo, climáticas e técnicas, é possível descrever e prever a produção de pastagem a uma escala local. Porém, a grande variabilidade de gestão, a data de colheita, a concentração de azoto ou fertilizantes no solo, por exemplo, tornam difícil reproduzir a variabilidade espacial e temporal dos sistemas agrícolas, a nível regional ou até a nível nacional (DI BELLA, 2004, HABOUDANE *et al*, 2002).

A monitorização da pastagem deve ser contínua, de forma a fornecer informação sobre a disponibilidade e reserva de alimento, para que o gestor possa tomar decisões. A disponibilização regular de informação NDVI AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) oferece um meio através do qual a PGR (*Pasture Growth Rate*) das pastagens anuais pode ser regularmente estimada e disponibilizada. A tecnologia PGR foi desenvolvida baseada na informação derivada do sensor NOAA AVHRR. Existem programas operacionais como é o caso da “Pastures from Space” australiana, cuja equipa é composta por técnicos da CSIRO (*Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation*) australiana e do Departamento de Agricultura da Austrália Ocidental que usam, por rotina, os satélites LANDSAT TM ou SPOT para derivar os dados de NDVI, possibilitando a medição da disponibilidade de alimento (*Food-on-Offer - FOO*) com uma resolução espacial de 20-30 m, o que significa que se obtêm 16 valores individuais de FOO por hectare de pastagem. Medem quantitativamente a FOO em kg MS/ha, em vez de fornecer apenas um índice relativo que detém pouco valor para tomadas de decisão ao nível da exploração. A tecnologia para estimar a FOO (kgMS/ha) tem sido desenvolvida e calibrada desde 1995 no sudoeste da Austrália Ocidental (Figura 19) e é baseada na relação entre o NDVI e dados de campo para explicar os padrões de resposta sazonal. Imagens do MODIS são utilizadas para gerar composições semanais que são convertidas em NDVI, que é depois combinado com informação fornecida pelos Serviços de Meteorologia, para dar estimativas de PGR. Quer dizer que, das 14 imagens que obtêm por semana, podem encontrar-se algumas imagens

onde as explorações não estejam cobertas por nuvens. Este facto assegura que qualquer exploração recebe um PGR actualizado todas as semanas. (HILL *et al*, 2004, PASTURES FROM SPACE, 2003, 2006).



FIGURA 19 - Cobertura do Pastures from Space (PASTURES FROM SPACE, 2006)

Na figura 20 pode observar-se um exemplo de um mapa com as estimativas da PGR. Até 2003, utilizou-se essencialmente como fonte, os dados do satélite NOAA (posteriormente também o MODIS) para derivar o NDVI e dados validados no terreno de estações meteorológicas bem como outros dados com validação no terreno de diversas fontes. As correlações com a biomassa estimada são normalmente elevadas (ERDENETUYA, M. & ERDENETSETSEG, B., 2004).

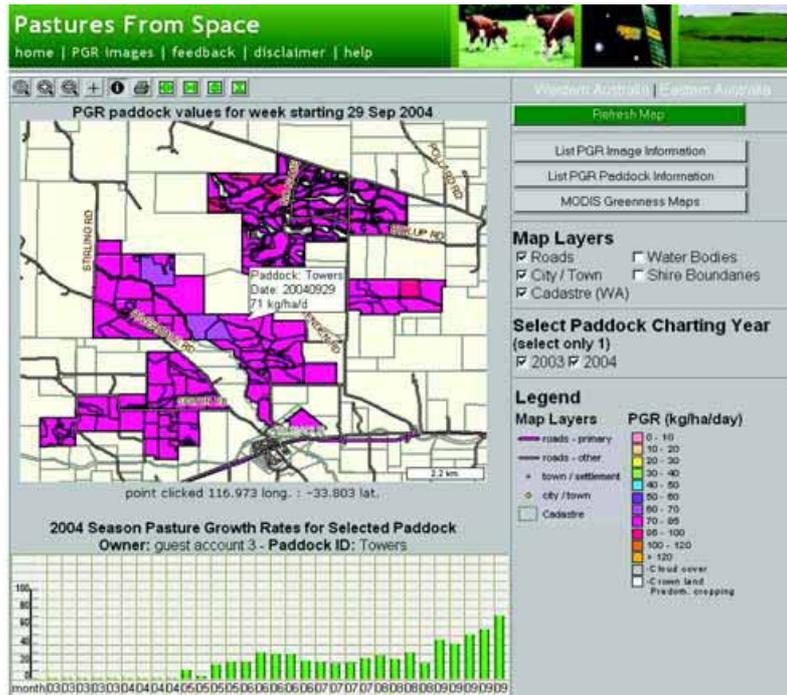


FIGURA 20 - Mapa de taxa crescimento de pastagem
(Fonte: Precision Ag News, 2005, vol 2, issue 4, Summer)

Existem outras formas para monitorizar a biomassa das pastagens. O EWBMS (*Energy and Water Balance Monitoring System*) consiste num determinado número de passos sequenciais para obter o produto final, seja a condição de secura da pastagem seja e estado da pastagem para o pastoreio. Mapas de pluviosidade espacialmente contínuos, e os componentes do balanço energético, são produtos intermédios muito importantes que devem ser validados no terreno. O Sistema de Monitorização da Pastagem simula o crescimento da pastagem com dados da radiação diária, temperatura e evapotranspiração relativa provenientes do Balanço Energético. Obtêm-se 4 diferentes tipos de produtos com este sistema permitindo mostrar a distribuição geográfica de:

- Biomassa Real ou Actual: produção absoluta (kg/ha) como a quantidade de biomassa em MS (Matéria Seca) (ver Figura 21);
- Biomassa Relativa: a produção relativa de pastagem (%) ou a biomassa actual relativa à biomassa que a pastagem atingiria sem limitações de água para a planta;

- Biomassa Disponível para Pastoreio: a quantidade óptima diária de biomassa (kg/ha) que está disponível para pastoreio;
- Encabeçamento Permitido: número de CN⁴/ha (cabeças normais/ha) que a pastagem pode suportar baseada na informação dos ficheiros da biomassa disponível para pastoreio (ver Figura 22).

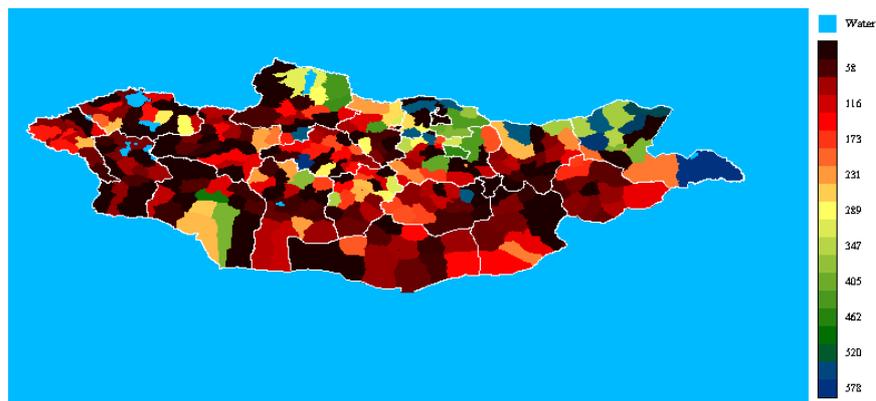


Figura 21 – Mapa de biomassa da pastagem, (kg/ha), (soma averagada), Mongólia, 2007 (ERDENETUYA, M. & ERDENETSETSEG, B., 2004)

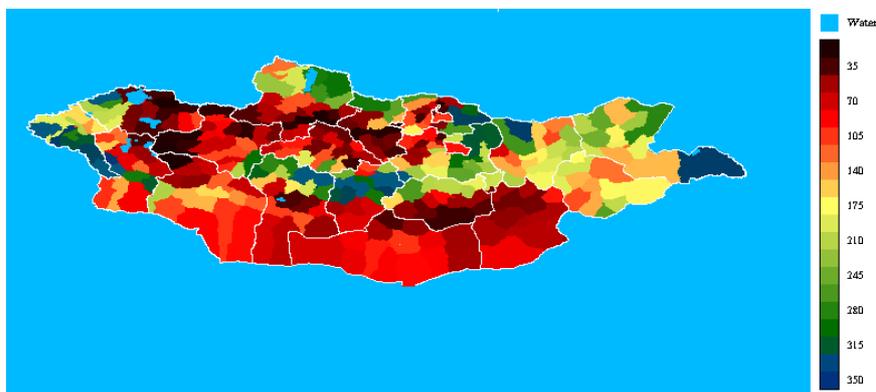


Figura 22 - Mapa de encabeçamento permitido pela pastagem (CN/ha), Mongólia, 2007 (ERDENETUYA, M. & ERDENETSETSEG, B., 2004)

⁴ Medida pecuária que relaciona os efectivos, convertidos em cabeças normais, em função das espécies e das idades, através de uma tabela de conversão, e, em que, um animal adulto da espécie bovina corresponde a 1 C.N. (Fonte: INE)

O Sistema de Monitorização da Pastagem foi implementado mas existe ainda a necessidade de algum trabalho de validação para os produtos do EWBMS bem como produtos de outras aplicações (ERDENETUYA, M. & ERDENETSETSEG, B., 2004). Há alguns exemplos na literatura de tentativas de medir a produção e a utilização em terras de pastagem. Alguns referem por exemplo estimativas NPP (*Net Primary Productivity*) baseadas em AVHRR para grandes áreas, quase a uma escala continental ou sub-continental. Estes podem ser úteis para a descrição da produção geral dos ecossistemas em grandes áreas de terreno, mas infelizmente estes estudos fazem muito pouco pelo pequeno produtor, quando se trata de o ajudar a tomar as decisões correctas de encabeçamentos (carga animal/ha), manutenção da superfície do solo, assegurar a biodiversidade, etc. As falhas normalmente baseiam-se em mal-entendidos sobre o que a detecção remota pode fazer por nós e com que nível de precisão (TUELLER, 2001).

O projecto LEWS (*Livestock Early Warning System*), já terminado e implementado, é utilizado para monitorizar o impacto de condições climáticas emergente sobre a oferta de forragem para o gado nas regiões de pastagem da África Oriental. O modelo PHYGROW utiliza como *inputs* parâmetros do solo, características do coberto vegetal e animal e gestão de regras de decisão, que são conduzidas por uma grelha de dados meteorológicos obtidos por satélite obtidos para uma localização em particular, para simular a forragem diária disponível para o gado e animais selvagens. A sincronização de dados é feita a partir de dados de pluviosidade e um histórico de NDVI para 10 dias, com início no ano de 1981. O LEWS criou uma nova gama produtos de monitorização de forragem, que deverá complementar os já existentes sistemas de alerta precoce no leste da África para ajudar no processo de decisão, nomeadamente nas regiões de pastoreio. Verificações regulares são conduzidas para demonstrar que o *output* do modelo de simulação da forragem disponível coincide com as observações no campo e para assegurar que os parâmetros de entrada e estrutura lógica do modelo estão correctamente representados. O Programa MAPSERVER foi estabelecido para que os utilizadores possam construir os seus próprios mapas. Todo o sistema de

informação LEWS foi transferido para a estrutura de informação do LINKS (*Livestock Information Network Knowledge System*) para permitir uma análise mais abrangente de actividades. O sistema de monitorização de mercado de gado do LINKS, é um mecanismo através do qual a recolha, análise e disseminação de informações necessárias para ajudar os produtores, intermediários e comerciantes estão organizadas e sistematizadas. Este sistema fornece informação de mercado em tempo quase real, que está disponível a pedido via sistema de mensagem de texto SMS, e-mail, sistemas de rádio WorldSpace e na internet. LINKS é um sub-projecto dentro da *Global Livestock Collaborative Research Support Program* (GL-CRSP), implementado pela Texas A & M University e financiado pela USAID (*United States Agency for International Development*) (GL-CRSP, 2003).

2.2.2.1.2. ANÁLISE NUTRICIONAL DE FORRAGENS

Um levantamento atempado da biomassa e qualidade da forragem é essencial para avaliar a produtividade da pastagem (FAVA *et al.*, 2009). Por outro lado, informação especial acerca da quantidade e qualidade da forragem é importante para que se pratique AP em terras de pastagem (SUZUKI *et al.*, 2008).

A qualidade da pastagem é o passo lógico, depois de a PGR (*Pasture Growth Rate*) e a Biomassa serem conhecidas, para se poder ajustar o orçamento alimentar de forma a atingir determinados objectivos produtivos. Interessaria por exemplo aos produtores saber qual o teor de Matéria Seca (MS) por ha existente na cerca destinada para silagem, quanto está a aumentar a mesma MS por dia, no pico da Primavera, mas também é importante conhecer o teor em proteína (PASTURES FROM SPACE; 2003).

A análise de nutrientes da forragem por espectroscopia no infravermelho próximo (*Near Infrared Spectroscopy* - NIRS) ou procedimentos comuns de laboratório de química, fornecem uma informação precisa. De facto, pouca diferença existe entre a informação nutricional de forragem colhida no campo, e a informação obtida

através de métodos convencionais de análises laboratoriais. Existe no entanto uma diferença notável: a informação obtida por detecção remota estava pronta a ser utilizada em horas, ao contrário dos dias para obter os dados do laboratório (PONS, 2003), limitando as mudanças no manejo de pastagens ou dos animais quando necessário (STARKS *et al.*, 2004).

A análise química a partir de detecção remota para avaliação da qualidade da pastagem é feita em fresco. Com o intuito de desenvolver equações de previsão para usar em aplicações práticas, utiliza-se o NIR⁵ em laboratório, no campo, aerotransportado e finalmente o NIR por satélite (Figura 23) (PASTURES FROM SPACE, 2003).

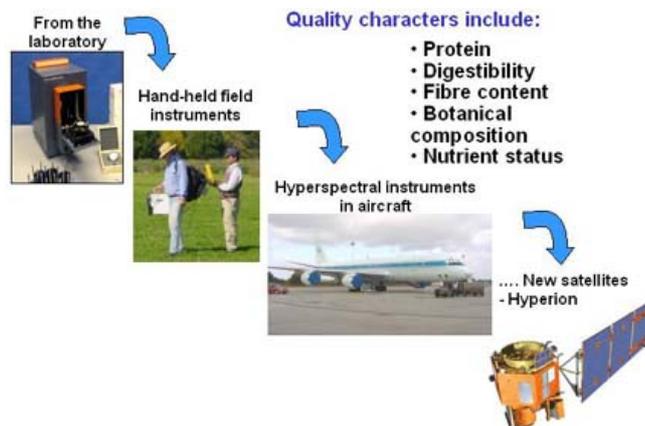


Figura 23 - Avaliação da praticabilidade da medição da qualidade da forragem a partir da detecção remota (PASTURES FROM SPACE, 2003)

Os dados recolhidos pelo Hyperion têm três potenciais vantagens face aos instrumentos multiespectrais transportados por satélite, tais como o LANDSAT ETM+. Em primeiro lugar, podem disponibilizar um nível melhorado de informação para correcção atmosférica e para derivar a radiação reflectida. Em segundo lugar, podem possibilitar o acesso a índices espectrais detalhados baseados na radiação reflectida. Finalmente, podem ser utilizados para integrar os dados hiperespectrais de forma consistente em bandas sintéticas, da mesma forma que qualquer sensor

⁵ Na área da detecção remota, o NIR é também conhecido por imagens hiperespectrais.

de banda larga⁶, ou noutras, de instrumentos ainda a ser desenvolvidos. Uma vez que os dados baseados no terreno podem ter uma estreita relação com os dados hiperespectrais, a estandardização permite a monitorização e medição do crescimento de uma cultura a partir de uma plataforma de satélite, baseada numa calibração à escala do terreno (DATT *et al.*, 2003).

A qualidade da dieta de animais herbívoros em pastoreio pode ser prevista baseada no princípio que a informação espectral NIRS derivada a partir de material fecal, está altamente correlacionado com o teor de PB da dieta. (EZENWA, 2003). A avaliação fecal NIRS fornece uma estimativa da PB e matéria orgânica digestível da dieta (%). SUZUKI *et al.* (2008), um mapa de campo das concentrações de nutrientes digestíveis totais (*Total Digestible Nutrients – TDN*) e proteína bruta (PB) de uma parcela forragens utilizando um sensor de imagem hiperespectral. Os modelos de calibração para estimar a concentrações dos componentes químicos foram desenvolvidos utilizando um conjunto de dados constituídos por concentrações observadas e os dados espectrais adquiridos a partir de imagens hiperespectrais.

Com uma análise do equilíbrio nutricional através de um modelo, podem prever-se as alterações de peso e condição corporal e ajudar a determinar as soluções de menor custo para mediar deficiências onde haja disponibilidade de alimento. Na prática, o modelo é usado para transformar as previsões NIRS da qualidade da dieta, em performance do animal (GLOBAL LIVESTOCK CRSP, 2003), sendo uma técnica útil para a obtenção de mapas da composição química de forragem para uma gestão eficaz em de zonas específicas (SUZUKI *et al.*, 2008).

⁶ Sensores de baixa resolução espectral

2.3. PRODUÇÃO ANIMAL DE PRECISÃO

2.3.1. DEFINIÇÃO

A produção animal de precisão (PLF-*Precision Livestock Farming*), pode ser definida como a gestão da produção animal usando os princípios e tecnologia para planeamento dos processos. É o principal meio pelo qual os sensores “inteligentes” poderão ser utilizados na produção animal, dos quais existem vários exemplos descritos adiante neste ponto. A PLF assenta na monitorização automática das espécies pecuárias e processos físicos com elas relacionados, tratando a produção animal como uma série de processos interligados (Figura 24), os quais agem juntamente, numa rede complexa. Os processos adequados a uma abordagem PLF incluem crescimento animal, produção de leite e ovos, algumas doenças endémicas⁷, aspectos do comportamento animal, e o meio ambiente físico nas instalações, como o seu micro-ambiente térmico e emissões de gases poluentes como o amoníaco. Até à data, maior atenção se tem dado á gestão de processos por indivíduo, mas são as suas interações que se revestem de maior importância e não foram estudadas antes (WATHES, 2008).

A PLF permite uma gestão das espécies pecuárias como indivíduos mas apenas onde existe essa possibilidade em termos de controlo de *inputs* para o indivíduo e medição de *outputs*, e onde este controlo mais apurado é justificado pelos gastos adicionais. Seja qual for o nível de aplicação da abordagem PLF, será necessário identificar a unidade, pois os custos da identificação electrónica dos animais serão restringidos a animais de alto valor, tais como vacas leiteiras e marrãs. O ponto crucial é o facto de a PLF permitir uma variação na performance entre as unidades controladas, para quantificação e gestão. O potencial para a PLF auxiliar o produtor

⁷ Doenças que ocorrem em determinada região

pecuário assenta no facto de ser já utilizada na produção agrícola com sucesso há já alguns anos. Enquanto algumas técnicas são comuns a ambas as aplicações, a produção pecuária é mais complexa, basicamente por os animais estarem munidos da capacidade de sofrer em silêncio. Existe a necessidade de adicionar outra dimensão, o bem-estar (WATHES, 2008).

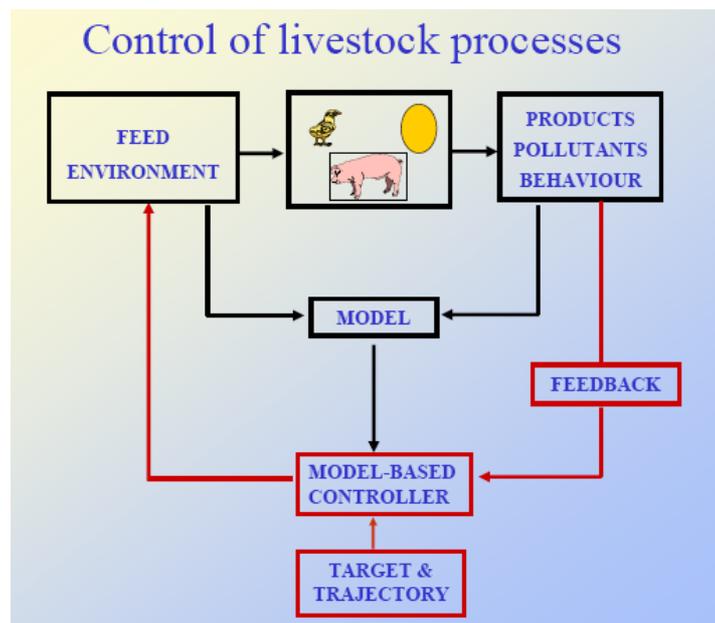


Figura 24 - Controlo dos processos da produção animal (WATHES, 2007)

A inclusão de animais vivos num sistema, distingue a PLF de outras aplicações de teoria de controlo moderno, especialmente a agricultura de precisão para produção de culturas. Da perspectiva do engenheiro, o animal gera os sinais do processo mais importante, os quais precisam ser medidos directa e continuamente. Estes incluem indicadores fisiológicos, comportamentais e produtivos, tais como peso vivo, consumo de alimento e movimento. Os produtores, por rotina, juntam informação auditiva, olfactiva e visual a partir dos seus animais, para avaliar o seu estado de saúde, bem-estar e produtividade. Novas tecnologias podem ajudar nesta tarefa, mesmo com grandes rebanhos ou manadas., graças à evolução nos sensores e técnicas de detecção, por ex. desenvolvimentos em micro e nanoelectrónica. Além

disso, os sensores não estão restringidos às capacidades sensoriais dos produtores: por exemplo, a termografia de infra-vermelhos pode disponibilizar novas informações sobre a temperatura do animal. As características comuns dos sensores utilizados na PLF são a continuidade de medições em várias unidades em simultâneo, com análise de tendências temporais, bem como indicar estatísticas. Câmaras de baixo custo, em combinação com técnicas de análise de imagens, podem ser utilizadas para quantificar um comportamento dos animais, tamanho, forma e peso (por ex. suínos e broilers). A vantagem destas técnicas de monitorização é que muita informação pode ser recolhida sem causar stress ao animal com manipulações ou distúrbios (WATHES, 2008).

2.2.2. GESTÃO DA DISTRIBUIÇÃO DOS ANIMAIS

Para uma correcta abordagem da PLF, é importante uma monitorização adequada, de interacções do animal com o meio ambiente, seja em pastoreio, seja em confinamento, no interior de instalações pecuárias, como parte de uma série de processos interligados. O pastoreio dos animais domésticos tem originado, a longo prazo, vastas áreas com danos importantes. Por outro lado, o pastoreio pode ser um meio de utilização e conservação sustentável dos ecossistemas mediterrânicos, se adequadamente gerido (FAO, 2005).

2.2.2.1 CONTROLO DO PASTOREIO

Os sistemas de pastoreio rotacional são bastante diferentes dos sistemas de pastoreio convencionais. Num sistema de gestão de pastoreio intensivo (MIG, *Management Intensive Livestock Grazing*), os animais são frequentemente mudados de cerca de pastagem, com base na qualidade da forragem, qualidade e necessidades nutricionais dos animais, em vez de permitir ao animal vaguear por toda a pastagem. Assenta principalmente no período de recuperação da pastagem.

A persistência de espécies desejáveis e o crescimento da forragem são superiores com o MIG. A taxa de crescimento da pastagem (PGR) varia com a estação, condições climáticas, produtividade do solo, entre outros. Uma vez que os intervalos e períodos de recuperação dependem da PGR, o *timing* da rotação deve ser flexível. Os animais devem ser deslocados para outras cercas onde a forragem tenha atingido o seu óptimo disponível em termos de quantidade e qualidade (GRIFFIN *et al.*, 2002). No entanto a compreensão e capacidade de modificar o comportamento do gado representa um grande potencial para uma implementação de estratégias de gestão de pastoreio bem sucedidas, incluindo a redução de impactos ambientais em áreas naturais e linhas de água superficiais (BICUDO *et al.* 2003), pois um melhor entendimento do comportamento durante o pastoreio permite distribuir os animais com mais eficiência. Este é um assunto da maior importância para os produtores, e a tecnologia GPS é a primeira ferramenta que permite aos investigadores entender as escolhas que os animais fazem quanto ao local de pastoreio (GANSKOPP, 2002). A capacidade de definir as preferências de pastoreio do gado com precisão permitirá aos produtores trabalhar de uma forma mais sustentável (TOMKINS, 2007).

A VEDAÇÃO VIRTUAL

As vedações são a forma mais comum de afectar a distribuição dos animais, e pioneira em implementar estratégias de rotação em produção intensiva (ANDERSON *et. al* 2004). Para grandes áreas, as vedações convencionais são muito dispendiosas, mas persiste a necessidade de confinar os animais impedindo o uso inadequado de recursos. Com a excepção das cercas eléctricas, a maioria das vedações convencionais são estáticas no terreno, por isso inflexíveis (BISHOP-HURLEY *et al*, 2007), e podem durar de 20 a 30 anos. Contrastando com este facto, os recursos de animais e plantas são dinâmicos quer em tempo quer em espaço, requerendo por isso estratégias de gestão flexíveis de forma a obter resultados óptimos (ANDERSON *et al*, 2004).

A Vedação Virtual Direccional (*Directional Virtual Fencing – DVFTM*) proporciona um método de controlo de animais em regime extensivo, altamente flexível, autónomo e de baixo nível de stress. O comportamento do gado bovino pode ser alterado usando estímulos sensoriais (ANDERSON, 2006; BISHOP-HURLEY *et al.*, 2007). Actualmente estes estímulos de controlo dos animais no pastoreio extensivo, resultam de estímulos visuais que surgem do solo, ou seja as vedações convencionais de carácter fixo. O controlo surge alterando o comportamento do animal através de um ou mais estímulos sensoriais, administrados ao animal após este ter tentado atravessar uma fronteira tridimensional electronicamente criada. Esta fronteira, pode ter qualquer forma geométrica, um polígono especificado pelas suas coordenadas (BUTLER *et al.*, 2005) e, sendo invisível aos olhos, é detectada por um sistema electrónico computadorizado usado pelo animal (Figuras 25 e 26) (ANDERSON, 2006). Sistemas autónomos programáveis lêem e interpretam sinais electrónicos emitidos a partir de GPS de satélite, cada 2 segundos, quando existe uma boa visibilidade dos satélites. Algoritmos num Sistema de Informação Geográfica (SIG) usam estes dados para determinar se um estímulo, deve ser aplicado, e em caso afirmativo, isto é, se um animal atravessou a vedação, que estímulo(s), em que zona do corpo e por quanto tempo devem ser aplicados (ANDERSON, 2006). Os sons despoletados variam a sua intensidade com a distância à linha limite (BUTLER *et al.*, 2004).

Para além da óbvia necessidade de manter os animais restringidos a determinada área para evitar usos de inadequados alimentos por parte destes, esta tecnologia permite também ao produtor conhecer num espaço de minutos em vez de dias, exactamente o que os animais estão a comer e verificar se as suas necessidades alimentares estão a ser cobertas. A vedação virtual, pode então conduzir os animais para novas zonas de forragem se tal não acontecer (ANDERSON, 2000).



Figura 25 - Bovinos com coleiras GPS (fonte: CSIRO)

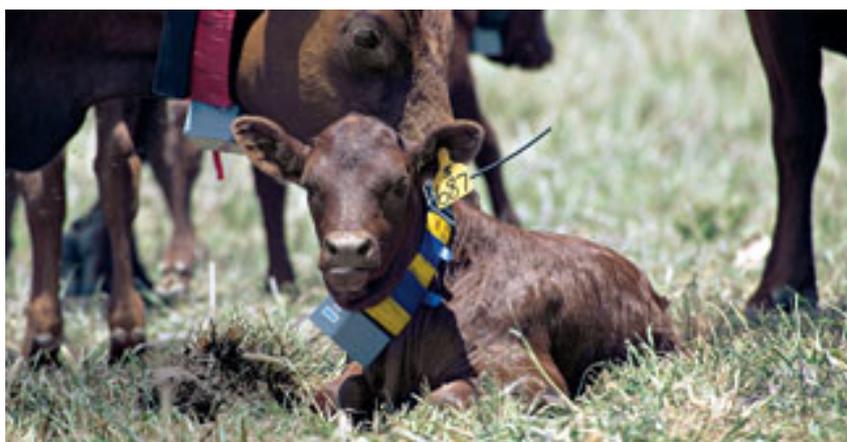


Figura 26 - Bezerro com colar GPS de dimensões mais reduzidas (BRAIDOTTI, 2005)

CAPACIDADES E LIMITAÇÕES DAS COLEIRAS

A utilização das coleiras GPS deve ser cuidadosamente planeada tendo em atenção as suas limitações de precisão, especialmente em casos de melhoramentos de pastagens com aplicação de fertilizantes e/ou herbicidas em pequenas áreas. Deve haver a segurança de que a área tem que ser pelo menos do tamanho do erro esperado, e que não existem nas proximidades (dentro do intervalo de erro) outros itens relevantes como por exemplo árvores ou água, correndo-se o risco de ser difícil a atribuição da leitura fornecida pelo GPS a determinada característica ou

tratamento (AGOURIDIS *et al.*, 2004). O dGPS (*Differential GPS*) é um processo automatizado de recolha de informação que maximiza a informação a ser obtida a partir de uma manada sem interrupção, permitindo a integração imediata da informação num sistema SIG para uma completa análise espacial (TEEL *et al.* 2000).

As características da pastagem em que o animal se encontra podem influenciar consideravelmente a precisão horizontal da informação fornecida pela coleira GPS. A cobertura arbórea por exemplo, tem um impacto negativo sobre estes dados (2.5 vezes maiores⁸ que em campo aberto). O grau de precisão requerido, ditará o recurso ou não a observações visuais em vez das coleiras. Para melhorar as capacidades e limitações das coleiras GPS sob condições dinâmicas, o RTK-GPS deveria ser utilizado. Ambos os instrumentos deslocando-se paralelamente conseguirão fornecer um maior nível de precisão (AGOURIDIS, *et al*, 2004). O peso do sistema utilizado nas coleiras não deve exceder 0,7% do peso dos animais podendo interferir com o seu comportamento enquanto pastoreiam. Devem também prever a acumulação de neve ou gelo (KUMPULA *et al*, 2001).

Alguns produtos no mercado como a coleira patenteada e comercializada pela empresa HOTGROUP na África do Sul, (Figura 27), preenchem grande parte dos requisitos que o produtor pode ambicionar, com possibilidade de ter várias opções além das já mencionadas, entre elas: identificação RFID, com identificação numérica deslizante; permite a contagem à distância, aviso anti-roubo, aviso da presença de predadores, aviso para o estado de doença, detecção do cio para uma eficiente Inseminação Artificial, aviso de aproximação de parto, dificuldades de parto, informação sobre períodos de alimentação e descanso, monitorização da temperatura exterior e da actividade e estado geral de saúde. Algumas destas funcionalidades, nomeadamente os avisos anti-roubo, presença de predadores e alguma actividade que implique deslocação no terreno, podem ser monitorizadas em tempo real (HOTGROUP, 2007).

⁸ Resultados obtidos com testes estáticos e com o nível de precisão de 1 sigma (68%). Sigma é o símbolo utilizado no desvio, é um método comum usado em relatórios de precisão de receptores GPS.

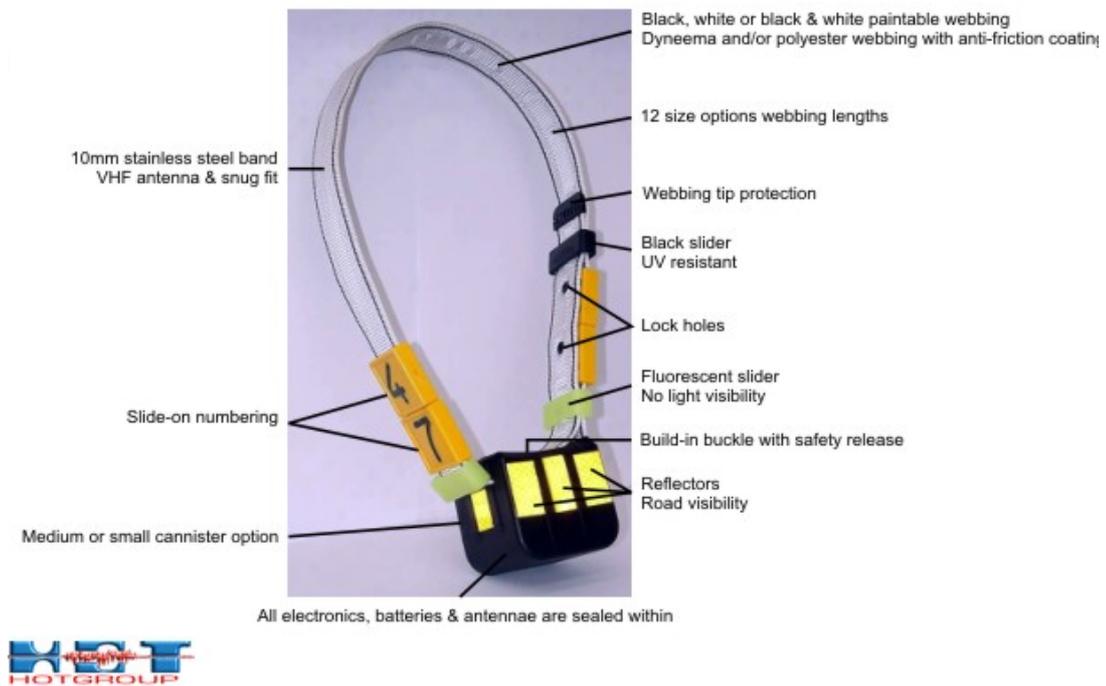


Figura 27 - Coleira GPS (Hotgroup, 2007)

Armazena data, hora, altitude, velocidade no solo, temperatura, informação satélite e 12 estados comportamentais fora do normal. Pode ser reprogramada remotamente através do envio de mensagem SMS ou GPRS (Figura 28).

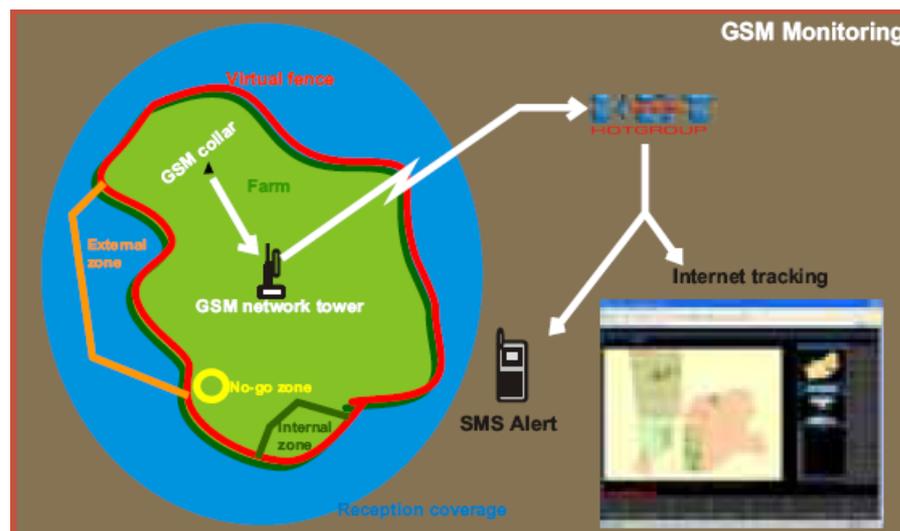


Figura 28 - Monitorização através das coleiras GSM GPS (Hotgroup, 2007)

2.2.2.2. MONITORIZAÇÃO EM CONFINAMENTO

Para avaliar o comportamento de uma manada, é muitas vezes necessário observar os animais nas condições das instalações do seu dia-a-dia. Os animais devem ser seguidos individualmente, pois um determinado sistema de instalações pode influenciar o comportamento dos indivíduos de diferentes formas, por ex. as vacas de mais baixas produções podem ser mais afectadas em situações de competição (GYGAX *et al.*, 2007).

O LPM

O LPM (*Local Positioning Measurement*) pode preencher a lacuna existente neste contexto pois faculta a posição de diversos objectos em três dimensões com uma elevada precisão e ciclos de medição curtos. Este conceito é em alguns aspectos inverso ao do GPS pois existem *transponders* activos cujas posições são medidas, bem como estações base passivas por todo o campo de visão coberto (STELZER *et al.*, 2004). Dadas as suas características técnicas, o sistema deveria ser adequado para monitorizar continuamente e registar as posições de todas as vacas, mesmo em grandes manadas de vacas leiteiras. Como o *output* do sistema são as coordenadas no espaço, as quais se espera serem muito precisas, não são necessárias áreas de actividade predefinidas. O sistema consiste numa série de antenas (estações base), cabos de fibra de vidro e um computador, podendo por isso ser instalado em qualquer tipo de instalações. Uma operação fiável e contínua da localização dos animais só pode ser garantida com um *transponder* de *design* ergonómico tal que o animal não seja restringido nas suas actividades diárias, resistente ao choque, à prova de água, UV e amoníaco, com a antena posicionada no topo do animal para prevenir que o sinal seja mascarado pelo corpo do animal. Esta técnica de monitorização baseada em radar permite a todos os membros de uma manada de vacas leiteiras serem localizados sincronizadamente, e a informação LPM está disponível para avaliações automatizadas (GYGAX *et al.*, 2007).

3. HIGIENE E SANIDADE ANIMAL

Neste capítulo são abordados os principais sistemas de vigilância activos a uma escala local e global, recursos que utilizam, e de que forma contribuem para o controlo de doenças (zoonóticas ou não). O recurso aos SIG é também explorado no âmbito destes sistemas, sendo referidos alguns casos de doenças, actualmente com maior expressão e impacto nas populações.

As doenças (agrícolas ou dos animais) frequentemente migram ou se espalham atravessando fronteiras e causando enormes perdas e situações de emergência. No passado, tais danos foram, em algumas ocasiões, catastróficos, conduzindo à fome e por vezes despoletando restrições no comércio. Os países desenvolvidos são muitas vezes notáveis em reagir com rapidez suficiente a tais acontecimentos, mas por vezes, extensas operações de emergência bem como assistência internacional, são necessárias. Embora os métodos de controlo efectivo normalmente existam contra estas pragas e pestes, a gestão destas crises envolve inevitavelmente atrasos, um baixo rácio eficiência/custos e uma impotência para restringir o problema numa fase inicial (EMPRES-FAO, 2002).

3.1. UTILIZAÇÃO DOS SIG

As vantagens que oferecem os SIG induziram a sua aplicação em diversas áreas científicas, já que permite a localização espacial do problema em estudo, a normalização, organização e actualização de dados, a representação gráfica do problema, a interacção entre tipos de informação espacial e a aplicação de modelos de simulação. A epidemiologia e a análise de risco, são exemplos de áreas que se fortalecem com a utilização destas ferramentas tecnológicas (KAYE, 2003). O aumento exponencial do poder dos computadores facilitou o crescimento rápido dos sistemas de informação para ecologistas e controladores de doenças transmissíveis através de vectores. Os melhoramentos em hardware suportaram o

desenvolvimento em software para mapeamento da distribuição e abundância de vectores, no espaço e no tempo, permitindo alterações para serem correlacionadas com variáveis ambientais e demográficas, através de GPS, RS, Bases de Dados Digitais e Sistemas de Informação Geográfica (SIG) (THOMSON *et al.*, 2000). Os SIG são ferramentas baseadas na informática que podem rapidamente combinar e analisar informação aérea, permitindo visualizar fenómenos espaciais complexos em múltiplas escalas de resolução (FLI, 2005).

A análise de dados de satélite no âmbito dos SIG, aumenta a possibilidade monitorização da forma pela qual os factores ambientais (tais como pluviosidade, temperatura, humidade e vegetação ambiental) afectam a dinâmica da população de vectores, e conseqüentemente o potencial de transmissão patogénica. A informação guardada regularmente ao longo dos anos, pode ser usada para prever variações sazonais e anuais no número de vectores e taxas de infecção humana em determinadas localizações. A integração destes dois processos (temporal e espacial) fornece um sistema poderoso para avaliação da dinâmica dos vectores em relação a padrões de doenças, e o impacto de medidas de prevenção.

Para gerar um SIG a partir de fotografias aéreas, um dos aspectos fundamentais é conhecer adequadamente como definir os atributos ou variáveis dos componentes. Podemos definir os atributos para classificar os polígonos e dar início à criação de um SIG. Recorrendo á utilização de programas informáticos especializados, deve ser definida a área de estudo de maneira precisa, definindo para isso as suas coordenadas (p. e. latitude e longitude) e o sistema de projecção das mesmas. Inicialmente têm que dar entrada todas as explorações. Trabalhando a partir de fotografias aéreas digitalizadas e mapas tirados a partir de SIGs, as autoridades podem aceder a uma base de dados e dar entrada de explorações identificadas. O agente insere o tamanho da exploração, tipo de animais explorados e quem contactar em caso de emergência. Se a exploração aparece no mapa e não é conhecida, as autoridades deslocam-se ao local para recolha de informação. Alguém que não esteja familiarizado com a zona pode falhar algumas explorações devido à

antiguidade das fotografias aéreas, dispendiosas para manter sempre actualizadas (KAYE, 2003).

A tecnologia SIG também fornece informação às autoridades sanitárias que permite mais facilmente tomar decisões no caso de um grande número de animais terem morrido ou terem que ser eutanasiados, havendo que prever transporte e eliminação. Mapas complexos podem ser criados, baseados na informação inserida, desde a qualidade da água aos tipos de solos e localização de habitações. Se o fornecimento de alimentos for ameaçado, pode ter um efeito de grande importância nos cidadãos. O impacto económico da contaminação de rebanhos de animais pode ser significativo. Existe a necessidade da existência de um sistema para lidar com este tipo de situações que evite ter que esperar durante semanas por informação (KAYE, 2003).

Se for identificada a necessidade de sequestro, a informação pode ser trabalhada com *Data Mining* para diferenciar quais os animais que interagiram com o espécime infectado (USAHERDS; 2007).

Vários estados dos Estados Unidos da América estão a trabalhar no sentido de criar ferramentas que permitam por em prática um plano de emergência em caso de um surto de doença infecto-contagiosa nos animais. Também o Estado de Illinois através do Departamento de Agricultura em conjunto com a ESRI, está a desenvolver um SIG que permita melhorar a capacidade de resposta perante uma emergência de aparecimento de surtos bem como auxiliar as autoridades nas suas funções de monitorizar e promover a saúde animal e produtividade. O sistema terá também a capacidade de ser questionado e modelar estatisticamente com capacidade de simulação tendo em conta os agentes ambientais, climáticos, socioeconómicos e geológicos (GOVERNMENT TECHNOLOGY, 2005).

A tecnologia IMS (*Internet Map Server*) ajuda a colmatar uma fraqueza desde há muito existente nos serviços veterinários e explorações animais e agrícolas. O sistema divulga informação espacial acerca da saúde e populações animal com resoluções geográficas variáveis, para todos os técnicos de saúde animal, por todo o

mundo, facilitando a coordenação de operações periódicas e diárias, de hora a hora ou com maior frequência, durante as emergências de doenças de animais. A análise espacial e os SIG têm sido usados há muitos anos no contexto da saúde humana. A aplicação à saúde animal é semelhante. São processos integrais que permitem a visualização, e análise exploratória dos dados, e um leque de ferramentas especiais para a construção de modelos (MARONEY *et al.*, 2007).

Um IMS estende a distribuição e análise de dados espaciais a uma audiência mais vasta. Com o IMS, torna-se desnecessário para os utilizadores adquirirem software SIG para manipular os dados espaciais e desenvolver análises – isto é atingível via Internet com um browser. Assim, toda a equipa de técnicos que requer este tipo de serviços desde veterinários, epidemiologistas, biólogos, ecologistas e especialistas na gestão de doenças (estes técnicos normalmente não têm formação em software SIG), tem a possibilidade de utilizar esta informação nos seus serviços via *interface Web*, sem formação ou software extra. Como vantagem final, todo este potencial é distribuído por todo o mundo, disponibilizando informação e ferramentas espaciais de modo uniforme (MARONEY, *et al.*, 2007).

Parte desse planeamento é executar com base na Internet, mapas com capacidades para suportar todas as quatro fases de gestão da emergência – Planeamento, Prontidão, Resposta e Recuperação. A fase de planeamento envolve a previsão de quais os agentes que possuem o maior potencial para se tornarem ameaças efectivas. Grande parte desta fase ocorre durante as operações diárias como identificação de casos críticos e dados ambientais, e estabelecer contactos a todos os níveis governamentais, associações industriais e instituições académicas. Na prontidão, a informação crítica é recolhida e organizada numa base de dados SIG central. Esta base de dados pode ser tornada acessível via IMS para utilizadores autorizados. Há no entanto uma série de dados que têm que ser inventariados e mantidos como por exemplo, coordenadas geográficas de explorações pecuárias, mercados, centros de engorda e matadouros. É possível dar entrada de dados numa

base de dados remotamente, através de um interface via Web, para regiões ou países sem equipamento ou software SIG (MARONEY *et al.*, 2007).

É na fase de resposta que um IMS é usado com todo o seu potencial. Impressos baseados na Internet podem ser usados para recolher informação sobre a doença nas explorações e quintas, e confirmar a qualidade dos dados. Depois, a partir de uma base de dados, os dados são actualizados e disponibilizados para a equipa de campo, analistas e gestores em simultâneo. Baseando-se em dados via Web, podem-se produzir mapas de orientação no campo, e orientar veterinários que estão a investigar, com o objectivo de minimizar os riscos de os microrganismos patogénicos se espalharem ainda mais. Os analistas podem aplicar aos dados técnicas estatísticas espaciais para auxiliar os epidemiologistas na previsão do alastrar da doença. Eles podem colocar, trocar e testar hipóteses de transmissão da doença e risco, usando as definições da doença, dados ecológicos, distribuição dos insectos vectores, e condições climatéricas locais. Os servidores e séries de dados locais podem ser combinados usando um IMS para estas análises. Os gestores podem ter acesso instantâneo a vistas interactivas da localização das últimas ocorrências sem esperar por essa informação via telefónica, fax ou e-mail. Pode ainda haver acesso público em geral a informação de localização de casos, movimentação de animais, ou restrições de movimentação, e métodos para evitar contrair a doença. Finalmente na fase de recuperação, a análise retrospectiva e avaliação do impacto do surto pode ser distribuída via IMS, bem como a coordenação da limpeza e actividades de vigilância (MARONEY *et al.*, 2007).

Uma combinação da DR por satélite e plantas coloridas, geneticamente modificadas para mudarem de cor em resposta a componentes orgânicos voláteis (VOCs) indicativos de doença (plantas sentinela) na detecção de doenças infecto-contagiosas., podem ser colocadas em locais específicos para detectarem microorganismos patogénicos antes de as culturas ficarem infectadas (BARKER *et al.*, 2006).

OS MOVIMENTOS DOS ANIMAIS

Na União Europeia, a monitorização e traçabilidade dos animais para controlo de doenças é muito importante devido ao grande movimento atravessando fronteiras e ao pagamento de subsídios para produções intensivas. Também existem fortes considerações no que respeita ao bem-estar animal (HILL, 2004). O bem-estar animal durante viagens de longo curso é obrigatório de acordo com o Reg. EC 1/2005. O objectivo principal é a segurança dos consumidores e assegurar uma ligação segura entre produtos, animais e explorações. A JRC (*Joint Research Centre of the European Commission*) desenvolveu um sistema protótipo preenchendo os requisitos estabelecidos pelo Reg. da EC 1/2005. O sistema recolhe guarda e armazena regularmente informação (ex. posição, hora, temperatura no compartimento do animal, estado das portas de carga) numa unidade a bordo do veículo (*Onboard Unit – OBU*) que transporta os animais, transmitindo-os para a Base de Dados Central através de um sistema GPRS. Um SIG baseado na Web permite visualizar em tempo real a posição do veículo, monitorizar os valores registados pelos sensores instalados no veículo, o estado das portas de carga (abertas/fechadas), e seguir o percurso do veículo no tempo e no espaço de viagens anteriores. Quando o sistema atingir a sua capacidade total, o SIG baseado na WEB tornar-se-á num instrumento operacional para questionar a Base de Dados, para controlar os veículos transportadores de gado, e funcionará como um sistema de alerta acerca de variações nas condições do bem-estar animal (altas temperaturas, viagens sem paragens, etc.) ou acerca de falhas nos equipamentos (adulteração no OBU, falhas de corrente, baixo nível de carga nas baterias, etc. (DI FRANCESCO *et al.*, 2006).

O *Tetrad*, é um exemplo de um sistema de vigilância online para transporte de animais, desenvolvido para monitorizar doenças, prevenção da introdução e propagação, e para monitorizar a condição do animal durante o transporte. O *Tetrad* é baseado na recolha telemétrica e automatizada de dados no veículo e sua transmissão *wireless* para uma estação base (Figura 29). O sistema identifica o

animal, regista a sua temperatura corporal e localiza-o geograficamente (HILL, 2004).

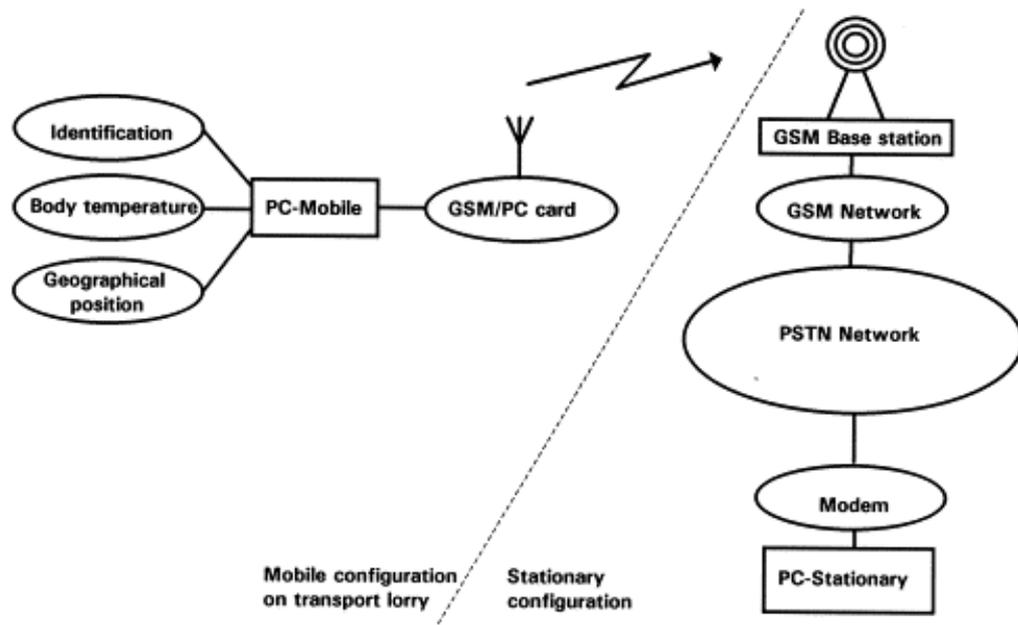


Figura 29 - Esquema do conceito do TETRAD (GEERS *et al.*, 1998)

A Comissão Europeia, através do *Joint Research Center* tem desenvolvido, um sistema que pode representar uma solução para todos os requisitos definidos da legislação comunitária em termos de monitorização constante das condições de bem-estar animal durante o transporte e rastreabilidade permanente de animais, bem como disponibilidade de dados para uma rápida e segura actualização de uma base de dados nacional. O sistema é composto por: a) uma unidade central com um GPS, um conjunto de sensores para registo de diferentes parâmetros e um módulo GPRS para a transmissão de dados; b) uma Unidade de RFID para registar a identificação electrónica dos animais carregados no camião e c) um aplicativo baseado na web, onde todas as informações geradas pela Unidade Central e Unidade de RFID são armazenados e processados (FIORE *et al.*, 2006).

3.2. CONTROLO DE DOENÇAS INFECTO-CONTAGIOSAS E ZOOSE

Ameaças à saúde pública vêm não apenas de transmissores directos da doença, mas também de transmissão indirecta provocada comprometendo a segurança da cadeia alimentar. O USDA está a implementar um programa de traçabilidade animal, focando em primeiro lugar as espécies pecuárias, que utilizará os SIG e outras tecnologias de informação para identificar premissas afectadas bem como animais expostos, dentro de um espaço de 48 horas após a detecção de um animal infectado. Os sistemas de traçabilidade animal representam uma componente do abrangente programa de vigilância sanitária delineado (DAVENHALL, 2007).

Cerca de 75% das doenças dos humanos emergentes e re-emergentes, estão também presentes nos animais. Este facto sublinha a necessidade de integrar um DIM (*Detection, Identification and Monitoring of Infectious Diseases*) de doenças nas populações quer de humanos, quer de animais. Em muitos casos, a vigilância de doenças de populações de animais têm um importante papel na protecção da saúde pública (BARKER *et al.*, 2006).

Um dos requisitos mínimos para um sistema de vigilância eficaz é a necessidade de o país/região dispor de um sistema que armazene, gira e analise dados de diagnóstico e vigilância. Esse sistema é usado para dar entrada de dados bem como produzir *outputs* necessários (mapas de localização de surtos, dados resumidos de movimento de animais, estatística descritiva em mapas, mapas de risco) e inclui uma componente SIG para apresentação de dados referenciados (FAO, USDA, 2006). A falta de *layers* com a localização das unidades de produção animal nos SIG nacionais, está a dificultar os esforços no sentido de desenvolver estratégias de controlo (BRUHN *et al.*, 2008).

3.2.1. PROGRAMAS DE VIGILÂNCIA OPERACIONAIS

A emergência e disseminação de doenças não respeitam fronteiras geográficas, e os animais são frequentemente implicados como a origem da infecção humana. O tratamento das zoonoses requer por isso uma abordagem integrada, envolvendo diversos sectores, principalmente humano, animal e alimentos. A chave para a contenção e controlo efectivo é um aviso eficiente e atempado, e previsão de zoonoses através de sistemas funcionais de vigilância. Uma intervenção precoce, durante uma epidemia geralmente leva a melhores resultados com impactos económicos mais reduzidos (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2009).

3.2.1.1. A NÍVEL GLOBAL

EMPRES

Em 1994 a FAO estabeleceu o EMPRES (Emergency Prevention System for Transboundary Animal and Plant Pests and Diseases) com o objectivo de minimizar o risco de emergências sendo a prioridade inicial dada a dois problemas: A componente de doenças de animais e a componente do gafanhoto do deserto. As principais doenças incluem a Peste Bovina, e outras altamente contagiosas como a Febre Aftosa, e representam um sério fardo na economia dos países onde ocorrem (EMPRES, 2002). Mais recentemente foi disponibilizado ao público o EMPRES-i (EMPRES Global Animal Disease Information System (EMPRES-i)), uma aplicação com base na Internet que foi criada para suportar ligação aos serviços veterinários, disponibilizando informação global e regional sobre doenças (EMPRES, 2009). O programa dispõe de uma plataforma como resposta à crescente procura dos utilizadores no que respeita a sistemas de informação saúde animal. Os utilizadores públicos têm acesso aos seguintes recursos: base de dados de casos de doença; ferramentas para elaboração de mapas e/ou gráficos (estas *layers* são criadas e mantidas pelo GLiPHA (*Global Livestock Production and Health Atlas*), um atlas electrónico de fácil utilização, altamente interactivo que utiliza o KIDS (*Key Indicator*

Data System)); biblioteca e um directório que fornece informação para contacto com os centros de referência da FAO (EMPRES, 2009).

GLEWS (*GLOBAL EARLY WARNING SYSTEM FOR MAJOR ANIMAL DISEASES, INCLUDING ZOOSES*)

O GLEWS é um sistema articulado que tem por base a mais-valia de combinar e coordenar mecanismos de alerta da WHO (*World Health Organization*), FAO e OIE, enquanto se liga a redes da comunidade internacional e intervenientes, para auxiliar na prevenção e controlo de ameaças de zoonoses, através da partilha de informação, e da análise da epidemiologia e risco (WHO, 2009). Tradicionalmente a vigilância epidemiológica é implementada em toda a população susceptível de um determinado território. Em contrapartida, a vigilância epidemiológica baseada na avaliação do risco de exposição é direccionada para os estratos da população que apresentam uma maior probabilidade de apresentar o evento em causa. Recorrendo a um SIG geram-se os mapas de identificação de áreas de risco de ocorrência (FAO, 2009).

WAHID (*WORLD ANIMAL HEALTH INFORMATION DATABASE*)

A Interface do WAHID disponibiliza acesso a toda a informação dentro do novo WAHIS (*World Animal Health Information System*) da OIE, que substitui e amplia o inicialmente criado Handistatus II System. Um leque abrangente de informação está disponível a partir de notificações e respectivos relatórios submetidos pelos países membros, em resposta a casos excepcionais de doença. É possível obter informação acerca de uma doença em particular, incluindo mapas de distribuição global dessa doença, mapas de surtos, listas de países indicando a sua situação em termos sanitários, e listas e mapas das medidas profiláticas e de controlo adoptadas por país e por doença (OIE, 2009).

3.2.1.2. A NÍVEL REGIONAL

DIM (DETECTION IDENTIFICATION AND MONITORING ZOOSES)

O actual cenário global sobre as doenças do gado está centrado em doenças re-emergentes e as novas doenças como a Encefalopatia Espongiforme Bovina (BSE) ou doença das vacas loucas, e a altamente patogénica Gripe das Aves. Por exemplo em países ACP (*African, Caribbean and Pacific Group of States*) têm sido relatados vários casos, representando uma ameaça não só ao comércio de gado, mas também para os seres humanos porque eles são zoonóticos na natureza podendo por isso cruzar a barreira das espécies animais para infectar o homem. Diversos países ACP são destinos turísticos favorecidos, mas pela capacidade técnica limitada nas fronteiras, são vulneráveis a esse respeito. Existe uma nova forma de pensar sobre a questão da contenção da doença no contexto do comércio internacional, levando a propostas para a utilização de detecção, identificação e acompanhamento (DIM) de *hot spots* (ASIEDU *et al.*, 2009).

O DIM actualmente assenta no fornecimento de imagens do satélite da NASA e NOAA, o qual tem sofrido algumas falhas nos sensores e o cancelamento de novas missões. A efectividade dos sistemas DIM na Europa está também condicionada à adopção por parte da ESA (*European Space Administration*) e da EUMETSAT (*European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites*), de uma atitude mais aberta quanto à partilha de dados, acessibilidade e custos, à imagem da política seguida pela NASA/NOAA nos anos 90. Os investigadores têm assim, por certo, dificuldades em comunicar o significado dos mapas de risco aos agricultores, veterinários e gestores. A familiarização recíproca é essencial entre linguagens e terminologias dos agricultores, público, e cientistas e investigadores de saúde animal envolvidos em sistemas DIM (BARKER, *et al.*, 2006).

RADAR

Há no entanto programas de vigilância veterinária já implementados ou em implementação por fases, como é o caso do RADAR (*Rapid Analysis & Detection of Animal-related Risks*) no Reino Unido, que reúne informação chave recolhida noutros sistemas, acerca de doenças de animais e condições, de uma forma estruturada e consistente. Contém informação actual e precisa sobre o número e localização de animais. Exemplos do tipo de informação que o sistema detém são: bases de dados de unidades agrícolas e pecuárias governamentais, dados de saúde animal de veterinários e proprietários de animais, informação recolhida pelo PETS (*Pet Travel Scheme*) e passaportes de equinos, informação de matadouros acerca de rejeição de carcaças, informação diagnóstica de laboratórios veterinários, animais abatidos compulsivamente, e informação meteorológica (DEFRA, 2009).

PAHERDS

Os diversos governos passaram por bastantes burocracias e trabalho baseado em palpites, na tentativa de minimizar o estrago destes surtos. Hoje existe disponível um tipo de tecnologia (por exemplo, a aplicada no Estado da Pensilvânia (PAHERDS – Pennsylvania Animal Health Emergency Response and Diagnostic System), um projecto conjunto da Penn State e do Pennsylvania Department of Agriculture), que poderia ter minimizado o impacto (KAYE, 2003). Este software foi desenvolvido para permitir aos serviços de sanidade e saúde animal da Pensilvânia, um melhor controlo e erradicação de doenças de espécies pecuárias.

STEM (*SISTEMA TELEMÁTICO PER LA GESTIONE DELLE EMERGENZE EPIDEMICHE*)

Inicialmente concebido como uma ferramenta para gestão e decisão, para ser usada em diferentes níveis organizacionais de serviços nacionais veterinários em caso de surtos de doenças de grande importância. O sistema (em testagem e aperfeiçoamento para ser incluído num projecto de maiores dimensões) trabalha

basicamente como um relatório e resposta precoce, em linha com os princípios de gestão de emergência. As suas funções chave são a recolha e gestão de dados de surtos e a criação de relatórios e mapas interactivos que permitam a sua visualização. Dispõe de hiperligações com o Sistema Informativo de laboratórios, Banco de dados Nacional Italiano para a Identificação Animal. A optimização de estradas para os transportes de animais de uma zona restrita para outra, é uma das aplicações GIS que estes sistemas apresentam. A EU aprovou procedimentos que recorreram a este sistema durante um surto de Doença Vesiculosa dos Suínos (SVD - *swine vesicular disease*), nomeadamente o estabelecimento de rotas de animais provenientes de zonas livres de doença para os matadouros que possam eventualmente ficar dentro de zonas sob vigilância (SAVINI *et al.*, 2007).

Correndo o risco de não esgotar a lista de países/regiões com programas ou sistemas de vigilância de doenças animais, é de salientar o facto que todos visam estabelecer uma interoperabilidade entre laboratórios/organismos oficiais e governamentais/técnicos através da utilização de protocolos comuns, permitindo a técnicos e investigadores a participação, troca, e partilha de conhecimento (BARKER, *et al*, 2006, CFIA, 2009, KAYE, 2003).

3.2.2. ACÇÕES ESPECÍFICAS EM ALGUMAS ZOONOSES E OUTRAS OCORRÊNCIAS

Foram vários os surtos de doenças infecto-contagiosas (zoonoses ou não) que levaram a que diversos investigadores e organismos salientassem a importância dos SIG (HANCHETTE *et al*, 2005) e DR na gestão em situações de crise, e inclusivamente na implementação de sistemas de vigilância e prevenção. Os mapas de risco são as mais frequentes medidas de vigilância adoptadas pelos vários países perante uma ameaça de doença infecto-contagiosa (zoonose ou não). Um mapa de risco é uma imagem complexa, gerada por computador que mostra a distribuição espacial do risco previsto de uma doença. É baseado na distribuição espacial dos factores de risco, tais como a localização das principais rotas de transporte e áreas húmidas, e da importância relativa de cada um desses factores de risco.

Os mapas de risco são cada vez mais utilizados em epidemiologia, quer humana quer veterinária e representam o trabalho de muitas áreas nomeadamente geógrafos, biólogos, cartógrafos, especialistas em SIG, veterinários, especialistas em saúde animal, epidemiologistas, produtores e agentes governamentais a todos os níveis (PFEIFFER *et al.*, 2009).

VÍRUS DA LÍNGUA AZUL (BTV - *BLUETONGUE VIRUS*)

O BTV aparece em África, Sul da Ásia, Austrália, Médio Oriente e Américas, e estima-se que as perdas que pode causar andam na ordem dos 3 biliões de dólares americanos por ano. Tal montante levou o OIE (*Office International des Epizooties*), actualmente *World Organisation for Animal Health*, a considerar esta doença como parte da lista A (doenças de declaração obrigatória). Isto significa que tem o potencial para uma disseminação grave e rápida, independentemente das fronteiras, e capaz de sérias consequências sócio-económicas e de saúde pública, da maior importância para o comércio internacional de animais e produtos de origem animal (OIE, 2009).

TATEM (2003), elaborou mapas de ausência-presença do *Culicoides imicola*, insecto responsável pela dispersão da doença da Língua Azul, recorrendo a informação proveniente de armadilhas de insectos colocadas em 87 locais de Portugal, juntamente com imagens obtidas por DR. A altitude das armadilhas (uma das 41 variáveis utilizadas) foi estimada através do MDT de resolução 1kmx1km obtido a partir do site do USGS (*United States Geological Survey*) de 2002. As outras 40 foram derivadas de imagens obtidas através de uma série de dados do AVHRR. As imagens por DR foram processadas de forma a extrair quatro variáveis com significado ambiental: NDVI, MIR (*middle infra-red reflectance*), LST (*land surface temperature*) e TAIR (*air temperature*). Uma vez processada a imagem e extraídos os índices mensais correlacionados com a abundância de vegetação e variáveis meteorológicas, a informação é sujeita a análise temporal de Fourier. Esta técnica

extrai informação acerca dos ciclos sazonais destes índices em termos dos seus ciclos anuais, bianuais e trianuais, cada um desenvolvido pela sua fase e amplitude. Esta análise reduz o ruído original do satélite, reduz o volume de séries de dados que mostram fortes correlações, e finalmente procede a uma ordenação de informação de forma a ter uma interpretação biológica óbvia em termos de ciclos sazonais. O modelo obtido permite obter um mapa de distribuição prevista para o *C. imicola* (ver figura 30) (TATEM *et al*, 2003).

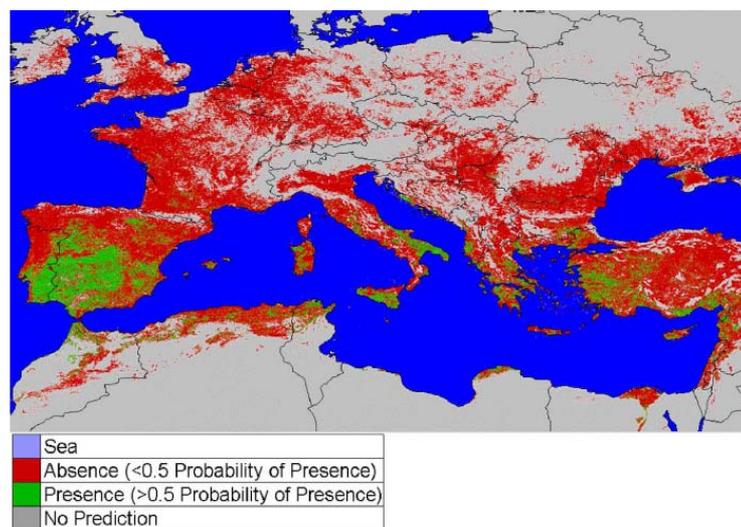


Figura 30 - Presença/ausência do *C. Imicola*, na região do mediterrâneo, prevista por um modelo derivado de dados de presença/ausência em 87 locais de Portugal (TATEM, 2003)

A utilização de imagens obtidas por detecção remota disponíveis gratuitamente, combinadas com modelos matemáticos relativamente simples e dados de armadilhas de insectos⁹, pode ser usada para prever e explicar padrões observados num número de insectos, a uma escala continental (TATEM, 2003).

No futuro e numa situação ideal BARKER *et al.* (2006) imaginam que os esquemas de vigilância BTV (*Bluetongue virus*) estabelecidos então por toda a Europa, estarão relativamente em contacto, com metodologia estandardizada e com uma rápida e precisa divulgação da informação. Dados de doenças serão por rotina integrados

⁹ O autor refere-se a um país relativamente pequeno como é o caso de Portugal onde realizou este estudo.

com informação demográfica quer para hospedeiros, quer para vectores, na mesma Framework num SIG. Adicionando informação por DR a partir de satélite melhorará grandemente o poder analítico e preditivo dos sistemas DIM para doenças sensíveis ao clima, tais como a Língua Azul.

FEBRE AFTOSA (FMD – *FOOT-AND-MOUTH DISEASE*)

A Febre Aftosa pode ser disseminada de várias formas, sendo a circulação de animais infectados, considerada a mais importante. Sob as condições certas, o vírus pode ser transportado pelo vento e a infecção pode se espalhar-se até grandes distâncias. Embora esta situação seja rara exigindo a combinação certa da estirpe do vírus, ambiente e condições de tempo adequadas, é de particular preocupação, pois não pode ser controlada pelas medidas que normalmente são postas em prática durante um surto. Reconhecendo isso, vários países têm desenvolvido modelos que simulam a propagação do vírus da febre aftosa através do vento de curtas a grandes distâncias mais curto. No entanto, a gestão dessa ameaça exige mais do que apenas prever para onde o vírus pode ter-se espalhado (GARNER *et al.*, 2006).

O impacto provocado pelo vírus da Febre Aftosa no Reino Unido em 2001, precipitou de certa forma o aparecimento de uma maneira de combinar um SIG altamente preciso com um DEM, para várias aplicações em termos práticos e críticas neste contexto. Um DEM de alta resolução, incorporado num modelo meteorológico, fornece informação meteorológica a partir do evento inicial, permitindo determinar a tendência de evolução. Esta informação é usada para determinar o impacto e o risco da doença, e permite rapidamente identificar áreas de quarentena (LITTLE, 2003).

GRIPE AVIÁRIA (H5N1)

Os surtos de Gripe Aviária altamente patogénica provocada pelo vírus H5N1 em aves domésticas na Ásia, que começou em meados de 2003, e, até à data, foram

acompanhados por mais de 120 casos humanos confirmados, dos quais mais de metade morreu (WHO, 2005). O maior surto em aves selvagens ocorreu no Lago Qinghai, em 2005, seguido por um surto na zona do Lago Erkhel, Mongólia que sugerem uma possível ligação migratória entre essas regiões. A FAO continua a dar seguimento às actividades sobre a vigilância da gripe aviária conduzidas no campo na Mongólia em 2007 e 2008. Através de equipamento transmissor, os gansos podem ser localizados por satélite. O USGS disponibiliza através do *Google Earth*, os movimentos migratórios destas aves (FAO, 2009b) individualmente em todo o seu ciclo anual. Recorrendo à DR, principalmente transmissores via satélite (PTT) e análises de isótopos estáveis, é possível ligar os indivíduos com localizações específicas e principalmente, observá-los à distância (Figura 31) (USGS, 2008).

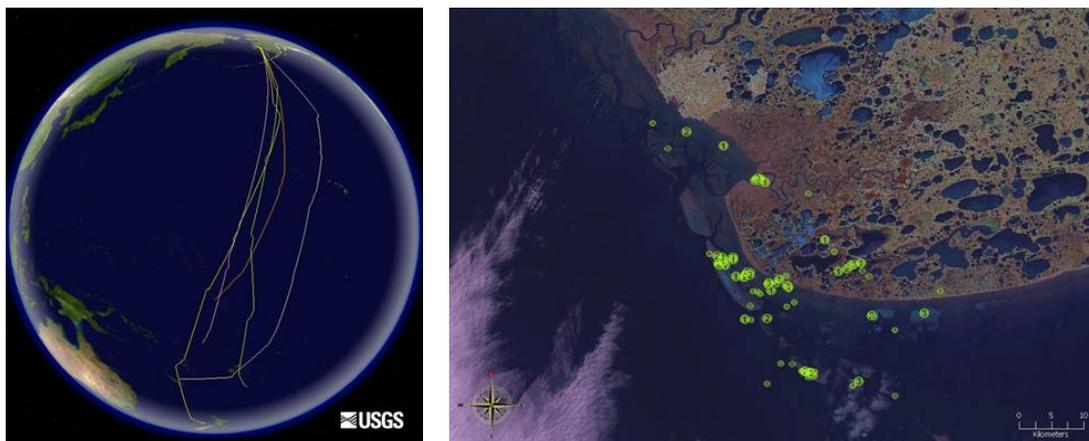


Figura 31 - Trajectórias migratórias (esq.) e utilização de paragens (dir.) determinadas através de telemetria por satélite (USGS, 2008)

A vigilância epidemiológica da Influenza Aviária Altamente Patológica (IAAP) baseada na avaliação do risco é recomendada pela OIE no Anexo 3.8.9. do Código Sanitário para os Animais terrestres (FAO, 2009a). Nomeadamente em África, está a em curso um projecto para elaboração de um mapa de risco para esta zoonose. O mapa de risco inicial para a Gripe Aviária inclui o resultado de uma pesquisa bibliográfica sobre o que é conhecido sobre o risco da Gripe das Aves em África. As *layers* (mapas) que representam o factor risco, mostram a distribuição espacial dos factores de risco, mas não a importância relativa de cada um. Pesquisadores utilizaram mapas de cada um dos factores de risco identificados (por exemplo, auto-estradas transfronteiriças, portos, densidade de aves de capoeira, e localização de

pontos de água) para criar uma *layer* de risco final. Algumas destas *layers* mostram factores que aumentam o risco de introdução da doença e outras mostram factores que aumentam o risco de propagação da mesma. Estas *layers* não são usadas para estimar o risco, são apenas um passo em direcção a esse objectivo. Vários mapas de risco para o continente e cinco zonas-chave foram produzidos (África Ocidental, Oriental e Sul, incluindo a Nigéria e Uganda). Cada um combina as *layers* do factor de risco, e indica o nível de risco relativo, para cada localização, depois de calculado o grau de risco para cada ponto ou pixel no mapa (Figura 32). O relatório do Mapa de Risco Final terá um atlas estado-da-arte de mapas de risco que tenham sido validados e melhorados através do trabalho de campo, de um workshop de peritos, e os novos dados disponíveis (PFEIFFER *et al.*, 2009)

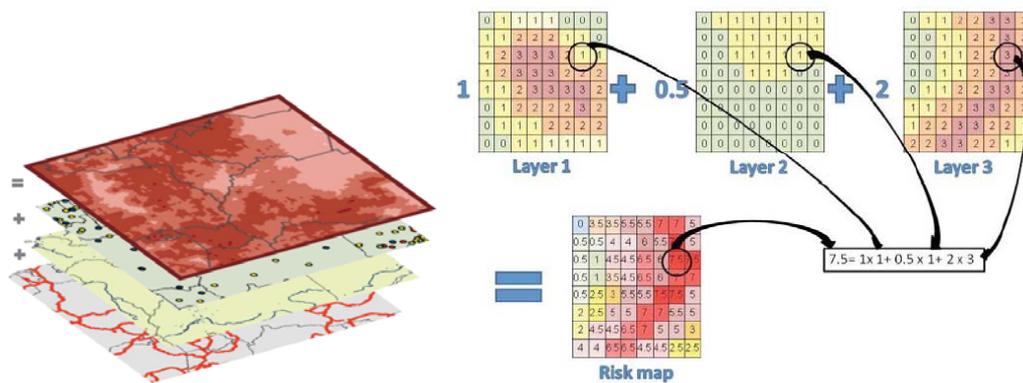


Figura 32 - Processo de construção de um mapa de risco (PFEIFFER *et al.*, 2009)

VÍRUS DA ENCEFALITE

A incorporação de modelos da NASA e dados obtidos por DR num modelo de avaliação de risco, permite acompanhar as alterações na abundância do mosquito responsável pela encefalite. O CMVSRP (*California Mosquito-Borne Virus Surveillance and Response Plan*) é um sistema de apoio à decisão (SAD), actualmente utilizado pelo departamento dos Serviços de Saúde da Califórnia, para tomar decisões sobre a intervenção nos casos de ocorrência do Vírus do Nilo Ocidental (WNV), Vírus da encefalite de St. Louis (SLEV) e Vírus da encefalomielite equina ocidental (WEEV). Os dados sobre oito factores ambientais e

epidemiológicos são classificados e calculada uma média dentro do modelo CMVSRP para produzir uma estimativa em tempo real do risco de vírus. O nível de abundância do Mosquito e previsões de risco baseados em dados de DR e validados em escala regional tendem a ser inferida para o oeste dos Estados Unidos (REISEN, 2007).

O Sistema de Observação e Previsão da NASA – TOPS (*Terrestrial Observation and Prediction System*) actualmente integra informação de satélite e de redes de observação baseada no terreno para produzir um conjunto abrangente de mais de 30 variáveis que descrevem a superfície terrestre e as condições do ecossistema. Informações derivadas de satélites incluem cobertura terrestre e cobertura de neve, temperatura da superfície, densidade da vegetação e produtividade da vegetação. Estações meteorológicas de superfície para geram estatísticas de temperaturas máxima e mínima, humidade, radiação solar e precipitação. fluxos modelados indicam a humidade do solo e o stress da vegetação (UC DAVIS, 2009).

Utilizando a recolha de dados, relatórios e sistemas de mapas desenvolvidos pelo Programa de Avaliação Ambiental e Tecnologias da Informação da UC Davis (University of California Davis) a NASA conseguirá incorporar a análise da paisagem a partir de imagens de DR auxiliando assim nos esforços de controlo directo para prevenção de surtos de microorganismos patogénicos transmitidos por mosquitos, como é o caso do Vírus do Nilo Ocidental (UC DAVIS, 2009).

SURTOS DE CARRAÇAS

Recentemente várias tentativas foram feitas para mapear com precisão o seu potencial habitat e no sentido de desenvolver modelos descritivos da sua dinâmica. Enquanto a componente sazonal desses modelos funciona bastante bem para produzir previsões precisas, ainda não é possível produzir indicadores de previsão de aumentos na densidade de carraças. Este facto influencia substancialmente a realização de tratamentos adequados no momento do aumento da população, para economizar dinheiro e evitar a selecção de estirpes resistentes. A comparação de

variações anuais dos valores do NDVI com as mudanças na dinâmica populacional das carraças permite fazer uma previsão da sua actividade sazonal. No entanto, o tipo de vegetação influencia o pico do valor de NDVI sugerindo este facto que, a falta de correlação entre estes dois factores por vezes é devida às diferentes respostas de populações de carrapatos e da vegetação face às diferentes temperaturas. Por isso, a ausência de picos adequados quer da população dos carrapatos quer do sinal NDVI, limita a utilização deste recurso de DR como um substituto de actividade das populações de carrapatos em grandes áreas na região Neotropical. Apenas nas zonas onde uma significativa amplitude térmica Inverno/Verão pode o NDVI ser usado para esta finalidade (ESTRADA-PEÑA, 2006). Pode ainda ser limitada a utilização deste recurso pois é pouco precisa em casos de vegetação inferior a 20% ou em casos de manchas de vegetação dispersas. JACKSON & HUETE (1991, *in* ALBERT *et al.*, 2000) salientaram com alguma cautela que os índices de vegetação geralmente não são uniformes, mas podem, em alternativa, ser calculados a partir valores de radiância, valores de reflectância e números digitais de satélite. No entanto permanece evidente a principal vantagem da utilização de índices de vegetação; fornecem informação importante para a detecção, classificação e identificação de muitos tipos de origem e destinos de vectores de doenças. O NDVI fornece nomeadamente um substituto para padrões de pluviosidade, quando não existem dados de precipitação de duração apropriada (ALBERT *et al.*, 2000).

4. MONITORIZAÇÃO DAS MUDANÇAS AMBIENTAIS DERIVADAS DA PRODUÇÃO ANIMAL

Neste capítulo irão ser abordadas as principais formas de poluição pelas quais o sector pecuário é responsável, referindo-se formas de monitorizar e minimizar estes impactos. São exemplos o sobrepastoreio, a poluição dos solos, do ar e das águas.

O sector pecuário está a crescer mais rapidamente que qualquer outro subsector agrícola. Assegura a subsistência de cerca de 1,3 biliões de pessoas e contribui com cerca de 40 por cento para o output agrícola global. A produção animal utiliza 30 por cento do total da superfície terrestre, principalmente na forma de pastagem mas também inclui 33 por cento da terra arável usada para a produção de alimentos para animais. Ao mesmo tempo, os animais causaram degradação da terra em larga escala, com cerca de 20 por cento das pastagens consideradas degradadas devido ao sobrepastoreio, compactação e erosão (UN, 2006).

4.1. O SOBREPASTOREIO

Hoje, o estudo dos sistemas de pastoreio centra-se, não apenas em compreender o impacto destes nas culturas e nutrição animal, mas também na forma como o comportamento do animal afecta as plantas e produtividade animal, e também a forma como o animal afecta o sistema (ANDERSON *et al.* 2004). Os produtores esforçam-se por obter lucros mais elevados, tornando o sobrepastoreio num problema significativo. Ao mesmo tempo que reduz a qualidade da pastagem, pode vir a ser um problema para as fontes de água circundantes, aumentando a erosão do solo (WESTERMAN, 2001).

Vários problemas associados ao pastoreio de gado bovino em zonas de pastagem estão relacionados com a distribuição descuidada dos rebanhos na paisagem. Algumas áreas são sobrepastoreadas e outras não são sequer utilizadas (GANSKOPP, 2001). Controlar a pressão de pastoreio é crucial na manutenção de espécies forrageiras desejáveis, evitando perda de espécies. Períodos demasiado extensos de pouca pressão de pastoreio podem reduzir as populações de leguminosas, devido ao facto de estarem enfraquecidas pelo pastoreio selectivo e frequente. Pelo contrário, períodos de elevada pressão de pastoreio podem resultar numa reduzida produtividade da pastagem e perda de espécies desejáveis (ANDERSON *et al.* 2004, GRIFFIN *et al.*, 2002). A severidade da remoção da forragem pelo gado depende de muitos factores para além da pressão e duração do pastoreio. O tipo de solo e a topografia do terreno são de grande importância. Os solos mais pobres não serão capazes de suportar a remoção de forragem tão facilmente como solos de maior qualidade. Aliado a este facto, o gado tem tendência a evitar declives íngremes enquanto pastoreiam. Por isso, as áreas mais planas da pastagem tendem a ser pastoreadas de forma mais pesada que as áreas mais íngremes. Os tipos de solos normalmente variam quando a topografia se altera em determinada paisagem, pois os padrões de sobrepastoreio não dependem do tipo de solo nem da topografia isoladamente. Através de imagens Landsat 7 TM e mapas de tipo de solo em formato digital, podem identificar-se os tipos de solo mais susceptíveis de serem sobrepastoreados (WESTERMAN, 2001).

4.2. DELINEAÇÃO DE PERCURSOS E TRILHOS

Os trilhos feitos pelos animais frequentemente aparecem em pastagens quando o crescimento ou porte da planta não consegue acompanhar a perturbação causada na vegetação. Por vezes trilhos feitos pelo homem são previamente abertos para estimular a utilização uniforme da pastagem, ou para facilitar a passagem dos animais através de terrenos agrestes ou com densa vegetação. Desde há muito que

se assume que os animais traçam passagens de resistência mínima entre as suas áreas de pastagem frequentadas. Tal foi provado com a ajuda de um SIG que ajudou a quantificar características de trilhos, que foram mapeados em mais de 800 ha com a ajuda de unidades de GPS, e da paisagem, indicado as passagens de menor resistência entre pontos de água e pontos distantes nas pastagens. Os trilhos são 11% mais curtos que os apontados pelo SIG, e as rotas seleccionadas através do terreno não são tão íngremes como os dos caminhos escolhidos pelo SIG. O grau de inclinação dos trilhos e dos caminhos indicados pelo SIG é, no entanto, idêntico. De notar que o gado nem sempre usa os mesmos trilhos para entrar e sair de determinadas áreas. Eles descem de livre vontade uma encosta, mas procuram um percurso mais suave no seu regresso para cima. Quando se questionou o SIG para traçar percursos de regresso, eram quase idênticos aos usados pelo gado. Este facto sugere que os sistemas de informação geográfica podem ser usados para os gestores ambientais e produtores pecuários a desenhar trilhos para o gado em áreas agrestes. Sistemas de trilhos eficientes podem reduzir a energia dispendida pelos animais para atravessar terrenos difíceis e assegurar o acesso a forragem ou água anteriormente não aproveitada (GANSKOPP *et al*, 2000).

A exploração de culturas é um uso intensivo da terra que utiliza recursos do solo. A menos que esses recursos sejam geridos e substituídos, a terra arável pode ser degradada e considerada não apta para uma produção agrícola continuada. Os impactos do abuso da terra arável podem ser regionalmente manifestados através da redução da produção agrícola, redução da qualidade da água e do ar, exploração e degradação do ecossistema, e declínio da diversidade das espécies. A longo prazo, as alterações na produção também servem como indicadores regionais da saúde de um ecossistema. Em sistemas semi-áridos, a irrigação agrícola coloca pesadas exigências em recursos hídricos e requer uma cuidadosa gestão. A variabilidade climática, eventos climáticos extremos e o aumento e competição sobre os recursos hídricos, a curto prazo pode afectar a produtividade e a longo prazo a sustentabilidade da produção agrícola (IGOL, 2006)

4.3. PAPEL DA PECUÁRIA NA ALTERAÇÃO CLIMÁTICA E POLUIÇÃO DO AR E ÁGUA

De acordo com um relatório apresentado pela FAO (2006), a produção pecuária gera mais gases causadores do efeito-estufa para o aquecimento global, medido em equivalentes CO₂, do que os transportes. Segundo o mesmo relatório, são também a maior fonte de degradação de solo e água, devendo diminuir para metade, para evitar que o nível de danos seja superior ao presente. Sessenta e cinco por cento do óxido nitroso (N₂O) (que tem 296 vezes o poder que aquecimento global do CO₂), são gerados pelo sector pecuário. O estrume é a maior fonte destes componentes (UN, 2006). O N₂O irá aumentar substancialmente nas próximas décadas, pois uma vez que a área de pastagem está no seu limite máximo na maior parte das regiões, a futura expansão do sector pecuário será cada vez mais baseada em culturas semeadas (STEINFELD & HOFFMANN, 2008).

A actividade pecuária é também responsável por 30 a 40% das emissões globais de metano (CH₄), nomeadamente através da fermentação entérica e da decomposição do estrume (CHHABRA *et al.*, 2009; MERINO *et al.*, 2008). Estes processos que são responsáveis por 80% das emissões de metano por parte das actividades relacionadas com a agricultura. Dietas diárias que reduzem a fermentação entérica e conseqüentemente, as emissões de metano, podem contribuir para minimizar este efeito. (UN, 2006). A libertação de CO₂ acontece quando áreas anteriormente florestadas, são convertidas em área de pastoreio ou área de cultura de produtos para alimentos. Portanto, a expansão da pastagem e terra cultivada, à conta da floresta, liberta quantidades significativas de CO₂ para a atmosfera. Liberta-se igualmente quando combustível fóssil é consumido pelos tractores, no fabrico de adubos, bem como em todas as operações de processamento e transporte de alimentos para animais. O N₂O é libertado pelas leguminosas e pelos adubos químicos aplicados em outras culturas (STEINFELD *et al.*, 2006).

Uma grande proporção de N está presente nos dejectos dos animais em forma de ácido úrico e ureia. Pouco depois da sua excreção, o ácido úrico e a ureia são

hidrolisados em amoníaco, que se liberta por volatilização. As emissões de amoníaco proveniente do estrume dos animais para a atmosfera, podem causar diversos problemas, desde afectar a saúde humana, problemas ao nível da produção até problemas ambientais. Os níveis de amoníaco podem atingir altas concentrações no interior das instalações pecuárias durante os meses mais frios, pois a ventilação é minimizada para evitar perdas de calor e/ou custos de aquecimento. Quer o homem, quer os animais, são sensíveis a altos níveis de amoníaco; a exposição pode resultar em baixas *performances* por parte do animal e impactos negativos na saúde (MOORE, JR, s.d.).

A água utilizada pela produção animal representa cerca de 8 por cento do global utilizado para consumo humano. A maior parte desta água, é usada para irrigação de cereais para alimento e pastagens. Através do efeito de compactação do solo quando o pisam e pastoreiam, os animais têm um efeito determinante, por vezes negativo, na infiltração, e na velocidade da água na escorrência de superfície. O efeito por eles produzido na qualidade da água através da libertação de nutrientes, microrganismos patogénicos e outras substâncias para os cursos de água, essencialmente a partir de explorações intensivas. O uso da terra pela produção animal, especialmente através da gestão de dejectos é o principal mecanismo pelo qual os animais contribuem para a contaminação da água (STEINFELD *et al*, 2006).

Existem no presente casos notórios deste tipo de poluição. O rio Mississipi faz a drenagem de todos os Estados a ele contíguos, para o Golfo do México. Neste local formou-se uma bacia que inclui a quase totalidade de explorações pecuárias industriais, e de produção de alimentos para animais. O arrastamento pelas águas superficiais é responsável pela deposição de produtos provenientes das adubações e sementeiras e outras águas impróprias nas águas do rio. Quando chegados ao Golfo do México estes nutrientes são consumidos em explosões de algas, devidas essencialmente ao Azoto e Fósforo (Figura 33). Estas depois de morrerem, depositam-se e decompõem-se por bactérias. Estas bactérias absorvem todo o oxigénio das águas, obrigando peixes e outros seres marinhos a mudarem de local

para sobreviverem, e criando uma *Zona Morta* (RAFFENSPERGER, 2008). Para explorar a utilidade de técnicas de detecção remota para estudo de processos costeiros, tais como as plumas¹⁰ da baía de Delaware, os dados da resolução razoavelmente alta (de 1 km) e com resolução temporal de horas ou pelo menos inferior a 1 dia. O AVHRR parece preencher estes requisitos, bem como os sensores de cor do oceano como o SeaWiFS e o MODIS. Dependendo das bandas e com três satélites operacionais, a frequência de seis visitas por dia pode ser alcançada, utilizando as imagens SAR (como o RADARSAT) como complemento de alta resolução (JIANG, 2009).

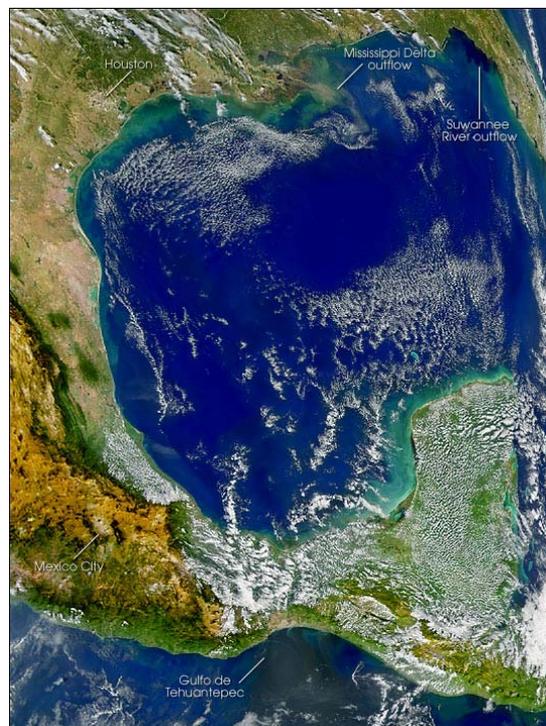


Figura 33 - Aglomerados de algas no Golfo do México (EARTH OBSERVATORY - NASA, 2004)

Explorações em escala industrial nos EUA produziram mais de 335 milhões de toneladas de adubo por ano, contribuindo directamente com mais de 3 milhões de toneladas de azoto para o rio Mississippi, no ano de 2000. Este valor corresponde a menos de metade da quantidade de azoto dos fertilizantes que o USGS estima que

¹⁰ Mistura de água doce e carga de sedimentos do rio, com uma certa diluição causada pelas correntes

contribuíram no mesmo ano. Uma comparação directa parece indicar que o cultivo de culturas é uma preocupação muito maior do que gado (RAFFENSPERGER, 2008). Um terço do total de terra arável mundial é dedicada a produzir alimentação para o gado, significando que uma quantidade substancial de fertilizantes aplicados na agricultura, estão na verdade afectos à produção animal (FAO, 2006).

4.4. INTEGRAÇÃO DE DEJECTOS E NUTRIENTES

A Agricultura de Precisão (AP) permite, com o desenvolvimento de tecnologias como o GPS e os SIGs, facultar rapidamente aos operadores de máquinas e equipamentos, informação sobre a posição exacta onde aplicar estrume (por exemplo apenas no solo menos fértil) de forma a aumentar a eficiência e diminuir a lixiviação de adubos para águas subterrâneas (HOLTON, 2000). O SIG funciona essencialmente como uma base de dados que gere a informação geográfica fornecida pelo GPS (FLEMING *et al.*, 2001).

A gestão de nutrientes nos solos continua a afectar a qualidade das águas subterrâneas, sendo um assunto que extrema importância e que deve ter toda a atenção durante os próximos anos. Muitos produtores vêem ainda os dejectos dos animais como um subproduto da produção animal, o qual deve ser descartado e depositado algures, rapidamente. De facto, o estrume deve ser encarado como uma fonte de nutrientes para a produção agrícola, que normalmente acompanha a vertente pecuária nas explorações. Convenientemente geridos, os dejectos animais, aplicados em culturas tendo em conta a variabilidade dos solos, podem reduzir os níveis de nitratos, nitritos e fósforo no solo e águas superficiais (FLEMING *et al.*, 2001).

O AZOTO

O azoto é um nutriente essencial para a produção agrícola. No entanto, é muitas vezes aplicado sem se olhar às necessidades da cultura ou ao potencial risco

ambiental para assegurar que produções aceitáveis são alcançadas (HATFIELD *et al.*, 2008). A capacidade que o ambiente numa determinada área tem de absorver os nutrientes provenientes do estrume, é imposta pela natureza. No entanto, há regulamentações que restringem as aplicações de estrume. Por exemplo, é exigido aos produtores de suínos do Estado do Kentucky fazerem a aplicação de estrume seguindo um plano de gestão certificado e preenchido com o Estado. Este plano tem em conta o teor de N no estrume e as necessidades de determinada cultura nesse nutriente bem como a localização e tipos de culturas nas quais o estrume irá ser aplicado. É também proibida a aplicação de estrume proveniente de suínos em terrenos com declive superior a 12% ou em terra com menos de 46cm de solo, até à primeira camada impermeável (normalmente pedra) (FLEMING & LONG, 2002). Na EU, a OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico), com um trabalho de cerca de três décadas, na área do ambiente tem apoiado activamente os seus membros e não-membros a conceberem políticas ambientais que visam atingir simultaneamente a eficiência económica e os objectivos ambientais, nomeadamente no que se refere à gestão de estrumes (ex. integração de dejectos da produção suinícola na Holanda) (OECD, 2004).

O melhoramento na gestão do N, mostrou uma diminuição nas aplicações enquanto se mantém ou se aumentam as produções agrícolas. Os primeiros métodos para gestão dos níveis de N usaram o *Soil-Plant Analysis Development* (SPAD) para medição da clorofila, fotografia a cores, características de reflectância do coberto vegetal para avaliar as variações de N ao longo das parcelas dos produtores de milho. Estas técnicas eram baseadas em comparações com leituras obtidas a partir de uma faixa adequadamente fertilizada, no mesmo campo e depois de eliminados os requerimentos conhecidos *a priori* da relação entre os nutrientes e a reflectância da cultura (HATFIELD *et al.*, 2008).

Um exemplo de métodos indirectos para gestão do N foi desenvolvido por Bausch & Duke (1996) baseado no índice de radiação reflectido pelo N (*N reflectance index-NRI*) derivado da reflectância do verde e do NIR num campo de milho irrigado. O

NIR estava altamente correlacionado com o índice de suficiência de N (*N sufficiency index*) calculado a partir do SPAD medidor de clorofila e forneceu uma avaliação rápida do estado do N na plantação de milho, para o fim de mapear os valores a uma escala de terreno. As produções de grão esperadas eram estimadas a partir de vários NDVI post-dormência, normalizados pelo número de dias de crescimento acumulados entre datas de observação. Ajustou-se para o tempo local e compensado para variações espaciais nas necessidades de N causadas pelas diferenças de solos e gestão (HATFIELD *et al.*, 2008).

Um plano de gestão de estrume (*Manure Management Plan – MMP*) é uma ferramenta para os produtores utilizarem quando planeiam a colocação de nutrientes para otimizar a produção. Ao preencher um MMP, os produtores identificam a quantidade de estrume a ser produzido, a concentração de nutrientes no estrume, o número de hectares que são necessários para a aplicação na terra e da quantidade que será aplicada a cada hectare disponível. Estes planos são baseados nas necessidades de absorção de azoto e de fósforo da cultura, (PRECISION MANAGEMENT SERVICES, 2005) embora a obrigatoriedade dos MMP serem baseados nos índices de fósforo tenha sido incluída desde 2008.

O FÓSFORO

O índice de fósforo (*P-index*) foi desenvolvido por cientistas da *Iowa State University*, pelo *National Soil Tilth Laboratory* e pelo *Natural Resources Conservation Service* para determinar o risco de perda de Fósforo (P) de um campo. É baseado na erosão, análises ao solo, aplicações de P entre outros factores, e os resultados é que determinarão as taxas de aplicação de estrume num MMP.

A maioria do aumento do P nos sistemas aquáticos teve origem em nas descargas de esgotos, mas o estrume proveniente de explorações intensivas de suínos e aves está a tornar-se numa questão cada vez mais preocupante, que requer um tratamento especial. A perda de P para as águas superficiais é um risco ambiental

que pode ser eliminado na sua quase totalidade, controlando a erosão e a escorrência superficial, factores que influenciam o transporte de P, e através de uma gestão apropriada do P (JOHNSTON *et al.*, 2001).

A escorrência transporta partículas de solo em suspensão, e o P associado a elas. Transporta também pequenas concentrações de P dissolvido, mas este último de menor importância. As mobilizações de terrenos podem ter um efeito dramático na redução das perdas de P por escorrência superficial. JOHNSTON *et al.* (2001) referem que a conversão de metade de uma parcela com trigo em Oklahoma, para mobilização zero, pode reduzir a concentração do P total na escorrência em mais de 80%.

Aparentemente o P não se apresenta como ameaça ambiental, quando as taxas de aplicação de estrume e fertilizantes estiverem baseadas em análises de solos, quando as taxas não excedam em muito a remoção por parte das plantas, e boas práticas de gestão agrícola sejam utilizadas. Por exemplo a identificação e mapeamento de áreas sensíveis em parcelas que recebem estrume, deveriam permitir uma aplicação local específica através de distribuidores operados por GPS. A utilização de mapas (Figura 34) e sistemas de orientação por GPS, permite aos produtores alcançarem uma boa gestão de nutrientes, quer agrónomica quer ambientalmente sustentável (JOHNSTON *et al.*, 2001).

Para a gestão de nutrientes, é necessária a recolha de amostras dos solos. Normalmente era baseada em procedimentos de amostragem discreta, usando um esquema baseado numa grelha (*sampling by grid*) ou estatisticamente ao acaso. A amostragem através de uma grelha é actualmente um procedimento muito trabalhoso se grandes áreas precisarem ser testadas. Para a produção de mapas exactos, o esquema de amostragem e a mínima cobertura devem ser determinados, levando inevitavelmente a um conflito entre a exactidão e o custo da amostragem. A maioria dos estudos sobre padrões espaciais de características de solos, mostram que o balanço entre a perda de informação e o tamanho da grelha de amostragem, geralmente se torna inaceitável para um espaçamento superior a 60-70 metros.

Toda a informação que permita a redução da área de amostragem, que contemple as características do solo ou níveis de produtividade (ou ambos combinados) será de extrema utilidade. Esta estratégia sustenta o conceito de estabelecer potenciais Zonas de Gestão dentro de determinada área. Deve no entanto ser vista como temporária ou transitória pois a realidade económica restringirá sempre o detalhe na informação obtida através de amostragem discreta (ACPA, 2007).

5. CONCLUSÕES

A forma da interface Animal-Ambiente dependerá no futuro, da atitude que o homem tome face ao equilíbrio entre as duas partes. Ambas são conduzidas pelos mesmos factores: o aumento das populações, o aumento do lucro e da urbanização. O recurso natural que lhes serve de base, e no qual devem ser acomodados, é finito. Por isso, a expansão do sector pecuário deve ser atingida reduzindo o seu impacto ambiental (FAO, 2006).

A PF apresenta-se perante o cenário actual como detentora de inúmeras vantagens, quer para o meio ambiente, quer para o aumento da produtividade. A utilização eficiente dos recursos naturais, cada vez mais escassos, e dos inputs, a redução da incerteza por parte do produtor nas tomadas de decisão no processo de gestão, e a contribuição para a segurança e bem-estar de pessoas e animais, englobam a quase totalidade das vantagens.

A monitorização de culturas a uma escala global e regional é a forma mais conhecida da aplicação da DR que, no caso concreto das pastagens, fornecem aos produtores dados de inestimável valor de produtividade, nomeadamente Biomassa, utilizados na previsão da disponibilidade de alimento e controlo do preenchimento das necessidades alimentares dos animais. Satélites operacionais como o MODIS, fornecem informação para o cálculo de índices de vegetação (ex. NDVI) que permitem atingir esse objectivo. Sensores hiperespectrais (nomeadamente o Hyperion) possibilitam a determinação da qualidade do alimento.

A PLF permite a gestão das espécies pecuárias sempre que seja possível controlar os *inputs* para o indivíduo, e os *outputs*. Uma vez que a estes sistemas é adicionada a dimensão do bem-estar animal, é possível ao produtor, através de sensores, monitorizar o estado de saúde, o comportamento geral, e também a produtividade. A utilização de vedações virtuais representam uma forma eficaz no controlo do pastoreio, pois permite assegurar as necessidades alimentares do animal, gerindo em simultâneo o tempo de recuperação da pastagem (evita o sobrepastoreio) e

desta forma, reduz também o impacto ambiental. Este controlo é conseguido através de estímulos sensoriais de diversos tipos, cujo momento e intensidade de aplicação é determinado por um algoritmo em ambiente SIG, sempre que o animal se aproxime do limite virtual imposto pelo produtor. O animal transporta consigo um equipamento montado numa coleira que fornece a sua posição através de GPS.

No entanto, as tecnologias pelas quais se regem os conceitos da PF (e da PLF) não são suficientemente acessíveis à generalidade dos produtores por diversos motivos.

A PF (e PLF) deve ser demonstrada em termos comerciais se houver falta de confiança por parte dos produtores, estabelecendo metas baseadas em princípios biológicos. Em termos de Bioética, a PLF pode ser vista desfavoravelmente por parte dos consumidores, como uma tecnologia que encoraja o uso instrumental dos animais, podendo comprometer o seu bem-estar. Uma análise de bioética da PLF é necessária mas não deverá ser levada a cabo sem ser feita uma pesquisa a fundo sobre estas matérias (WATHES *et al.*, 2008).

Os SIG estão bastante bem implementados nas ciências veterinárias, particularmente como recurso para a gestão de surtos de doenças exóticas. No entanto, na maioria das vezes, a sua utilização assenta em SIGs pessoais *ad-hoc*, levando a um menor sucesso na incorporação de determinadas actividades em sistemas de nacionais e regionais, nomeadamente no que se refere a vigilância de doenças endémicas (DURR, 2006).

Algumas premissas devem ser asseguradas para que seja garantida a precisão de um SIG neste contexto, principalmente a capacidade de georreferenciar as diferentes *features* de todo um país, e uni-las numa base de dados homogénea. São exemplos a localização geográfica de núcleos de produção e matadouros, e controlados os movimentos de animais para que a sua rastreabilidade possa ser uma realidade. Diversas aplicações geoespeciais que incluem receptores e câmaras GPS são utilizados para obter dados acerca da localização de explorações de gado e aves (FITZMAURICE, 2006).

No que toca á Europa, enquanto não existir uma maior abertura quanto à partilha e acessibilidade de dados a menores custos, por parte da ESA e da EUMETSAT, haverá sempre grandes dificuldades no acesso à informação necessária em tempo útil.

Assegurar uma resposta à crescente procura de produtos de origem animal constitui uma responsabilidade não inferior àquela de o alcançar sem comprometer a disponibilidade e a manutenção de todos os factores de produção, em condições de sustentabilidade.

O sobrepastoreio pode ser minimizado com o recurso a imagens de satélites (ex. LANSAT 7 TM) em conjunto com mapas de solos e em formato digital, para identificação das zonas com maior tendência a serem sobrepastoreadas. Conforme demonstrado por diversos organismos e autores, a produção animal é também responsável por uma quota-parte de emissão de gases “efeito-estufa”, representando também uma fonte bem identificada de poluição de ar, águas e solos. O estrume é a maior fonte destes componentes. A utilização de satélites complementada com imagens SAR de alta resolução permite uma frequência de visitas diárias adequada a uma monitorização eficaz, nomeadamente da poluição a nível das águas. A integração dos dejectos deve ser feita de forma criteriosa, como forma de reduzir este tipo de contaminação. A PF através de SIGs complementados com GPS, facultam rapidamente indicações sobre o local de aplicação dos estrumes, de forma a aumentar a eficiência, diminuindo a lixiviação para águas subterrâneas

Juntamente com os conceitos da PF e da PLF, o conceito de Conservação de Precisão (PC – *Precision Conservation*) deve também ser fomentado. Neste sentido as tecnologias utilizadas na PF e PLF apresentam-se como uma ferramenta de inestimável valor para a monitorização dos processos inerentes a estes sistemas, bem para a identificação de alternativas para a mitigação da emissão de gases e compostos orgânicos que devem ser reincorporados no ecossistema que os gerou.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACPA - Australian Centre For Precision Agriculture, 2007, *Precision Agriculture: An introduction to concepts, analysis and interpretation*, University of Sydney, Educational Resources (URL: <http://www.usyd.edu.au/su/agric/acpa/GRDC/EDresources.htm>, consulta em 17-07-2007).
- AEROSPACE, 2009, *GPS Elements* (URL: <http://www.aero.org/education/primers/gps/elements.html>, consulta em 01-03-2009).
- AGOURIDIS, C.T., STOMBAUGH T.S., WORKMAN S.R., KOOSTRA B.K., EDWARDS, D.R., 2003, *Examination of GPS Collar Capabilities and Limitations for Tracking Animal Movement in Grazed Watershed Studies*, ASAE Annual International Meeting Paper Number 032001.
- AGOURIDIS, C.T., STOMBAUGH T.S., WORKMAN S.R., KOOSTRA B.K., EDWARDS D.R., VANZANT, E.S., 2004, *Suitability of a GPS Collar for Grazing Studies*, Trans. ASAE 47, 4, 1321-1329 (URL: [http://www.bae.uky.edu/WQ406/publications/TransASAE47\(4\)1321-1329.pdf](http://www.bae.uky.edu/WQ406/publications/TransASAE47(4)1321-1329.pdf), consulta em 02-08-2007).
- ALBERT, D. P., GESLER, W. M., LEVERGOOD, B., 2000, *Spatial Analysis, GIS and Remote Sensing: Applications in the Health Sciences* [Online], Sleeping Bear Press, Chelsea (URL: http://books.google.pt/books?id=ys5BRLzfigoC&printsec=frontcover&source=gbs_navlinks_s#v=onepage&q=&f=false, consulta em 23-09-2009).
- ANDERSON, D. M., NOLEN, B., FREDRICKSON, E., HAVSTAD, K., HALE, C., NAYAK, P., 2004, *Representing spatially explicit Directional Virtual Fencing (DVTTM) Data*, ESRI User Conference 2004 (URL: <http://proceedings.esri.com/library/userconf/proc04/docs/pap2136.pdf>, consulta em 10-07-2007).
- ANDERSON, D. M., 2005, *Innovation and Opportunities in Livestock Control Using Virtual Boundaries (VBsTM)*, Ventures in Innovations, AgrowKnowledge (URL: <http://www.agrowknow.org/critical-issues/2005/media/presenter/anderson.htm>, consulta em 10-07-2007).
- ANDERSON, D. M. 2006, *Virtual fencing-a concept into reality* [Resumed]. in: Proceedings of the Spatial Grazing Behaviour Workshop, CSIRO Livestock Industries, 1st Spatial Grazing Workshop, June 14-15, Rockhampton, Queensland, Australia, 61-91 (URL: http://www.ars.usda.gov/research/publications/publications.htm?SEQ_NO_115=197375, consulta em 07-07-2007).

- ASIEDU, F., GOURO, A. S., NDLOVU, L., NURU, H., LAMETA, K., 2009, *Improving Livestock Development In ACP Countries: The role of Science, Technology and Innovation in addressing the challenges to food security and economic empowerment*, ACP Policy Brief, ed. Judith Francis, CTA (URL: http://www.ypard.org/ypard/digitalAssets/589_Livestock_Policy_Brief_Final_090529.pdf, consulta em 13-08-2009).
- AVIRIS, 2008, (URL: <http://aviris.jpl.nasa.gov/html/aviris.overview.html>, consulta em 20-08-09).
- BALASELVAKUMAR, S., SARAVANAN, S., s.d, *Remote Sensing techniques for Agriculture survey*, (URL: <http://www.gisdevelopment.net/application/agriculture/overview/agrio014.htm>, consulta em 12-08-2007).
- BARKER, I., BROWNLIE, J., PECKHAM, C., PICKETT, J., STEWART, W., WAAGE, J., WILSON, P., AND WOOLHOUSE, M., 2006, *Foresight, Infectious Diseases: preparing for the future*, A Vision of Future Detection, Identification and Monitoring Systems, Office of Science and Innovation, London.
- BERRY & ASSOCIATES, 2007, *Basis for GIS Education, Applications and Software* (URL: http://www.innovativegis.com/basis/Papers/Other/ASPRSChapter/Default_files/image107.png, consulta em 13-08-2008).
- BICUDO, J. R., AGOURIDIS, C., KOOSTRA, B. WORKMAN, S., *Cattle Production Practices in Grazed Watersheds*, Environmental & Natural Resource Issues, Newsletter of ENRI Task Force, University of Kentucky, College of Agriculture (URL: <http://www.ca.uky.edu/enri/news/fall03news.pdf>, consulta em 02-08-2007).
- BISHOP-HURLEY G. J. *et al.*, 2007, Virtual fencing applications: implementing and testing an automated cattle control system [Resumed], *Computers and Electronics in Agriculture*, **56** 14-22 (URL: http://www.ars.usda.gov/research/publications/publications.htm?SEQ_NO_115=197046 consulta em 07-07-2007).
- BRAIDOTTI, G., 2005, *Remote Sensors: the secret life of cattle*, SOLVE, CSIRO (URL: <http://www.solve.csiro.au/1105/article2.htm>, consulta a 13-05-2008)
- BRUHN, M., CAJKA, J., SMITH, G., CURRY, R., DUNIPACE, S., WHEATON, W., COOLEY, P., WAGENER, D., 2008, *Creating Synthetic Database of Poultry and Livestock Operations in Support of Infectious Disease Control Strategies* (URL: http://gis.esri.com/library/userconf/feduc08/papers/abstract_497_esri_feduc_final.pdf, consulta em 02-10-2008).
- BUENO, R. 2007, *GNSS, Global Navigation Satellite System, mais que o navegar*, InfoGPS, Ano 1, **1**, 38-40.

- BUTLER, D. R., (s.d.), *Visualizing Animal Impacts on the Landscape: Remote sensing in the geography Classroom*, Department of geography, Southwest Texas State University, U.S.A.
- BUTLER, Z., CORKE, P, PETERSON, R., RUS, D. 2004, *Networked Cows: Virtual fences for Controlling Cows*, (URL: <http://citeseer.ist.psu.edu/cache/papers/cs/33124/httpzSzzSzcmcs.dartmouth.edu/zSzcmczSzpaperszSzzSz.zSzbutler:virtualfence2.pdf/butler04networked.pdf>, consulta em 14-07-2007).
- CABOT, P.E., PIERCE, F.J., NOWAK, P., KARTHIKEYAN, K.G., 2006, Monitoring and Predicting Manure Application Rates using Precision Conservation Technology, *Journal of Soil and Water Conservation* , September, 1 [Online] (URL: http://www.accessmylibrary.com/coms2/summary_0286-28820592_ITM, consulta em 17-09-2009).
- CALMIT – Center for Advanced Land Management Information Technologies, 2006, *Land Surface Characteristics*, University of Nebraska-Lincoln (URL: <http://www.calmit.unl.edu/>, consulta em 19-10-2008).
- CARDOSO, P., CORREIA, M. 1999, *Aplicação de dados de detecção remota em ecologia*, ESIG'99, V Encontro Nacional de Sistemas de Informação Geográfica (URL: www.cea.uevora.pt/umc/pdfs/AplicRemotEcol_ESIG99.pdf, consulta em 13-06-2007).
- CFIA - Canadian Food Inspection Agency, 2009, *The Canadian Animal Health Surveillance Network (CAHSN)*, (URL: <http://www.inspection.gc.ca/english/anima/surv/cahsnrscsze.shtml>, consulta em 24-08-09).
- CHHABRA, A., MANJUNATH K. R., PANIGRAHY, S., PARIHAR, J. S., 2009, *Spatial pattern of methane emissions from Indian livestock*, Current Science [Online], Vol. 96, 5, 10 March (URL: <http://www.ias.ac.in/currensci/mar102009/683.pdf>, consulta em 21-09-2009).
- CONANT, R. T., NGUGI, M. K., 2004, *Does grazing impact light-use-efficiency in pastures?*, Colorado State University, Natural Resource Ecology Laboratory, Fort Collins (URL: <http://www.nrel.colostate.edu/projects/agecosys/pubs.php>, consulta em 20-6-2007).
- CONANT, R. T., 2005, *Remote Sensing and Grassland Management*, NREL Agroecosystems Research Group (URL: <http://www.nrel.colostate.edu/projects/agecosys/insider/vigview.php?action=2&field=3&titleid=29>, consulta em 03-07-2008).
- CONANT, R. T., BOONE, R. B., NGUGI, M. K., 2005, *Remote sensing and ecological modeling for assessing C sequestration in semiarid grasslands soils*, (URL: <http://www.nrel.colostate.edu/projects/agecosys/insider/vigview.php?action=2&field=4&titleid=57>, consulta em 03-07-2008).

- COVEY, R. J., 1999, *Remote Sensing in Precision Agriculture: An Educational Primer*, Section 4 (URL: <http://www.amesremote.com/section4.htm>, consulta em 19-01-2006).
- CSC NOAA - Coastal Services Centre, National Oceanic and Atmospheric Administration, 2008, *About LiDAR Data* (URL: <http://www.csc.noaa.gov/products/sccoasts/html/tutlid.htm>, consulta em 24-10-2008).
- CSIRO, 2000, *Mapping methane emissions from livestock in Atmosphere* – Newsletter of CSIRO Atmospheric Research, Issue 9, (URL: <http://www.cmar.csiro.au/e-print/open/AtmosphereOct2000.pdf>, consulta em 19-01-2006).
- CRISTÓBAL, J., NINYEROLA, M., PONS, X., POYATOS, R., LLORENS, P., 2007, *Estimating actual evapotranspiration by means of Remote Sensing data and Sap Flow measurements in Pinus sylvestris forest stands in a Mediterranean mountain region*, Autonomous University of Barcelona, Institute of Earth Sciences – CSIC, Barcelona (URL: http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=4423535, consulta em 15-04-2008).
- DATA DISCOVERY, 2003, *Geostationary Satellites* (URL: http://www.newmediastudio.org/DataDiscovery/Hurr_ED_Center/HurricaneScience.html, consulta a 17-07-2007).
- DATT, B., MCVICAR, T. R., VAN NIEL, T. G., JUPP, D. L. J., 2003, Preprocessing EO-1 Hyperion Hyperspectral Data to Support the Application of Agricultural Indexes, *IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing*, Vol. 41, 6, 1246-1259 (URL: http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=1220232, consulta em 25-05-2008).
- DAVENHALL, B., 2007, *Access to Better Information for Public Health*, ESRI (URL: http://www.esri.com/news/arcuser/0405/umbrella_30.html, consulta em 08-11-2008).
- DEFRA – Department for Environment Food and Rural Affairs, 2009, *Veterinary surveillance: The RADAR Project*, (URL: <http://www.defra.gov.uk/animalh/diseases/vetsurveillance/radar/project.htm>, consulta em 24-08-09).
- DE HAAN C., STEINFELD H., BLACKBURN H., 1996, *Livestock & the Environment: Meeting the challenge*, FAO Corporate Documentary Repository, Agriculture Department, (URL: <http://www.fao.org/docrep/x5304e/x5304e01.htm#livestock%20&%20the%20environment>, consulta em 27-04-2005).

- DI BELLA, C. *et al.*, 2004, *Remote sensing capabilities to estimate pasture production in France*, International Journal of Remote Sensing, Volume 25, **23**, 5359 – 5372 [Online] (URL: http://www.intacya.org/pages/Pagina%20TySIG/articulos/2004-IJRS-25_23_11-Di%20Bella%20et%20al.pdf, consulta a 23-11-2008).
- DI FRANCESCO, C., IPPOLITI C., DI PASQUALE A., DI GIANVITO F., SAVINI L., CONTE A., FIORE G., 2006, A WEB-GIS Monitoring Animal Welfare during Long Journeys, *Veterinaria Italiana*, 43, **3**, 753-759 [Online] (URL: http://www.izs.it/vet_italiana/2007/43_3/753_759.pdf, consulta em 26-08-2008).
- DPI&F-Department of Primary Industries and Fisheries, 2004, *Precision farming in the northern grains region using remote sensing to improve crop management*, Queensland Department, Australia (URL: <http://www2.dpi.qld.gov.au/fieldcrops/16959.html>, consulta em 18-07-2007).
- DURR, P., 2006, *Geographical Information and Animal Health Surveillance Systems*, GIS Application in Surveillance Activities, 1st OIE International Conference, Abstract Book.
- EC, 2008, *Update on recent price developments in EU-27 agriculture and food retail*, Economic analysis of EU agriculture, Directorate G. Economic analysis, Perspectives and Evaluations, Directorate-General for Agriculture and Rural Development, Brussels (URL: http://ec.europa.eu/agriculture/analysis/markets/food05_2008_en.pdf, consulta em 14-03-2009).
- EDEN - Everglades Depth Estimation Network, 2008, *EDEN for Support of Biological and Ecological Assessments*, *Evapotranspiration data*, (URL: <http://sofia.usgs.gov/eden/evapotrans.php>, consulta em 24-10-2008).
- EOC CSIRO – EARTH OBSERVATION CENTER, COMMONWEALTH SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH ORGANISATION, 2004, *An Overview Of Hyperspectral Remote Sensing*, (URL: <http://www.eoc.csiro.au/>, consulta em 25-10-2008).
- EMPRES, 2009, *Public release of the EMPRES Global Animal Disease Information System (EMPRES-i) website*, Transboundary Animal Diseases, Bulletin n.33 (URL: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/011/i0919e/i0919e00.pdf>, consulta em 23-08-09).
- EARTH OBSERVATORY - NASA, 2000., *Measuring Vegetation (NDVI and EVI)* (URL: http://earthobservatory.nasa.gov/Library/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.html, consulta em 19-10-2008).
- EARTH OBSERVATORY - NASA, 2004, *SeaWiFS Project* (URL: http://earthobservatory.nasa.gov/images/imagerecords/4000/4982/Gulf_of_Mexico.OSWA2004312_lrg.jpg, consulta em 21-10-2008).

- EARTH OBSERVATORY – NASA, 2009, *Global Maps* (URL: <http://earthobservatory.nasa.gov/GlobalMaps/> , consulta em 16-02-2009).
- ERDENETUYA, M. KHUDULMUR, S. (s.d.) *Land cover change and pasture estimation of Mongolia from space*. (URL: <http://www.gisdevelopment.net/application/environment/conservation/envc0002pf.htm> consulta em 17-06-2007).
- ERDENETUYA, M., ERDENETSETSEG, B., 2004, *Pasture Biomass Monitoring Using NOAA, MODIS and FY-2C Satellites Data*, (URL: <http://www.aars-acrs.org/acrs/proceeding/ACRS2008/Papers/TS%2031.4.pdf>, consulta em 24-07-2008).
- ESA, 2007, *How to build up a constellation of 30 navigation satellites, Galileo Navigation* (URL: http://www.esa.int/esaNA/ESAAZZ6708D_galileo_0.html consulta em 26-07-2007).
- ESA, 2009, *GMES/Sentinels – The mission, Spacecraft Operations* (URL: http://www.esa.int/SPECIALS/Operations/SEM98Z8L6VE_0.html consulta em 28-08-09).
- ESRI, 2008, *Precision Agriculture and GIS, Industries, GIS for Agriculture, Precision Farming* (URL: <http://esri.com/industries/agriculture/business/precision.html> consulta em 08-11-2008).
- ESRI, 2009, *Soluções agronómicas, Agricultura de precisão* (URL: http://www.deere.pt/pt_PT/agriculture/ams/index.html consulta em 02-06-2009).
- ESTRADA-PEÑA, A., 2006, *Geographically restricted correlation between NDVI signal and seasonal activity patterns of the tick boophilus microplus in the neotropics, Importance of GIS for animal diseases and zoonoses monitoring, Abstract Book*.
- EZENWA, V. O., 2003, Interactions among host diet, nutritional status and gastrointestinal parasite infection in wild bovids, *International Journal for Parasitology*, vol. 34, 535–542 (URL: http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MIimg&_imagekey=B6T7F-4B8B360-2-26&_cdi=5057&_user=2975290&_orig=search&_coverDate=03%2F29%2F2004&_sk=999659995&_view=c&_wchp=dGLbVtz-zSkWz&_md5=375c89e1a2da00bd972a2aa924482da9&_ie=/sdarticle.pdf, consulta em 21-04-2008).
- FAO, 1997, *Long-Term Scenarios of Livestock-Crop-Land Use Interactions in Developing Countries*, FAO Land And Water Bulletin, 6, Rome [Online] (URL: <http://www.fao.org/docrep/w5146e/w5146e00.htm>, consulta em 16-06-2006).

- FAO, 2005, *Aplicación de los Sistemas de Información Geográficos en la epidemiología de fiebre aftosa en la Argentina*, Oficina regional para América Latina y el Caribe, Santiago, Chile (URL: <http://www.rlc.fao.org/prior/segalim/animal/sig/pdf/SIG.pdf>, consulta em 27-06-2007).
- FAO, 2006, *Livestock Report 2006* [Online], (URL: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/a0255e/a0255e.pdf>, consulta em 12-07-2009).
- FAO, 2007, *The State of the World's Animal Genetic Resources for Food and Agriculture*, ed. Barbara Rischkowsky & Dafydd Pilling, Rome [Online], (URL: http://books.google.pt/books?id=Skpj197tU0oC&pg=PA142&lpg=PA142&dq=trends+meat+consumption+2050&source=bl&ots=P26P9sCEUJ&sig=EaVFqC9q6pJYGwUNtN4yTq875OY&hl=pt-PT&ei=QUakSsn-OpGNjAfV9MzucQ&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=1#v=onepage&q=trends%20meat%20consumption%202050&f=false, consulta em 21-08-2009).
- FAO, 2009a, Sistema de Información Geográfica para la Asistencia en la Vigilancia Epidemiológica de la Influenza Aviar, basado en el riesgo, *Producción y Sanidad Animal*, 37-41 (URL: <http://www.fao.org/docrep/012/i0943s/i0943s00.htm>, consulta em 17-08-2009).
- FAO, 2009b, *Tracking disease movement through wild bird surveillance and satellite telemetry*, Avian Influenza, Agriculture Department, Animal Production and Health Division (URL: http://www.fao.org/avianflu/en/news/mongolia_press.html, consulta em 18-08-2009).
- FAVA, F., COLOMBO, R., BOCCHI, S., MERONI M., SITZIA M., FOIS, N., ZUCCA, C., 2009, Identification of hyperspectral vegetation indices for Mediterranean pasture characterization, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, **11**, 233–243.
- FIORE G., BISHOP J., HOFHERR J., SOLINAS I.L., RUOTOLO E., MAINETTI S., FERRETTI R., FERRETTI M., FERRETTI P., BONAVITACOLA F., 2006, *An example of an independent recording system on animal in road transportation*, Importance of GIS for animal diseases and zoonoses monitoring, Abstract Book.
- FISHER, J. I., MUSTARD, J. F., 2004, High spatial resolution sea surface climatology from Landsat thermal infrared data, *Remote Sensing of Environment*, 293–307.
- FITZMAURICE, P., L., 2006, *Geospatial Field Applications within USDA Veterinary services* GIS Application in Surveillance Activities, Abstract Book.

- FLEISCHHEUR, E., BAYER, W., LOSSAU, A. VON, 1998, *Assessing and monitoring environmental impact and sustainability of animal production* (URL: <http://www.fao.org/WAIRDOCS/LEAD/X6149E/X6149E00.HTM>, consulta em 24-05-2007).
- FLEMING R., MUELLER T.G., STOMBAUGH T.S., SHEARER S.A., TARABA J.L, 2001, Optimization of Animal Nutrient Application for Reduced Environmental Loading Using GIS, The Society for Engineering in Agricultural, Food and Biological Systems, ASAE Meeting Presentation, paper number 01-1014 (URL: <http://www.bae.uky.edu/~precag/PrecisionAg/Reports/GIS%20Nutrient%20Management.pdf>, consulta em 30-07-2007).
- FLEMING, R, LONG, J., 2002, Animal Waste Management – Measuring the cost of restricting access to cropland for manure nutrient management, *Agronomy Journal*, Vol. 94 January-February, 57-64 [online] (URL: <http://agron.sciijournals.org/cgi/reprint/94/1/57.pdf>, consulta em 10-08-2009).
- FRIEDRICH-LOEFFLER-INSTITUT-FLI, 2005, *GIS – Geographical Information Systems*, Institute of Epidemiology (URL: <http://www.fli.bund.de/199+M52087573ab0.html>, consulta em 26-08-2007).
- FRISINA, V. A., ESCOBEDO, J. F., GOMES, E. N., 2003, *Estimativa da Radiação Fotossinteticamente Activa (PAR) em Estufa de Polietileno*, Dept. Recursos Naturais, Faculdade de Ciências Agrônomicas – UNESP, São Paulo (URL: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000022000000200056&lng=en&nrm=iso, consulta em 10-05-2006).
- GANSKOPP, D. CRUZ, R., JOHNSON, D. E., 2000; Least-effort Pathways?: a GIS analysis of livestock trails in rugged terrain, *Applied Animal Behaviour Science* (URL: <http://oregonstate.edu/dept/EOARC/researchhome/documents/436.pdf>, consulta em 02-07-2007).
- GANSKOPP, D.C., 2001, Manipulating Beef Cattle Distribution With Salt And Water In Large Arid-Land Pastures: A GPS/GIS Assessment, *Applied Animal Behavior Science*, **73**, 251-262 (URL: http://www.ars.usda.gov/research/publications/publications.htm?SEQ_NO_115=120928, consulta em 23-01-2006).
- GANSKOPP, D., 2002, Tracking movement of cattle with satellites, *Agricultural Research magazine* (URL: <http://www.ars.usda.gov/is/AR/archive/aug02/cattle0802.htm>, consulta em 05-05-2007).
- GARNER, M.G., HESS G.D., YANG X., 2006, An integrated modelling approach to assess the risk of wind-borne spread of foot-and-mouth disease virus from infected premises, *Environmental Modeling & Assessment*, **11**, 195-207 (URL:

- <http://www.springerlink.com/content/c38821r78qw331j5/>, consulta em 02-05-2009).
- GEERS R., SAATKAMP, H. W., GOOSSENS, K., VAN CAMP, B., GORSSEN, J., ROMBOUITS G, VANTHEMSCHE P., 1998, TETRAD: an on-line telematic surveillance system for animal transports, *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 21, Issue 2, 107-116.
- GEO (GROUP ON EARTH OBSERVATIONS), 2007, *Report from the Workshop on Developing a Strategy for Global Agricultural Monitoring in the framework of Group on Earth Observations*, 16-18 July, FAO, Rome (URL: http://www.earthobservations.org/documents/cop/ag_gams/200707_01/20070716_geo_igol_ag_workshop_report.pdf, consulta em 13-03-2008).
- GISDEVELOPMENT, 2007, *Remote Sensing: an introduction*, (URL: <http://www.gisdevelopment.net/tutorials/tuman008.htm>, consulta em 02-03-2008).
- GLOBAL LIVESTOCK CRSP, 2003, *Annual Report* (URL: http://glcrsp.ucdavis.edu/publications/ar03/glcrsp_annual_report_03.pdf, consulta em 25-08-2009).
- GMES, 2009, *GSE Land Information Service* (URL: <http://www.gmes-gseland.info/index.php>, consulta em 25-08-09).
- GONG, P., PU, R., BIGING G. S & LARRIEU, M. R., 2003, Estimation of Forest Leaf Area Index Using Vegetation Indices Derived from Hyperion Hyperspectral Data, *IEEE Transactions on Geoscience And Remote Sensing*, 41, 6, June (URL: http://eo1.gsfc.nasa.gov/new/validationReport/Technology/Documents/Tech_Val.Report/Science_Summary_Gong.pdf, consulta em 04-04-2008).
- GOVERNMENT TECHNOLOGY, 2005, *Department of Agriculture Taps GIS to Contain Diseases in Animals* (URL: <http://www.govtech.com/gt/articles/94132>, consulta em 23-08-2007).
- GRIFFIN, T.W, EVANS, S.P., OSWALD D.R., 2002, *Utilizing Precision Farming Technologies To Implement And Monitor Management Intensive Grazing Systems* in proceedings of the 6th International Conference on Precision Agriculture ASA/CSSA/SSSA Madison, WI (URL: <http://www.aragriculture.org/precisionag/research/research.htm>, consulta em 19-09-2009).
- GYGAX L., NEISEN, G., BOLLHALDER, H., 2007, Accuracy and validation of a radar-based automatic local position measurement system for tracking dairy cows in free-stall barns, *Computers and Electronics in Agriculture*, 56, 23-33 (URL: http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6T5M-4MWWGYC8-2&_user=10&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&_docanchor=&_view=c

& searchStrId=1103150619& rerunOrigin=google& acct=C000050221& version=1& urlVersion=0& userid=10&md5=b9f75fa47291afc39ab7dee15977fe0a, consulta em 14-07-2008).

- HAAN, CEES DE, STEINFELD, H., BLACKBURN, H., 1996, *Livestock & the Environment Interactions – Issues and Options* (URL: <http://www.fao.org/docrep/x5305e/x5305e00.HTM>, consulta em 21-05-2006).
- HABOUDANE, D., MILLER, J. R., TREMBLAY, N., ZARCO-TEJADA, P., DEXTRAZE, L., 2002, Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture, *Remote Sensing of Environment*, **81**, 416– 426 (URL: http://quantalab.ias.csic.es/pdf/paper_RSE_driss.pdf, consulta em 15-09-2007).
- HANCHETTE, C. L., GIBBS, D. A., GILLIAM, A., FOGARTY, K. J., BRUHN, M., 2005, A national, geographic database of CDC-funded HIV prevention services: development challenges and potential applications, *International Journal of Health Geographics*, **4**, 28 (URL: <http://www.ij-healthgeographics.com/content/4/1/28>, consulta em 24-05-2008).
- HATFIELD, J. et al., KUSTAS, W., 2004, *Remote sensing of Dryland Crops*, Remote Sensing for Natural Resources Management and Environmental Monitoring, Manual of Remote Sensing, 3 ed., Vol 4, 531 – 568, ed. Susan Ustin.
- HATFIELD, J. L., GITELSON, A. A., SCHEPERS, J. S., WALTHALL, C. L., 2008, *Application of Spectral Remote Sensing for Agronomic Decisions*, Celebrate the Centennial A Supplement to Agronomy Journal, 117-131.
- HILL, M. J., 2004, *Grazing Agriculture: Managed Pasture, Grassland, and Rangeland*, Remote Sensing for Natural Resources Management and Environmental Monitoring, Manual of Remote Sensing, 3 ed., Vol. 4, ed Susan Ustin.
- HILL, M. J., DONALD, G. E., HYDER, M., W., SMITH, R., C., G., 2004, Estimation of pasture growth rate in the south west of Western Australia from AVHRR NDVI and climate data, *Remote Sensing of Environment*, **93**, 528-545 (URL: http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V6V-4DBX7MM-1&_user=10&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&_docanchor=&_view=c&_searchStrId=1103159416&_rerunOrigin=scholar.google&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=d0a09730ea71881af985844326f66ee5, consulta em 20-05-2007).
- HOLTON, C. W. 2000, *Farming from a new perspective: Remote sensing comes down to Earth* (URL: <http://ehp.niehs.nih.gov/docs/2000/108-3/innovations.html>, consulta em 16-03-2006).

- HONORATO, C., MONTEIRO, S., 2001, *Portugal vai ter uma rede DGPS (Differential GPS) in Hidromar – Boletim Informativo do Instituto Hidrográfico*, **68**, 2ª série, 1-3.
- HOTGROUP, 2007, (URL: <http://www.hotgroup.co.za>, consulta em 28-08-09).
- IGOL, 2006, *AGRICULTURAL MONITORING MEETING CONVENED FOR THE INTEGRATED GLOBAL OBSERVATIONS FOR LAND (IGOL) THEME*, 8-11 March, Rome, Italy (URL: http://www.fao.org/gtos/igol/docs/meeting-reports/ag-IGOL-meeting-report_v10.pdf consulta em 14-01-2008).
- INFOPÉDIA, 2008, *O Espectro Electromagnético*, Porto Editora, 2003-2008 (URL: [http://www.infopedia.pt/\\$espectro-electromagnetico](http://www.infopedia.pt/$espectro-electromagnetico), consulta em 31-10-2008).
- JIANG, L., YAN X.-H, KLEMAS, V., 2009, Remote sensing for the identification of coastal plumes: case studies of Delaware Bay, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 30, **8**, 2033–2048 [Online] (URL: http://pdfserve.informaworld.com/24911_778384746_910861671.pdf, consulta em 25-08-2009).
- JOHNSON, M., SHEEHY, C., HARRIS, N., CLARK, P., GANSKOPP, D.C., LOUHAICHI, M. 2007, *Classification of cattle activity based upon high frequency spatial positioning* [abstract]. Society for Range Management Meeting Abstracts. Paper No.221 (URL: http://www.ars.usda.gov/research/publications/publications.htm?seq_no_115=213599, consulta em 14-07-2007).
- JOHNSTON, A.M., WOLF, T. M., 2001, *Use of GPS to Address Environmental Issues in Agriculture*, Potash and Phosphate Institute of Canada, Saskatoon, SK & Agriculture and Agri-Food Canada, Research Centre, Saskatoon, SK (URL: [http://www.ipni.net/ipniweb/portal.nsf/0/08d98cf0f39a0d57852572e2004cf6be/\\$FILE/IPNI%202007%20Annual%20Report.pdf](http://www.ipni.net/ipniweb/portal.nsf/0/08d98cf0f39a0d57852572e2004cf6be/$FILE/IPNI%202007%20Annual%20Report.pdf) consulta em 13-02-2007).
- JULIÃO, R. P., 2006, O Sistema Nacional de Informação Geográfica (SNIG) in *Informática*, EXPRESSO, 12-13.
- KAPLAN, S., ORLOVSKY, L., BLUMBERG, D. G., MAMEDOV, E., 2006, *Assessment of pasture degradation in Turkmenistan using remote sensing*, Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology VI. Edited by Ehlers, Manfred; Michel, Ulrich. Proceedings of the SPIE, Vol. 6366,(URL: <http://spiedl.aip.org/getabs/servlet/GetabsServlet?prog=normal&id=PSISDGO06366000001636603000001&idtype=cvips&gifs=yes>, consulta em 23-07-2009).
- KAYE, M. W., 2003, *Confronting terrorism – Protecting Pennsylvania’s Animal Herds*, *Penn State Outreach* (URL:

- http://www.outreach.psu.edu/News/Magazine/Vol_6.1/herds.html, consulta em 15-03-2007).
- KOOSTRA, B. K., AGOURIDIS, C. T., WORKMAN, S. R., 2003, *Analysis of GPS Position Data of Beef Cattle*, Biosystems and Agricultural Engineering, University of Kentucky (URL: <http://gis2.esri.com/library/userconf/proc03/p0487.pdf> consulta em 07-08-2007).
- KUMPULA, J.; COLPAERT, A., FIELITZ, U. 2001, *GPS Tracking and Spatial Data as a Method for Studying the use of Pasture by Reindeer*, Tracking Animals with GPS (URL: http://www.macaulay.ac.uk/gps/gps_abstract_2001.pdf consulta em 10-07-2007).
- LIEW, S. C., 2001, *Principles of Remote Sensing in Space View from Asia*, CD-ROM 2nd Ed., Centre for Remote Imaging, Sensing and Processing, National University of Singapore (URL: <http://www.crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/rsmain.htm> consulta em 28-07-2007).
- LITTLE, K., 2003, *Foot and Mouth Disease (FMD) DEM based GIS – Application Proof of Concept*, [DEFRA, Institute of Grassland and Environmental Research – (IGER) and Intermap Technologies, Inc.] (URL: <http://www.intermap.com/uploads/1170361510.pdf> consulta em 14-03-2008).
- LOBELL, D. B., ASNER, G. P., 2003, *Comparison of Earth Observing-1 ALI and Landsat ETM+ for Crop Identification and Yield Prediction in Mexico*, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 41, 6, June (URL: <http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/login.jsp?url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fstamp%2Fstamp.jsp%3Ftp%3D%26isnumber%3D%26arnumber%3D1220235&authDecision=-203> consulta em 10-08-2008).
- MANFRON, P. A., NETO, D., D., PEREIRA, A. R., GARCIA, R. A., BONNECARRÈRE, SANDRO LUIS PETTER MEDEIROS, S. L. P E PILAU, F. G., 2003, Modelo do índice de área foliar da cultura de milho, *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 11, 2, 333-342 (URL: <http://br.monografias.com/trabalhos900/modelo-indice-milho/modelo-indice-milho.shtml> consulta em 05-10-2008).
- MARONEY, S. A., FREIER, J. E., 2007, *Controlling Livestock Diseases with the Help of an Internet Map Server*, U.S. Department of Agriculture, Animal and Plant Health Inspection Service Centers for Epidemiology and Animal Health Fort Collins, CO (URL: <http://gis.esri.com/library/userconf/proc01/professional/papers/pap602/p602.htm> consulta em 15-10-2008).
- MCNAIRN, H., et al., 2008, *Integration of optical and Synthetic Aperture Radar (SAR) imagery for delivering operational annual crop inventories*, ISPRS Journal of

- Photogrammetry & Remote Sensing [Online] (URL: http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MIimg&_imagekey=B6VF4-4TK7X7K-1-V&_cdi=6000&_user=2975290&_orig=search&_coverDate=10%2F02%2F2008&_sk=999999999&_view=c&_wchp=dGLbVtz-zSkzk&md5=681333e72f64a7df2689e9873ae57101&ie=/sdarticle.pdf, consulta em 28-08-2009).
- MCNEILL, J., MCPHEE, J., AIRD, P., 2009, *Controlled Traffic Farming – Managing the Impacts of Field Traffic and Tillage*, Tasmanian Department of Primary Industries, Parks, Water and Environment; Tasmanian Institute of Agricultural Research (URL: http://www.asssi.asn.au/downloads/tas/McNeill_etal.pdf, consulta em 21-09-09).
- MELESSE, M; WENG, Q.; THENKABAIL, P., S.; SENAY, G., B.; 2007; *Remote Sensing Sensors and Applications in Environmental Resources Mapping and Modelling*, Molecular Diversity Preservation International MDPI, Sensors, **7**, 3209-3241 (URL: <http://www.mdpi.org/sensors/papers/s7123209.pdf>, consulta em 14-09-2008).
- MERINO, P., DEL HIERRO, O., ARTETXE A., GONZÁLEZ-LÓPEZ N., PINTO M., 2008, *Livestock methane emission: a regionalised inventory from The Basque Country*, Proceedings of the International Conference on Sustainable Agriculture for Food, Energy and Industry, Japan, Ed. ICSA2008 Conference Office (URL: <http://www.agr.hokudai.ac.jp/ICSA08/framepage1.html>, consulta em 13-04-2008).
- MOORE, JR, P. A., JOERN, B. C., EDWARDS, D. R. WOOD, C. W., DANIEL, T. C., s.d. *Effects of Manure Amendments on Environmental and Production Problems*, White Papers Summaries, National Center for Manure and Animal Waste Management (URL: http://www.cals.ncsu.edu/waste_mgt/natlcenter/whitepaperssummaries/effects.pdf consulta em 26-06-2008).
- MUELLER, T. G., BARNHISEL, R. I., SHEARER, S. A., 2000, *Precision Agriculture Opportunities for Kentucky: Agronomic Research at UK*, UK Department of Agronomy Research Report, Mike Barret Editon (URL: http://www.bae.uky.edu/precag/PrecisionAg/Reports/PA_opport_inKY.htm, consulta em 23-07-2007).
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1997, *Precision Agriculture in the 21st Century – Geospatial and Information Technologies in Crop Management* [Online] (URL: http://books.google.pt/books?id=j7g6urkxXEC&dq=precision+agriculture&printsec=frontcover&source=bl&ots=HGwLa6ZMc9&sig=QNp5S9PVqHsUx9UpphhxgNBa0&hl=pt-PT&ei=2ZK3SvrFNZWI4gbT8JR9&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=8#v=onepage&q=&f=false, consulta em 17-07-2009).

- NGUGI, M. K., CONANT, R. T., 2003, *Remote sensing of grazing intensity: case studies in the short and midgrass steppes* (URL: <http://www.nrel.colostate.edu/projects/agecosys/insider/vigview.php?action=2&titleid=58> consulta em 23-06-2008).
- OECD, 2004, *Agriculture, Trade and Environment: The Pig Sector* [Online] (URL: <http://books.google.pt/books?id=vNcViYcUltMC&printsec=frontcover#v=onepage&q=&f=false> consulta em 12-09-2008).
- OIE - Office International des Epizooties, 2009, *Animal Diseases Data* (URL: http://www.oie.int/eng/maladies/en_classification2009.htm?e1d7 consulta em 23-08-2009).
- PASTURES FROM SPACE, 2003, *Pasture Quality*, (URL:http://www.pasturesfromspace.csiro.au/pasture_quality.htm consulta em 26-06-2007).
- PASTURES FROM SPACE, 2006, *Pastures Growth Rate*, (URL: <http://www.pasturesfromspace.csiro.au/PGR.htm>, consulta em 26-06-2007)
- PFEIFFER, D., COSTARD, S., STEVENS, K., METRAS, R., THEURI, W., KRUSKA, R., RANDOLPH, T., GRACE, D., HENDRICKX, S., 2009, *Risk Mapping for HPAI H5N1 in Africa Improving surveillance for bird flu*, Overview of the Bird Flu Risk Mapping Project, Early Detection Response and Surveillance of Avian Influenza in Africa (EDRS-AIA), ed. Carole Douglis (URL: http://www.aubiar.org/documents_public/edrsaialLRI_Riskmapping_Overview.pdf consulta em 12-09-2009).
- PONS, L. 2003, *Remote sensing may make forage analysis faster, easier*, ARS (URL: <http://www.ars.usda.gov/is/pr/2003/030724.htm> consulta em 23-08-2008).
- PRECISION MANAGEMENT SERVICES, 2005, (URL: <http://www.agronomytech.com/gpsgrid.htm>, consulta em 07-08-2007).
- RAFFENSPERGER, L., 2008, *Livestock Sector Drives Increasing Water Pollution*, Earth Trends, World Resources Institute (URL: <http://earthtrends.wri.org/updates/node/279>, consulta em 12-07-2009).
- REICHARDT, M., JURGENS C., 2008, *Adoption and future perspective of precision farming in Germany: results of several surveys among different agricultural target groups*, Precision Agriculture, Vol.10, 74-93 [Online] (URL: <http://www.springerlink.com/content/2673172403302058/fulltext.pdf>, consulta em 14-06-2009).
- REISEN, W., 2005, *Integration of Remote Sensing into Encephalitis Virus Intervention Decision Support Systems*, Research Opportunities in Space and Earth Science (ROSES-2005) (URL: <http://nasascience.nasa.gov/earth-science/applied->

- [sciences/solicitations/ROSES-DecisionsA24Selections06.pdf](#), consulta em 16-07-2009).
- SARKAR, C., BHATTACHARYA, B. K.; GADGIL, A.; MALLICK, K.; PATEL, N. K.; PARIHAR, J. S., 2008, *Estimation of relative evapotranspiration from NOAA PAL to derive growth*, International Journal of Remote Sensing, 29:11, 3271-3293 (URL: <http://dx.doi.org/10.1080/01431160701442112>, consulta em 24-10-2008).
- SAVINI, L. WEISS, C., COLANGELI, P., CONTE, A., IPPOLITI, C., LELLI, R. SANTUCCI, U., 2007, *A web-based geographic information system for the management of animal disease epidemics,* Veterinaria Italiana [Online, 43 (3), 761-772 (URL: http://www.izs.it/vet_italiana/2007/43_3/761_772.pdf, consulta em 10-09-2009).
- SCHELLBERG J., HILL, M. J., GERHARDS R., ROTHMUND M., BRAUN, M., 2008, Precision agriculture on grassland: Applications, perspectives and constraints, *European Journal of Agronomy*, **29**, 59–71.
- SEELAN, S.K., LAGUETTE. S., CASADY, G. M., SEIELSTAD, G. A. 2003, *Remote Sensing applications for precision agriculture: A learning community approach*, *Remote Sensing of Environment*, 157-169.
- SERRANO, J. M., PEÇA, J. O., PALMA, P., CRESPO, D., CARVALHO, M., SILVA, J. R., MENDES, J., ROMA, J., NOVAS, C., 2005, *Agricultura de Precisão: o primeiro ano de gestão da fertilidade do solo em pastagens*, Revista Portuguesa de Zootecnia, ano/vol. XII, **2**, Associação Portuguesa dos Engenheiros Zootécnicos, Vila Real, Portugal, 1-14.
- SHORT, N. M; 2007a, *Remote Sensing Tutorial*, National Aeronautics and Space Administration – NASA; Reference Publication 1078, Library of Congress Catalog Card No. 81-600117 [online] (URL: <http://rst.gsfc.nasa.gov>, consulta em 13-09-2008).
- SHORT, N. M, 2007b, *Remote Sensing Tutorial*, Vegetation Applications: Agriculture, Forestry and Ecology, General Principles for Recognizing Vegetation, National Aeronautics and Space Administration – NASA (URL: http://rst.gsfc.nasa.gov/Sect3/Sect3_1.html, consulta em 25-05-2007).
- SIC - SATELLITE IMAGING CORPORATIO, 2008, *Characterization of Satellite Remote Sensing Systems* (URL: <http://www.satimagingcorp.com/characterization-of-satellite-remote-sensing-systems.html>, consulta em 10-10-2008).
- SIMÕES, M. P., PINTO-CRUZ, C., BELO, A. F., FERREIRA, L. F., NEVES, J. P. & CASTRO, M. C., 2007, *Utilização de fotografia hemisférica na determinação do índice de área foliar de oliveiras jovens (Olea europaea L.)* in Revista de Ciências Agrárias, vol. XXX(1), Dep. Biologia e Dep.Planeamento Paisagístico da Universidade de Évora

- SOVZOND, 2007, *Satellite Imagery*, (URL: <http://www.sovzond.ru/en/>, consulta em 10-10-2008).
- STABILE, M.C.C, BALASTREIRE, L. A., 2006, *Comparação de três receptores GPS para uso em agricultura de precisão*, in Eng. Agríc. Jaboticabal, v.26, 1, 215-223, Jan/Abr (URL: <http://www.scielo.br/pdf/eagri/v26n1/30113.pdf>, consulta em 01-05-2008).
- STARKS P. J., COLEMAN S. W., PHILLIPS W. A., 2004, *Determination of Forage Chemical Composition Using Remote Sensing*, Rangeland Ecology & Management 57(6):635-640 (URL: <http://www.jstor.org/pss/4004021>, consulta em 03-01-2007).
- STELZER, A., POURVOYEUR, K., FISCHER A., 2004, *Concept and Application of LPM— A Novel 3-D Local Position Measurement System*, IEEE Transactions on Microwave Theory & Techniques, Vol. 52 Issue 12, 2664-2669.
- STEINFELD, H., GERBER, P., WASENAAR, T., CASTEL, V., ROSALES, M., DE HAAN, C., 2006, *Livestock's Long Shadow – Environmental Issues and Options*, LEAD [online] (URL: <http://www.fao.org/docrep/010/a0701e/a0701e00.htm>, consulta em 22-08-2008).
- STEINFELD, H., HOFFMANN, I., 2008, *Livestock, greenhouse gases and global climate change*, In: Proceedings Livestock and Global Climate Change, P Rowlinson, M Steele and A Nefzaoui Eds, Cambridge University Press [Online] (URL: http://www.mashreq-maghreb.org/documents/LGCC_proceedings.pdf, consulta em 10-08-2009)
- SUZUKI, Y., TANAKA, K., KATO, W., OKAMOTO, H., KATAOKA, T., SHIMADA, H. , SUGIURA, T., SHIMA, E., 2008, *Field mapping of chemical composition of forage using hyperspectral imaging in a grass meadow*, [Online] Japanese Society of Grassland Science, *Grassland Science*, 54, pp. 179–188
- TATEM, A. J., BAYLIS, M., MELLOR, P. S. , PURSE, B. V., CAPELA, R., PENA, I., ROGERS, D. J.,. 2003 Prediction of bluetongue vector distribution in Europe and North Africa using satellite imagery, *Veterinary Microbiology*, **97**, 13-29.
- TAYLOR, R. K., 2007, *Integration of Map and Sensor based Precision Agriculture Technologies*, Oklahoma State University (URL: <http://www.reeis.usda.gov/web/crisprojectpages/209674.html>, consulta em 12-05-2009).
- TEEL, P.D; BUSH, B. R., STREY, O. F., LONGNECKER, M. T., 2000, *Development of a Differential Global Positioning System to determine levels of Landscape resource utilization by free-ranging cattle* (URL: <http://ticsys.tamu.edu/entolcra.htm>, consulta em 26-06-2007).

- THOMSON, M. C., CONNOR, S. J., 2000, *Environmental information systems for the control of arthropod vectors of disease*, Medical and Veterinary Entomology, 14, pp. 227-244, Citeseer [Online]
- TOWNSHEND, J.R., LATHAM, J., ARINO, O., BALSTAD, R., BELWARD, A., CONANT, R., ELVIDGE, C., FEUQUAY, J., EL HADANI, D., HEROLD, M., JANETOS, A., JUSTICE, C.O., LIU JIYUAN, LOVELAND, T., NACHTERGAELE, F., OJIMA, D., MAIDEN, M., PALAZZO, F., SCHMULLIUS, C., SESSA, R., SINGH, A., TSCHIRLEY, J. AND YAMAMOTO, H., 2008. *Integrated Global Observations of the Land: an IGOS-P Theme*. IGOL Report No.8, GTOS 54 (URL: <http://www.fao.org/docrep/011/i0536e/i0536e00.HTM>, consulta em 23-01-2009).
- TUELLER, P. T., 2001, *Remote sensing of range production and utilization* (URL: <http://uvalde.tamu.edu/jrm/remote/srmremsens.htm>, consulta em 25-07-2007).
- TULLBERG, J. N., 2008, *Conservation Agriculture, Emissions And Resilience: Opportunities And Dangers*, Proceedings of the FAO/CTIC Conservation Agriculture Carbon Offset Consultation 28-30 October (URL: <http://www.fao.org/ag/ca/carbonconsult.html>, consulta em 23-09-2009).
- UC Davis, 2009, UC DAVIS MOSQUITO RESEARCH RISING TO NEW HEIGHTS, Veterinary Medicine (URL: <http://www.vetmed.ucdavis.edu/whatsnew/article.cfm?id=1604> consulta em 26-08-2009).
- USAHERDS, 2007, *A complete animal health management solution from laboratory testing, to disease eradication* (URL: <http://www.animalhealthsoftware.com/>, consulta em 23-07-2007)
- USGS 2007; Earth Observing 1, EO-1 Website, Sensors, (URL: <http://eo1.usgs.gov/sensors.php>, consulta em 28-08-2007).
- USGS, 2008, *Migratory Connectivity and Seasonal Interactions of Shorebirds as Potential Vectors of Avian Influenza*, Alaska Science Center, Avian Influenza Reserch (URL: http://alaska.usgs.gov/science/biology/avian_influenza/proj_sharp-tailed_sandpipers.html consulta em 17-07-2009).
- USTIN, S. L. (2004), *Remote Sensing for Natural Resource Management and Environment Monitoring*, Manual of Remote Sensing, Third Edition, Vol. 4, ASPRS, John Wiley and Sons Inc., Hoboken, New Jersey.
- WATHES, C., 2007, *Precision Livestock Farming - The application of the principles and techniques of process engineering to livestock farming to monitor, model and manage animal production*, The Royal Veterinary College University of London (URL: [102](http://www.isah-</p>
</div>
<div data-bbox=)

- soc.org/ISAH%202007/PLENARY%20LECTURES-ISAH-2007/Plenary%20lectures-June19.2007/Christopher%20WATHES.pdf, consulta em 28-08-09).
- WATHES, C.M, KRISTENSEN, H.H, AERTS, J.-M., BERCKMANS, D., 2008, *Is precision livestock farming an engineer's daydream or nightmare, an animal's friend or foe, and a farmer's panacea or pitfall?* Computers and Electronics in Agriculture, vol. 64, 2–10.
- WESTERMAN, L. (2001), *Analysing livestock grazing patterns with remote sensing* (URL: <http://www.emporia.edu/earthsci/student/westerman1/webpage.html#Introduction>, consulta em 04-08-2006).
- WHELAN, B.M., 2007, Current status and future directions of PA in Australia. *Proceedings of the 2nd Asian Conference on Precision Agriculture*, Pyeongtaek, Korea, 60-71.
- WHELAN. B., MCBRATNEY, BOYDELL, B., 2007, *The Impact of Precision Agriculture*, Australian Centre for Precision Agriculture, The University of Sidney (URL: <http://www.usyd.edu.au/su/agric/acpa/pag.htm>, consulta em 23-07-2008).
- WORLDWATCH INSTITUTE, 2004, *Is Meat Sustainable*, WorldWatch Magazine, July/August [Online] (URL: <http://www.worldwatch.org/node/549>, consulta em 17-07-2009).
- THURSTON, J. 2002, *GALILEO, GLONASS and NAVSTAR – A report and GPS for GIS people*, GISafe.com (URL: <http://www.integralgis.com/pdf/GALILEO.pdf>, consulta em 03-08-2007).
- TOMKINS, N., FILMER, M., 2007, *GPS Tracking to boost sustainability in Farming Ahead*, 185, June [Online] (URL: <http://www.csiro.au/resources/pfvj.html>, consulta em 01-06-2008).
- WHO, 2005, *Highly pathogenic H5N1 avian influenza outbreaks in poultry and in humans: Food safety implications*, International Food Safety Authorities Network (INFOSAN), INFOSAN Information Note No. 7/2005 (URL: http://www.who.int/foodsafety/fs_management/No_07_AI_Nov05_en.pdf , consulta em 12-07-2009).
- WHO, 2009, *Zoonoses and Veterinary Public Health*, (URL: <http://www.who.int/zoonoses/outbreaks/glews/en/index.html>, consulta em 23-08-09).
- WIKIPÉDIA, 2008; *O Espectro Electromagnético* (URL: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Em_spectrum_properties_edit.svg, consulta a 06-10-2008).

- WU, W., HALL, C. A. S., SCATENA, F., N., QUACKENBUSH, L., J., 2006 Spatial modelling of evapotranspiration in the Luquillo experimental forest of Puerto Rico using remotely-sensed data, *Journal of Hydrology*, **328**, 733– 752.
- YALE UNIVERSITY, 2004, *An Introduction to Remote Sensing and GIS* (URL: http://www.yale.edu/gsp/gis-files/remote_sensing_intro.pdf consulta em 22-09-2008).
- YANG, F., ZHANG, B., WANG, Z. M., SONG K. S., LIU D. W., LIU, H. J., DU, J., DUAN, H. T., 2008, *Corn FPAR Estimating With Near And Shortwave Infrared Bands Of Hyperspectral Data Based On Pca*, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII, Part B7, Beijing.
- ZELLER, L., KELLY, R., 2004, *Precision farming in the northern grains region*, Application of GPS in farming systems (URL: <http://www2.dpi.qld.gov.au/fieldcrops/3170.html>, consulta em 09-07-2007).
- ZIMMERMANN, N. E., WASHINGTON-ALLEN, R. A., RAMSEY, R. D., SCHAEPMAN, M. E., MATHYS, L., KÖTZ, B., KNEUBÜHLER, M., EDWARDS, T. C., 2007, *Modern Remote Sensing for Environmental Monitoring of Landscape States and Trajectories*, 65-91.

ANEXOS

ANEXO 1 - A DETECÇÃO REMOTA

A Detecção Remota (DR) não é mais do que uma forma de obter informação fiável acerca de um objecto, sem estar em contacto físico com ele. Através da observação de um objecto realizada por um dispositivo, separado do objecto por alguma distância, utilizam-se respostas características dos diferentes objectos às emissões de energia electromagnética, medidas num determinado número de bandas espectrais com o objectivo de identificar o objecto (BALASELVAKUMAR, s.d.). A energia electromagnética revela a sua presença através dos efeitos observáveis que produz quando entra em contacto com a matéria (GISDEVELOPMENT, 2008).

O ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

O espectro electromagnético consiste no conjunto de todas as frequências observadas em fenómenos electromagnéticos, que vão desde alguns hertz nas ondas cerebrais beta até aos 100 000 THz da radiação, passando pelas ondas de rádio (longas, médias, curtas e ultracurtas), as microondas, os infravermelhos, a luz visível (segundo a série vermelho, amarelo, verde, azul e violeta) os ultravioleta, os raios X e os raios gama. As ondas mais longas (10^5 até 10^{-3} m) são as ondas de rádio, a seguir vêm as ondas infravermelhas, segue-se a faixa estreita (790 nm a 380 nm) da luz visível, seguida das ondas ultravioletas (10^{-7} a 10^{-9} m), os raios X (10^{-9} a 10^{-11} m) e os raios gama (10^{-11} a 10^{-14} m) (Figura A 1). Em certos domínios da tecnologia, o espectro electromagnético possui um significado mais restrito. Por exemplo, no domínio das telecomunicações engloba apenas as ondas de rádio e microondas, e na óptica refere-se à zona do espectro que vai desde as microondas ou infravermelhos até aos ultravioleta ou raios X (INFOPÉDIA, 2008).

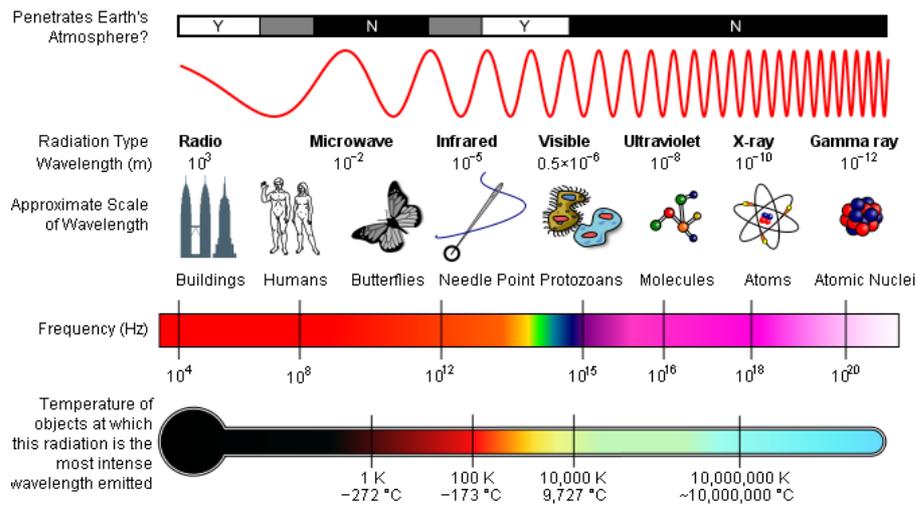


Figura A 1 - Propriedades do espectro electromagnético (WIKIPÉDIA, 2008)

O olho humano apenas detecta a radiação solar que os humanos realmente vêem, que é aquela parte do Espectro Electromagnético (EM) no comprimento de onda dos 0,4 aos 0,7 μ m (Figura A2).

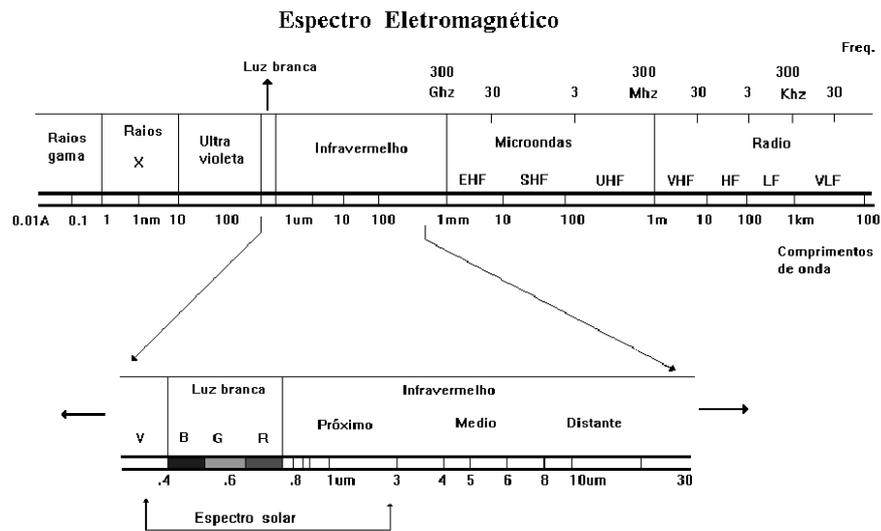


Figura A 2 - Espectro electromagnético (ERBERT, M. 2001)

No entanto a tecnologia da detecção remota permite a detecção de outros comprimentos de onda que atingem ou são emitidos pela superfície da Terra, e até mesmo alguns reflexos da atmosfera terrestre, por exemplo as características

reflectivas das nuvens. Por isso, para fins de visualização, a atribuição de cores falsas, vermelho, verde e azul (RGB) é usada para expressar as características reflectivas de objectos nestes grupos de comprimentos de onda do EM, e a combinação e mistura desta atribuição de falsas cores expressam as verdadeiras características reflectivas de todos os objectos presentes na imagem (YALE UNIVERSITY, 2008).

Quanto à fonte de energia utilizada a DR pode ser passiva, fazendo uso de sensores que detectam a radiação electromagnética reflectida ou emitida a partir de fontes naturais, ou activa, quando essa energia é gerada artificialmente como é o caso do radar. No que respeita às regiões de comprimento de onda utilizadas, pode a DR ser classificada em DR Visível, DR por Infravermelhos Térmicos (DITI – *Digital Infrared Thermal Imaging*) e DR por Microondas (GIS DEVELOPMENT, 2008).

Raios Gama	<0.30 nm	Completamente absorvidos pela camada superior da atmosfera. Não disponíveis para detecção remota
Raios X	0.03 – 30.0 nm	Completamente absorvidos pela atmosfera. Não usados em detecção remota
Raios UV	0.03 – 0.40 μm	Completamente absorvidos pela atmosfera. Não usados em detecção remota
UV Fotográficos	0.30 – 0.40 μm	Não absorvidos pela atmosfera. Detectáveis com sensores de película e fotografia mas grande dispersão atmosférica
Azul Visível	0.45 – 0.52 μm	A água aumenta a absorção de radiação electromagnética a comprimentos de onda maiores, sendo por isso a Banda 1, a mais adequada para fornecer informação para mapas de profundidade/detalhes de áreas cobertas por água
Verde visível	0.50 – 0.60 μm	A zona do azul-verde do espectro corresponde à absorção de clorofila da vegetação saudável e é útil mapear detalhes como a profundidade ou sedimentos em pontos de água. Elementos culturais como estradas e edifícios, ficam bem evidentes nesta banda.
Vermelho Visível	0.60 – 0.70 μm	A clorofila absorve estes comprimentos de onda em vegetação saudável. Assim, esta banda é útil para distinguir espécies de plantas, bem como solos e limites geológicos.
IV Próximo	0.70 – 0.80 μm	O IV Próximo corresponde à região do Espectro Electromagnético especialmente sensível à variação da biomassa da vegetação. Também evidencia os solos/culturas e limites de terra/água
	0.80 – 1.10 μm	O segundo IV Próximo é usado para discriminar vegetação, geada penetrante, e limites de terra/água.
IV Médio	1.55 – 1.74 μm	Esta região é sensível à água contida nas plantas, que é uma medida útil em estudos de sanidade vegetal. Esta banda é também usada para distinguir nuvens, neve e gelo.
IV Médio	2.08 – 2.35 μm	Esta região é utilizada para mapear formações geológicas e limites de solos. Também responde ao teor em humidade das plantas e solo.
IV Médio	3.55 – 3.93 μm	Uma banda térmica que detecta radiação reflectida pelo sol e emitida pela terra, útil para discriminação neve/gelo e detecção de fogos florestais.
IV Térmico	10.40 – 12.50 μ	Esta região do espectro é completamente dominada pela radiação emitida pela terra e ajuda a justificar os efeitos da absorção atmosférica, dispersão e emissão. É útil para a detecção do stress nas plantas, intensidade de calor, aplicações de insecticida, poluição térmica, e mapas geotérmicos. Este canal é vulgarmente utilizado para medir a temperatura à superfície da água.
Microondas/Radar	0.10 – 100 cm	As microondas podem penetrar as nuvens, nevoeiro e chuva. As imagens podem ser adquiridas de modo activo e passivo. A forma activa de detecção remota por microondas é o Radar. As imagens radar podem ser obtidas em bandas com variados comprimentos de onda
TV & rádio	>10 m	É a porção do espectro electromagnético com o maior comprimento de onda

Tabela A 1 - O espectro electromagnético (YALE UNIVERSITY, 2004)

As radiações das diferentes regiões do espectro electromagnético comportam-se de diferentes formas na atmosfera e em contacto com os diferentes objectos, tendo por isso diferentes aplicações aconselháveis. Na Tabela A1 encontram-se resumidas essas aplicações, conforme o comprimento de onda.

ANEXO 2 - SISTEMAS DE NAVEGAÇÃO GLOBAL POR SATÉLITE

O GPS

O NAVSTAR - GPS (*Navigation System with Time and Ranging Global Positioning System*) propriedade do governo dos Estados Unidos da América que mais tarde lhe atribuiu somente o nome GPS (*Global Positioning System*), possuía utilidades civis, que rapidamente ultrapassaram as militares, para as quais foi inicialmente concebido. O poder estratégico e económico desta tecnologia norte-americana motivou outras nações a construírem os seus próprios sistemas (BUENO, 2007). Seguiu-se o GLONASS (*Global Navigation Satellite System*), controlado por um consórcio encabeçado pelo governo Russo. Assistiu-se à divulgação da modernização do GPS, aos dois sistemas europeus EGNOS (*European Geostationary Navigation Overlay Service*) e GALILEO, e à retomada dos investimentos do GLONASS, factos demonstrativos da utilidade que tais tecnologias proporcionam à humanidade.

Todos estes sistemas integrados compõem o GNSS (*Global Navigation Satellite System*), podendo agregar-se a eles outros sistemas menores e de âmbito regional, como o japonês QZSS (*Quasi Zenith Satellite System*), o indiano GAGAN (*GPS Aided Geosynchronous Augmentation System*), bem como redes geodésicas activas ao redor do globo. Um novo sistema se encontra em implantação pela China, denominado *Compass Navigation Satellite System*, está também sendo entendido como uma estratégia que pode influenciar o GALILEO, bem como fazer frente às estratégias militares representadas pelos demais sistemas. Inicialmente o governo Chinês justifica-o como sendo um sistema regional, podendo ser expandido para mundial. Estas informações são reforçadas por 36 localizações de órbitas solicitadas ao ITU (*International Telecommunication Union*) e por uma quantidade de 18 a 20 relógios atómicos adquiridos, que funcionam como que um coração para os sistemas de posicionamento (BUENO, 2007).

Em resumo, os sistemas operacionais neste momento são, GPS (USA), GLONASS (Russia), e Beidou (China), em desenvolvimento estão o GALILEO (EU), Compass (China), IRNSS (Índia), QZSS (Japão), e como sistemas de melhoradores, o EGNOS, GAGAN, GPS C, LAAS, MSAS, WAAS e StarFire¹¹.

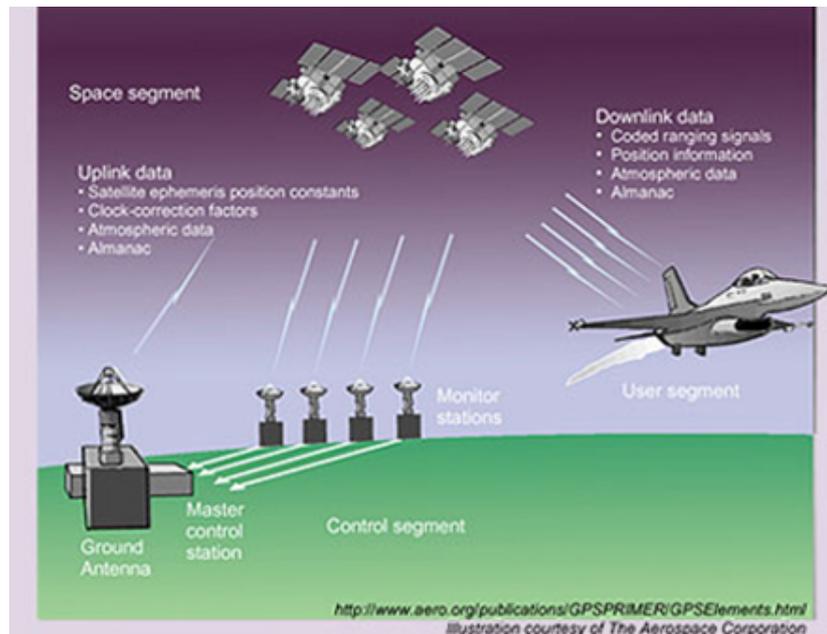


Figura B 1 - Elementos do GPS (AEROSPACE, 2009)

Conforme representado na Figura B1, o segmento espacial do GPS é constituído por uma constelação de 27 satélites, em órbita terrestre em cada 12 horas a 20.200km de altitude, responsáveis pelo envio dos sinais aos receptores. Destes 27 satélites, apenas 24 estão activos. Os 24 satélites estão distribuídos igualmente em 6 planos orbitais que distam 60º entre si (4 satélites por plano orbital) com determinada organização, concebida de forma a garantir a visibilidade de pelo menos 4 satélites (5-8 satélites segundo a ACPA) em qualquer parte do globo, para que o utilizador consiga obter as coordenadas espaciais da localização exacta do receptor e o

¹¹ Starfire é um wide-area dGPS desenvolvido pela NavCom da John Deere e grupos de Agricultura de Precisão.. StarFire difunde informação adicional para correcção do sinal de satellite nas frequências de banda-L, por todo o mundo, permitindo a um receptor equipado com esta tecnologia, produzir cálculos de posição com precisão bastante inferior a um metro, com uma exactidão de, cada mais de 24 horas, abaixo dos 4,5 cm. É semelhante ao dGPS da FAA, o WAAS, mas consideravelmente mais exacto devido a determinadas técnicas que melhoram o processamento ao nível do receptor.

instante do sinal recebido (ACPA, 2007). Os sinais são emitidos em duas bandas (L1 e L2) com dois códigos diferentes: o Y (*Precision code*) e o C/A (*Coarse Acquisition code*) (STABILE *et al.*, 2006).

Cada satélite tem uma inclinação de 55° em relação ao plano equatorial para garantir a cobertura das regiões polares (ACPA, 2007)

O GLONASS opera em 3 planos orbitais (THURSTON, 2002) sendo possível combinar os sistemas GPS e GLONASS para aumentar o número de satélites visíveis em simultâneo e melhorar a fiabilidade e exactidão. O GLONASS pode trazer vários benefícios tais como uma inclinação constante e mais facilmente modelável pois a disponibilidade selectiva (SA - *Selective Availability*¹²) não é imposta, e uma inclinação de 65° comparada com 55° melhora a visibilidade do satélite.

O DGPS

Existem vários sistemas desenvolvidos para minimizar a SA e melhorar a precisão posicional para entre 1m (TEEL *et al.*, 2000) e 2 a 5 m (HONORATO, C., MONTEIRO, S, 2001; ZELLER, L., KELLY, R., 2004) em torno da posição detectada. O conceito do DGPS (*Differential Global Positioning System*) consiste em colocar um receptor GPS num local de coordenadas perfeitamente conhecidas, e, comparando a posição GPS obtida com as coordenadas exactas do local, é capaz de corrigir quaisquer SA ou erros atmosféricos de forma a gerar correcções aos sinais dos satélites (HONORATO, C., MONTEIRO, S. 2001; ZELLER, L., KELLY, R., 2004). Apesar de estes dispositivos serem mais dispendiosos que os GPS mais simples, e de poderem requerer uma antena bem posicionada para receber o sinal diferencial, permitem uma informação qualitativa em tempo real, podendo também ser programáveis (ZELLER, L., KELLY, R., 2004).

¹² Processo que permite ao DoD (*Department of Defense*) limitar a precisão disponível para os utilizadores, com objectivo de prevenir potenciais adversários dos EUA usarem os receptores GPS de baixo custo, para determinados fins militares

A transmissão de correcções diferenciais aos sinais GPS permite eliminar a maior parte dos erros do GPS e melhorar significativamente a integridade do serviço: enquanto o GPS não fornece avisos de integridade em tempo real, a utilização de Estações DGPS – que monitorizam permanentemente a qualidade dos sinais dos satélites visíveis – permite notificar os utilizadores de qualquer avaria ou falha em menos de 15 segundos (HONORATO, C., MONTEIRO, S., 2001).

O GALILEO

Reconhecendo a importância estratégica da navegação por satélite e as suas potenciais aplicações. A Europa decidiu desenvolver o seu próprio sistema GNSS, em duas fases: a GNSS 1 (EGNOS) e GNSS 2 (GALILEO).

GALILEO é o programa europeu de radionavegação e de posicionamento por satélite lançado pela Comissão Europeia e desenvolvido conjuntamente com a Agência Espacial Europeia (ESA). O programa GALILEO dota a União Europeia de uma tecnologia independente em relação ao GPS americano e ao GLONASS russo.

Quando o GALILEO estiver completamente operacional, estarão 30 satélites em Órbita Média Terrestre (MEO) a uma altitude de 23.222 km, 10 satélites irão ocupar cada um dos três planos orbitais, com uma inclinação de 56º relativamente ao equador. Os satélites serão espalhados inclusivamente em volta de cada plano e levarão cerca de 14 horas a orbitar a terra. Um satélite em cada plano será um suplente, em *stand-by* no caso de algum dos satélites operacionais falhar (ESA, 2007).

A dependência actual, nomeadamente em relação ao GPS, levanta questões de ordem estratégica, dado que os sistemas utilizados não estão sob controlo europeu. Assim, o desafio consiste em garantir resposta às necessidades estratégicas europeias, como, por exemplo, em matéria de política externa e de segurança comum, sem riscos nem custos excessivos.

GMES

A frágil natureza da Europa enfrenta uma série de ameaças. Com as alterações climáticas em curso e os riscos que acompanham o aumento da pressão de eventos meteorológicos extremos na natureza, na biodiversidade e as nossas próprias condições de vida, esta ameaça vai aumentar de forma constante. A fim de neutralizar estas ameaças, a União Europeia (UE) tem implementado uma série de directivas ambientais, como a Directiva Quadro da Água, a Estratégia de Biodiversidade, a Rede Natura 2000 bem como a nova Política Agrícola Comum (PAC) entre outras. As directivas obrigam os Estados-Membros a gerir os seus recursos naturais de forma sustentável. Além disso, as políticas internacionais como o Protocolo de Quioto e as políticas pós-Quoto, ou os esforços no sentido da adaptação às alterações climáticas precisam ser seguidas (GMES, 2009).

O GMES (*Global Monitoring of Environment and Security*) Land Monitoring Core Service (LMCS) foi criado para operacionalmente fornecer, produtos de geo-informação confiáveis e acessíveis toda a Europa e todo o globo. GSE Land Information Services é um projecto GSE (GMES Service Element), financiado pela Agência Espacial Europeia (ESA) no âmbito da iniciativa GMES Europeia, como contributo para a iniciativa conjunta. O GSE Land visa proporcionar serviços de geo-informação em grandes áreas e para um amplo espectro de aplicações terrestres, concentrando-se em duas das prioridades GMES: “Alterações no Uso da Terra na Europa”, e “O Stress Ambiental na Europa” (GMES, 2009). O principal objectivo do GMES é assim fornecer informação e dados, serviços e conhecimento que apoiem os objectivos Europeus, no que toca ao desenvolvimento sustentável e gestão global do ambiente. O GMES apresenta vários componentes incluindo as medições *in situ*, infraestrutura de dados, prestação de serviços e um segmento espacial. Este último é responsável pela prestação operacional de dados do EARTH OBSERVATORY da NASA, entregue por uma série de satélites espaciais - sentinelas (*sentinels*). As sentinelas da ESA constituem a primeira série de satélites operacionais para o GMES. O GMES irá utilizar novos recursos espaciais bem como os existentes (ESA, 2009).

ANEXO 3 - SENSORES

A maioria dos instrumentos de detecção remota (sensores) é projectada para medir fotões. O princípio fundamental subjacente ao funcionamento do sensor centra-se naquilo que acontece num componente crítico – o detector. Este é o conceito de efeito fotoelétrico (SHORT, 2007a).

Os sensores recolhem impulsos analógicos que são convertidos digitalmente (bits / bytes) discretos (ou bandas), no seio do espectro electromagnético, normalmente de diversos tipos. Uma câmara normal, por exemplo, captura as três cores primárias: azul, verde e vermelho. Os sensores multiespectrais são capazes de capturar mais que três bandas para fornecer mais informação acerca da saúde e vigor de uma cultura, do que os nossos olhos podem detectar (DPI & F, 2005).

CARACTERIZAÇÃO DE SISTEMAS DE IMAGEM DE SATÉLITE POR DETECÇÃO REMOTA

A forma de caracterização mais comum para os diferentes sistemas de imagem de satélite por detecção remota, resulta das diversas resoluções espacial, temporal e espectral dos diferentes sistemas (SIC, 2008). Adicionalmente, os sensores diferem na sensibilidade em registar energia electromagnética. Qualquer sensor disponível combina características destes três domínios, mas nenhum sensor é óptimo em mais que dois deles (Figura. C1) (ZIMMERMANN *et al.* 2007).

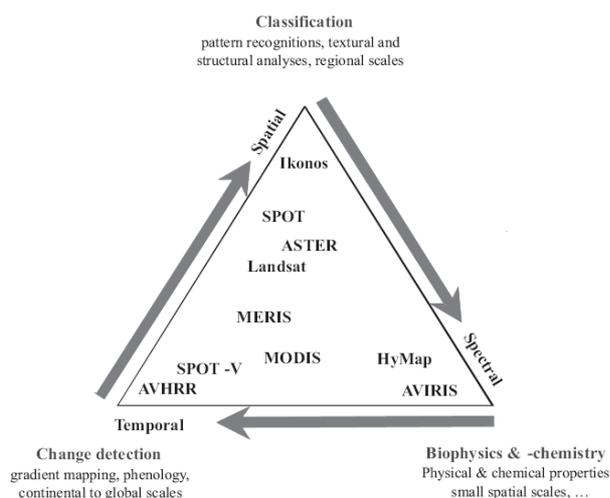


Figura C 1 - Uma classificação de sensores baseada nas resoluções (ZIMMERMANN *et al.*, 2007)

A resolução espacial especifica o tamanho do pixel, ou ainda, o valor em tamanho do mais pequeno objecto observável nas imagens de satélite (Figura C2), que fazem a cobertura da superfície da Terra (SIC, 2008; SOVZOND, 2007). A informação recolhida pelo sensor é dividida em pixéis que são a mais pequena unidade de uma imagem. Os pixéis de uma imagem são normalmente quadrados e representam uma determinada área numa imagem. Algumas plataformas disponibilizam imagens de alta resolução com pixéis de 0,6m (e.g. QUICKBIRD, IKONOS) (Figura C4), enquanto outros satélites disponibilizam imagens com menor resolução como o IKONOS (Figura C3) e ainda com uma resolução mais grosseira, por exemplo 30m no caso do LANDSAT 5.

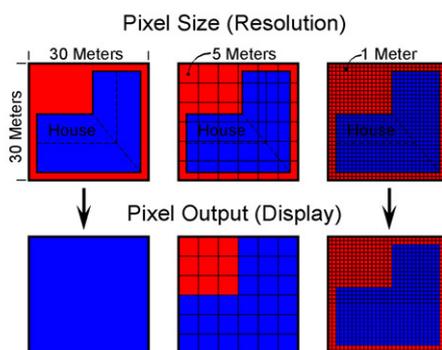


Figura C 2 - Representação do conceito de resolução espacial (SIC, 2008)

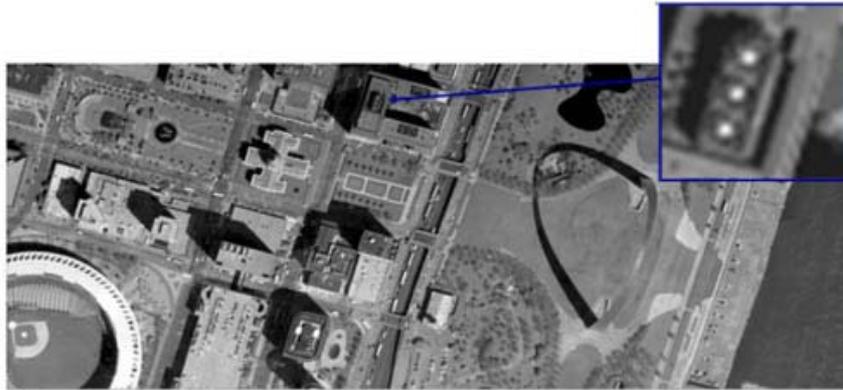


Figura C 3 - Pancromática do IKONOS com resolução espacial de 1m (SOVZOND, 2007)

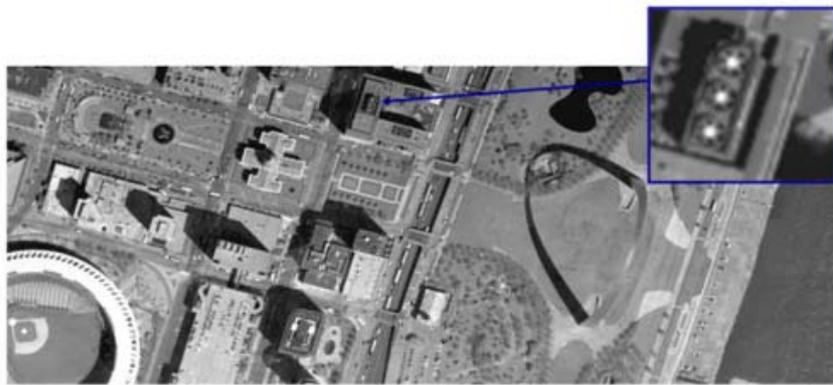


Figura C 4 - Imagem pancromática do Quickbird com resolução espacial de 0,61m(SOVZOND, 2007)

Segundo TOWNSHEND *et al.*, (2008), a distribuição dos sensores segundo a resolução espacial foi a seguinte (Tabela C1), embora segundo os mesmos autores, haja alguma confusão com a terminologia aplicada havendo alguns autores que se referem ao LANDSAT TM como um instrumento de média resolução [ex. SIC (2008)], e outros como sendo de alta resolução (FISHER *et al.*, 2004).

Classe de Resolução	Resolução Espacial	Exemplos de sensores
Baixa resolução	>1km	AVHRR GAC data
Resolução Moderada	250m-1km	AVHRR, MODIS, MERIS, SPOT vegetation
Resolução Média	10m-100m	Landsat TM, ETM+, SPOT-HVR, IRS, CBERS
Resolução Ultra-fina	<4m	PRISM, Quickbird, IKONOS

Tabela C 1 - Tipos de sensores ópticos em termos de resolução espacial (TOWNSHEND *et al.*, 2008)

A resolução temporal especifica a frequência com que o sensor de um satélite revisita uma localização específica (SIC, 2008):

- Alta resolução temporal: < 24h a 3 dias
- Média resolução temporal: 4 a 16 dias
- Baixa resolução temporal: > 16 dias

Numa primeira instância, a resolução espectral de um sensor especifica o número de bandas espectrais nas quais o sensor pode recolher radiância reflectida. Mas o número de bandas não é o único aspecto importante da resolução espectral. A posição das bandas no espectro electromagnético é importante também (SIC, 2008). Conforme a resolução espectral podem os sensores dividir-se da seguinte forma (SIC, 2008):

- Alta resolução espectral: 15 a 220 bandas
- Média resolução espectral – 3 a 15 bandas
- Baixa resolução espectral - <3 bandas

SENSORES MULTIESPECTRAIS E HIPERESPECTRAIS

Imagens multiespectrais são produzidas por sensores que medem energia reflectida dentro de determinadas bandas do espectro electromagnético. Os sensores multiespectrais normalmente apresentam leituras entre 3 e 10 bandas em cada pixel das imagens que produzem. Exemplos de bandas nestes sensores tipicamente incluem o verde visível, vermelho visível, IV próximo, etc. Os satélites LANDSAT, Quickbird e SPOT, são bem conhecidos e utilizam sensores multiespectrais (EXTENSION, 2008).

Os sensores hiperespectrais medem energia em bandas mais numerosas e estreitas que os sensores multiespectrais. As imagens hiperespectrais podem conter até 200 (ou mais) bandas espectrais contíguas. As numerosas bandas estreitas dos sensores hiperespectrais fornecem uma medição espectral contínua ao longo de todo o espectro electromagnético e por isso, são mais sensíveis a variações subtis na

energia reflectida (EXTENSION, 2008). “Hiper” significa excessivo, mas os analistas de dados de espectrometria, simplesmente removem bandas de cubos de dados (*datacubes*) (Figura C5) (EOC CSIRO, 2004).

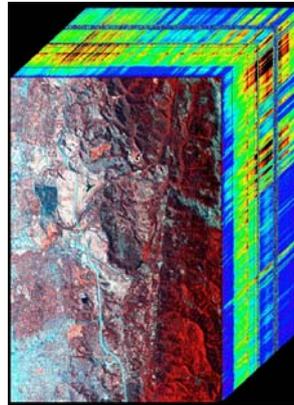


Figura C 5 - Cubo de dados do AVIRIS de 224 bandas de Jasper Ridge (CA, USA) (EOC CSIRO, 2004)

As séries de dados hiperespectrais geralmente contêm pelo menos 16 bandas contíguas de alta resolução espectral numa região do espectro electromagnético. O termo Ultraespectral (“mais que hiperespectral”) é usado para descrever séries de dados contendo milhares de bandas. Apesar de ainda não ter sido projectado tal sensor, com tamanha complexidade, é considerado como o futuro da espectroscopia de imagem (EOC CSIRO, 2004). As imagens produzidas a partir de sensores hiperespectrais contêm muito mais informação que as imagens de sensores multiespectrais, e têm um maior potencial para detectar diferenças entre as características da terra e água. Por exemplo, as imagens multiespectrais podem ser usadas para mapear áreas florestadas, enquanto as imagens hiperespectrais podem ser usadas para mapear espécies no seio da floresta (EXTENSION, 2008). A assinatura espectral a partir de algumas bandas de uma imagem multiespectral, podem dizer a um agricultor que a sua cultura sofre de stress. Mas, as numerosas bandas estreitas nas imagens hiperespectrais podem potencialmente indicar se se trata de stress hídrico, se é causado por infestação de insectos ou por uma fertilização deficiente.

Satélite	Sensor	Resolução Espectral (#)	Resolução Espacial (m)	Resolução Temporal (dia)	Resolução Radiométrica (bit)
AVHRR		4	1000	1	11
TERRA/AQUA	MODIS	36	Até 250m	0,5	12
Landsat-7 ETM+	ETM +	PAN/6	15/30	16	8
Quickbird		PAN/4	0,61/2,44	1-5	11
RESURS – DK		PAN/3	1/2-3	6	10
MONITOR-E		PAN/3	8/20	6	
WORLDVIEW-1		PAN	0,50	1,7-5,9	11
WORLDVIEW-2		PAN/8	0,50/1,8	1-2	11
IKONOS		PAN/4	1/4	1-5	11
ORBVVIEW-3		PAN/4	1/4	1-5	11
GEOEYE-1		PAN/4	0,41/1,65	1-3	11
AQUA					
TERRA	ASTER	14	90-15	16	8-12
NPOESS	OLI		30/800		
EO-1	Hyerion	220	30	16	16
EO-1	ALI	PAN/10	10/30	16	16
SPOT-5	SPOT-DEM	PAN/4/Vegetation2	5-2,5/10/1000	26	8/8/10
FORMOSAT-2		PAN/4	2/8	1	8
KOMPSAT-2		PAN/4	1/4	3	10
PLEIADES-1, 2		PAN/4	0,60/2,8	1	
SPOT-2, 4		PAN/4/Vegetation1	10/20/1000	26	8/8/10
IRS-1C/1D		PAN/LISS3/WiFS	5,8/23,5-70/188	5/24-25/5	6/7/7
IRS-P6		LISS4/LISS3/AWiFS	5,8/23,5/50-70	5/24/5	10/7/10
IRS-P5		PAN	2,5	5	10
CARTOSAT-2		PAN	1	4	10
ALOS	PRISM	PAN	2,5	46	8
ALOS	AVNIR-2	4	10	46	8
THEOS		PAN/4	2/15	26	8
RAPIDEYE-A, E		5	6,5	1-2	12
CBERS-2,3B,3,4		PAN/4	5/20		11
AVIRIS		224		*	12

Tabela C 2 - Características dos principais sensores ópticos (MELESSE *et al*, 2007; AVIRIS, 2008, SOVZOND, 2008)

*Dependendo da latitude

Satélite	Sensor	Resolução Espectral (#)	Resolução Espacial (m)	Resolução Temporal (dia)	Resolução Radiométrica (bit)
ENVISAT		C-Band	30-1000	2,5-35	8
ERS-1, 2		C-Band	26x30	35	8
TERRASAR X		X-Band	1-16	11	16
RADARSAT-1		C-Band	3-100	2-3	
RADARSAT-2		C-Band	3-100	2-3	
COSMO-		X-Band	1-100	10h	8
ALOS	PALSAR	L-Band	7-100	46	3-5
Pi-SAR**		L-Band, X-Band	1,5-20	**	

Tabela C 3 - Características dos principais sensores RADAR (MELESSE *et al*, 2007; AVIRIS, 2008, SOVZOND, 2008)

**Aertransportado

ANEXO 4 – DADOS BIOFÍSICOS DAS PLANTAS

LAI (*LEAF AREA INDEX*)

As mudanças no NDVI estão fortemente correlacionadas com a variação no Índice de Área Foliar (*Leaf Área Índex – LAI*) da vegetação verde durante o ciclo (PASTURES FROM SPACE, 2003).

O LAI é a área de folhas por unidade de área de solo. É um factor que indica quantas superfícies de folhas (fotossinteticamente activas) existem numa coluna desde o solo, sob o diâmetro da vegetação, até ao cimo da vegetação (CALMIT, 2006). GONG, *et al.* (2003) e SHORT (2007b) definem o LAI como a área de um dos lados de todas as folhas na vegetação de determinada região (m^2/m^2), ou seja, o rácio de metade da área total das folhas na vegetação para a área total de superfície que contém essa vegetação. Se todas as folhas fossem removidas de um coberto vegetal e dispostas no solo, a sua área combinada relativa à área do solo projectada sob o coberto, daria um valor maior que 1 e normalmente menor que 10 (SHORT, 2007b).

O LAI é um parâmetro estrutural importante para quantificar a energia e características da troca de biomassa nos ecossistemas terrestres, tais como a fotossíntese, respiração, transpiração, ciclo do carbono e nutrientes, interceptação da chuva. A medição directa do LAI da vegetação é relativamente precisa, mas extremamente trabalhosa e destrutiva. Assim, é prático medir o LAI apenas em pequenas parcelas experimentais. Consequentemente, a estimativa de campo do LAI para grandes áreas é problemático. As técnicas de DR, particularmente o uso de imagens de satélite, têm sido usadas para medir o LAI numa escala paisagística ou até mesmo a uma escala global (ver fig. D1). Os índices de banda larga, normalmente construídos com as bandas do NIR e do vermelho, utilizam informação espectral média, o que resulta em perda de informação crítica, disponível em bandas estreitas específicas. Acresce ainda o facto de estes índices serem fortemente afectados pelo solo em cobertos vegetais baixos (GONG *et al.*

2003). É possível melhorar os índices usando algumas das diferentes bandas estreitas para correção dos efeitos de fundo do solo. O Earth Observing (EO-1) é o primeiro satélite do mundo a transportar um sensor hiperespectral – Hyperion, o qual tem a mesma resolução espacial que o TM (GONG *et al.*, 2003).

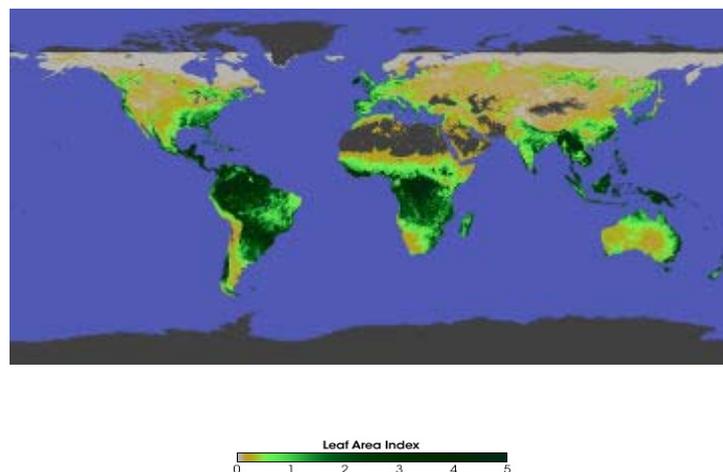


Figura D 1– LAI Janeiro 2004 (EARTH OBSERVATORY - NASA, 2000)

Para além da Produtividade Bruta Primária (*Net Primary Productivity – NPP*) (TUELLER, 2001) ou *Aboveground Net Primary Productivity – ANPP* (NGUGI, M. K, N., CONANT, R. T., 2003), o conhecimento do LAI é necessário para muitos estudos fisiológicos e ecológicos, constituindo um importante indicador da vitalidade da vegetação (SIMÕES *et al.*, 2007).

A literatura sobre este assunto refere-se a estimar estes factores em vez de os medir. Este é um indicativo das dificuldades para usar a detecção remota para medir muitos destes atributos, úteis para os gestores agrícolas (TUELLER, 2001). Observações de culturas de sequeiro, a partir de plataformas de detecção remota provaram ser um desafio devido à dominância do solo como fundo em muitas culturas, e a grande nebulosidade durante partes da estação de crescimento vegetativo (HATFIELD *et al.*, 2004; KUSTAS, W., 2004).

Os resultados de um estudo levado a cabo por GONG *et al.* (2003) realizado na região da Patagónia, Argentina, indicam que muitas bandas hiperespectrais na

região do SWIR e algumas na região do NIR têm um grande potencial para a construção da estimativa do LAI. Estas bandas são controladas pelo teor em água na folha da planta, ainda que as características de absorção por outras substâncias bioquímicas, tais como proteínas, azoto, lenhina, celulose, açúcar e amido têm impactos indirectos. Com base na sua alta correlação com o LAI, os autores recomendam o uso do NDVI (entre outros índices de vegetação como o MNLI¹³ e SR¹⁴) em ambientes similares ao do estudo por eles realizado, para estimar o LAI usando dados hiperespectrais obtidos por satélite.

PAR (PHOTOSYNTHETICALLY ACTIVE RADIATION)

Nem toda a radiação solar que chega está disponível para a produção de biomassa e fotossíntese. A porção da radiação electromagnética que é usada para a fotossíntese (400-700nm) é chamada radiação fotossinteticamente activa (*Photosynthetically Active Radiation - PAR*), que corresponde na maioria à porção do azul e vermelho visível do espectro electromagnético (o verde é reflectido quase na totalidade pelas plantas) (CALMIT, 2006).

Entre os diferentes factores ambientais que influenciam o crescimento das plantas, o principal é a PAR visto que constitui a principal fonte de energia para a fotossíntese, determinando a produção de biomassa (SIMÕES *et al.*, 2007). Apresenta grande importância em estudos sobre taxa de crescimento vegetal, taxa fotossintética e condutância estomatal por ser a radiação que excita as moléculas de clorofila das plantas, iniciando o fluxo de energia durante o processo de fotossíntese (FRISINA *et al.*, 2003).

¹³ MNLI – *Modified Non-Linear Vegetation Index*, é uma versão melhorada do NLI (*Non-Linear vegetation Index*)

¹⁴ SR – *Simple Ratio*, NIV/Red, relacionado com alterações na quantidade de biomassa, conteúdo e concentração de pigmento, e stress hídrico foliar, etc.

A interceptação da luz é condicionada pela estrutura da copa, sendo o índice de área foliar (*Leaf Area Index* - LAI) um dos parâmetros determinantes (SIMÕES *et al*, 2007). A área foliar de uma planta depende do número e do tamanho das folhas e, por consequência, do estágio de desenvolvimento da planta. O LAI, definido pela relação da área total foliar por unidade de área explorada pela cultura, depende da fertilidade do solo, das condições climáticas, do espaçamento e, principalmente, do material genético. Representa a capacidade que a comunidade tem para explorar o espaço disponível. A variação temporal da área foliar em geral aumenta até um limite máximo, no qual permanece por algum tempo, decrescendo em seguida, devido à senescência das folhas velhas. Como a fotossíntese depende da área foliar, o rendimento da cultura será maior quanto mais rápido a planta atingir o índice de área foliar máximo e quanto mais tempo a área foliar permanecer activa (MANFRON *et al*, 2003).

A PAR e o LAI são frequentemente usados para modelar a evapotranspiração e a produtividade das plantas. A absorção da luz segue as mudanças sazonais de algumas combinações da reflectância das plantas, e a PAR pode ser linearmente relacionada com o NDVI (CALMIT, 2006).

Como a actividade fotossintética é altamente correlacionada com os índices de vegetação, quer a absorção de PAR (aPAR) quer a fracção da superfície que contém PAR (fPAR), podem ser indirectamente estimadas a partir do NDVI. A fPAR pode ser estimada usando a seguinte expressão (CALMIT, 2006)

$$fPAR = 1.5 (NDVI - 0.1), \quad NDVI = 0.547 + 3.2 (fPAR - 1.08), \quad NDVI = 0.547$$

A fracção de vegetação verde, F_g , pode conjuntamente ser derivada do NDVI usando uma relação linear simples com a suposição de vegetação densa (*high leaf area index*) (CALMIT, 2006).

$$F_g = (NDVI_i - NDVI_{imin}) / (NDVI_{imax} - NDVI_{imin})$$

Onde $NDVI_{min} = 0,04$ e $NDVI_{max}=0,52$ podem ser consideradas como constantes globais como uma primeira aproximação. Os valores de F_g devem ser restringidos ao intervalo entre 0 e 1.

A fPAR (*Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation*) é um parâmetro chave no estudo das funções dos ecossistemas, monitorização do crescimento das culturas, etc, sendo por isso importante estimar a fPAR com exactidão (YANG *et al.*, 2008).

Até agora a fPAR era estimada basicamente nos modelos empíricos de índices de vegetação ou nos modelos de transferência física, o NDVI era normalmente usado para estimar a fPAR nos modelos empíricos. Alguns modelos físicos simples, outros mais complicados, tais como o CLM (*Common Land Model*), modelo de transferência física 3-D eram usados (YANG *et al.*, 2008).

RET (*REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION*)

A evapotranspiração (ET) é o termo utilizado para descrever o total de evaporação e transpiração das plantas a partir da superfície terrestre para a atmosfera. A evaporação consta do movimento de água para o ar a partir de fontes tais como o solo, coberto vegetal e corpos de água. A transpiração é o movimento de água no seio de uma planta e a subsequente perda de água na forma de vapor de água através dos estomas localizados nas suas folhas. A evapotranspiração potencial (*Potential Evapotranspiration* -PET) representa a taxa de evapotranspiração a partir de uma dada superfície, sem limitações de humidade. A evapotranspiração de referência (*Reference Evapotranspiration* -RET) é uma representação da evapotranspiração a partir de uma cultura hipotética de referência, como uma superfície de erva verde com uma altura uniforme de 12cm, em crescimento activo, bem irrigada, e a cobrir completamente o solo (EDEN, 2008).

Um modelo foi desenvolvido para produzir estimativas PET e RET na Florida, usando radiação solar obtida a partir do *Geostationary Operational Environmental Satellites* (GOES), e dados climáticos da *Florida Automated Weather Network*, dos *State of Florida Water Management Districts* e da *National Oceanographic and Atmospheric Administration* (NOAA). O modelo foi criado através de um projecto conjunto envolvendo os departamentos de gestão da água dos cinco distritos do estado da Flórida, a Universidade de New Hampshire (UNH) e a Universidade de Alabama em Huntsville (UAH), bem como o *US Geological Survey* (USGS) (EDEN, 2008).

As equações referenciadas pelas Priestly-Taylor e a *American Society of Engineers*, fornecem estimativas diárias de PET e RET respectivamente, numa grelha de 2km espacialmente distribuída pelo Estado da Flórida, com início em 1995 (EDEN, 2008).

O NDVI ou outros índices de vegetação podem ser usados para estimar a eficiência da transpiração ou a contribuição do solo para a transpiração, mas não para estimar a evaporação a partir do solo. Por outro lado, a RET representa a disponibilidade de humidade para a transpiração mais a evaporação a partir do solo, numa grande quantidade de condições culturais. Por isso, a RET poderia ser um melhor indicador de um ambiente em crescimento que o NDVI ou outros Índices de Vegetação. No entanto, o NDVI em combinação com a distribuição espacial da pluviosidade pode ser significativo quando utilizado para avaliar características de crescimento (SARKAR *et al.*, 2008).

AET (ACTUAL EVAPOTRANSPIRATION)

A monitorização da evapotranspiração tem implicações importantes na modelação climática global e regional, bem como no conhecimento do ciclo hidrológico e para avaliar o stress ambiental que afecta florestas e ecossistemas agrícolas (CRISTÓBAL *et al.*, 2007). A AET (*Actual Evapotranspiration*) nas florestas tropicais e outros processos com ela relacionados, podem explicar 70% do transporte lateral da energia global através de calor latente, e por isso são muito importantes na

redistribuição da água à superfície da Terra. A evapotranspiração tem uma relação estreita com a produção de NPP (*Net Primary Production*) de diferentes ecossistemas, a altura da árvore e o seu crescimento. Apesar de a AET ser um dos mais importantes componentes do balanço hídrico, é um dos mais difíceis de medir. É especialmente difícil medir a AET de florestas em condições naturais devido ao grande tamanho das árvores e a heterogeneidade inerente à floresta. Esta heterogeneidade inclui espécies e diversidade do coberto vegetal, exposição topográfica e extensão horizontal da floresta (WU *et al.*, 2006).

Progressos quer na detecção remota quer nas técnicas de modelação baseadas em SIGs, tornam mais fácil a derivação destes parâmetros opticamente. As bandas visíveis podem ser usadas para estimar o albedo da superfície, a partir do qual a radiação bruta e conseqüentemente a absorção de energia solar podem ser estimadas. As bandas térmicas possibilitam uma estimativa da temperatura da superfície terrestre, a partir da qual o deficit da pressão do vapor pode ser estimado (WU *et al.*, 2006).

ANEXO 5 – ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

Os índices de vegetação são ferramentas importantes na monitorização, mapeamento e gestão de recursos da vegetação do planeta Terra. São medidas radiométricas da quantidade, estrutura e condição da vegetação as quais servem como indicadores úteis de variações sazonais e inter-anuais na vegetação (EARTH OBSERVATORY - NASA, 2000).

Os índices de vegetação têm sido desenvolvidos para relacionar a reflectância das folhas ou cobertos com as características dos cobertos vegetais. Existe um vasto leque de índices de vegetação que foram desenvolvidos nos últimos 40 anos. HATFIELD *et al.* (2008) resumiram o desenvolvimento desses índices e as suas aplicações aos cobertos vegetais de culturas, estando os mais comuns na Tabela E1.

Index	Wavebands	Application	Reference
	R ₉₀₀ -R ₆₈₀	biomass	Jordan, 1969
	R ₉₀₀ -R ₅₅₀	biomass	Bushman and Nagel, 1993
	R ₅₅₀	chlorophyll	Carter, 1994
	R ⁻¹ ₇₀₀		Gitelson et al., 1999
	log(1/R ₇₃₇)	chlorophyll	Yoder and Pettigrew-Crosby, 1995
Simple ratio	$R = R_{NIR}/R_{red}$	biomass, LAI, cover	Birth and McVey, 1968; Jordan, 1969
Photochemical Reflectance Index	$PRI = (R_{550} - R_{531})/(R_{550} + R_{531})$	light capture efficiency	Gamon et al., 1992
Pigment-specific normalized difference	$(R_{900} - R_{470})/(R_{900} + R_{470})$	LAI	Blackburn, 1998
Normalized Difference Vegetation Index	$NDVI = (R_{NIR} - R_{red})/(R_{NIR} + R_{red})$	intercepted PAR, vegetation cover	Deering, 1978
Perpendicular Vegetative Index	$PVI = (R_{NIR} - aR_{red} - b)/(1 + a^2)^{1/2}$	LAI	Richardson and Wiegand, 1977
Wide Dynamic Range Vegetation Index	$WDRVI = (0.1R_{NIR} - R_{red})/(0.1R_{NIR} + R_{red})$	LAI, vegetation cover, biomass	Gitelson, 2004
Soil Adjusted Vegetation Index	$SAVI = (R_{NIR} - R_{red})(1 + L)/(R_{NIR} + R_{red} + L)$	LAI	Huete, 1988
Transformed Soil Adjusted Vegetative Index	$TSAVI = a(R_{NIR} - aR_{red} - b)/(R_{red} + aR_{NIR} - ab)$	LAI, biomass	Baret et al., 1989
Enhanced Vegetation Index	$EVI = 2.5(R_{NIR} - R_{red})/(R_{NIR} + 6R_{red} - 7.5R_{blue} + 1)$	LAI, biomass	Huete et al., 2002
Green NDVI	$(R_{NIR} - R_{green})/(R_{NIR} + R_{green})$	intercepted PAR, vegetation cover	Bushman and Nagel, 1993; Gitelson and Merzlyak, 1994; Gitelson et al., 1996
Red Edge NDVI	$(R_{NIR} - R_{red\ edge})/(R_{NIR} + R_{red\ edge})$	intercepted PAR, vegetation cover	Gitelson and Merzlyak, 1994
Visible Atmospherically Resistant Indices	$VAR_{green} = (R_{green} - R_{red})/(R_{green} + R_{red})$	green vegetation fraction	Gitelson et al., 2002b
	$VAR_{red\ edge} = (R_{red\ edge} - R_{red})/(R_{red\ edge} + R_{red})$	green vegetation fraction	Gitelson et al., 2002b
Chlorophyll Indices	$CI_{green} = (R_{NIR}/R_{green}) - 1$	LAI, GPP, chlorophyll	Gitelson et al., 2003b, 2005
	$CI_{red\ edge} = (R_{NIR}/R_{red\ edge}) - 1$	LAI, GPP, chlorophyll	Gitelson et al., 2003b, 2005

† LAI, leaf area index; GPP, gross primary productivity.

Tabela E 1 - Resumo de índices de vegetação, comprimentos de onda, aplicações e referências (HATFIELD *et al.*, 2008)†

Ao nível do coberto vegetal, as alterações na reflectância são maiores nos comprimentos de onda NIR ao longo de todo o ciclo de crescimento devido ao aumento de biomassa e, por consequência, da dispersão, enquanto as porções visíveis do espectro mostram menos, embora significativa, variação sazonal que

relaciona a absorção da luz pelos pigmentos fotossintéticos e fotoprotectores. Muitos dos índices de vegetação correntes estão baseados em banda larga, por sua vez associada de perto às bandas utilizadas pelos 4 satélites multiespectrais LANDSAT (HATFIELD *et al.*, 2008)

NDVI (NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX)

Para determinar a densidade de verde numa parcela de terra, os cientistas devem observar as diferentes cores (comprimentos de onda) do visível e IV próximo, da luz do sol, reflectidas pelas plantas. Quando a luz do sol chega a um objecto, certos comprimentos de onda do espectro são absorvidos e outros são reflectidos. O pigmento nas folhas das plantas, a clorofila, absorve fortemente a luz visível (0,4 a 0,7 μ m) para a utilizar na fotossíntese. Por outro lado, a estrutura celular das folhas, reflecte fortemente a luz no infravermelho próximo (0,7 a 1,1 μ m). Quanto mais folhas a planta tem, mais estes comprimentos de onda são afectados respectivamente.

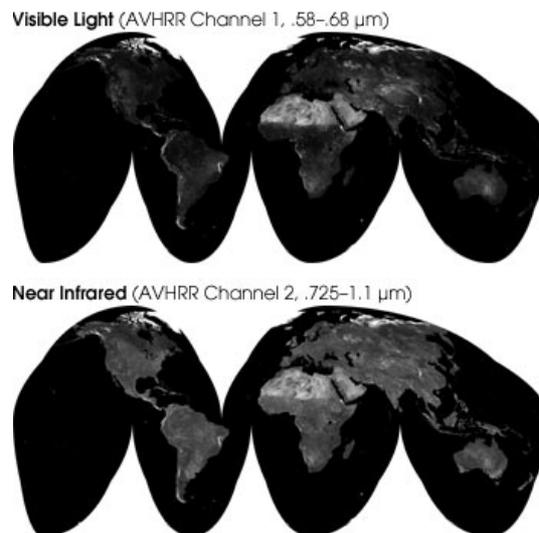


Figura E 1 - Aspecto da vegetação com os dois diferentes comprimentos de onda (visível, em cima, e IV próximo, em baixo) (EARTH OBSERVATORY – NASA, 2000)

A vegetação apresenta-se muito diferente nos dois comprimentos de onda, VIS e NIR (Figura E1). Na luz visível (em cima), as áreas com vegetação são muito escuras,

quase pretas, enquanto as regiões desertas (como o Sahara) são claras. No NIR, a vegetação é mais brilhante e o mesmo se passa com os desertos. De um modo geral, se existe muito mais radiação reflectida no NIR que no VIS, a vegetação nesse pixel deverá ser densa e pode conter algum tipo de floresta. Se existe uma pequena diferença na intensidade do VIS e NIR reflectidos, então a vegetação é provavelmente escassa e pode ser constituída por pastagem, tundra ou deserto (EARTH OBSERVATORY, 2000).

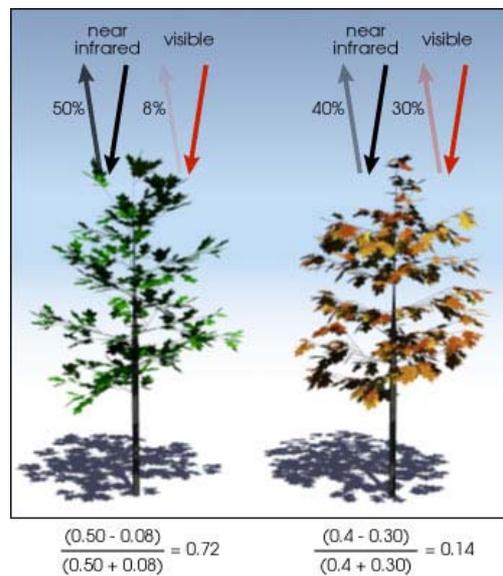


Figura E 2 - Ilustração do cálculo do NDVI (EARTH OBSERVATORY - NASA, 2000)

O NDVI é calculado a partir da luz visível e IV próximo. A vegetação saudável (esquerda) absorve a maior parte da luz visível que nela incide, e reflecte uma grande parte da luz no IV próximo. A vegetação escassa ou pouco saudável (direita) reflecte mais luz visível e menos luz no IV próximo. Os valores na Figura E2 são representativos dos valores actuais, mas a vegetação real é muito mais variada (EARTH OBSERVATORY - NASA, 2000).

Quase todos os Índices de Vegetação por satélite utilizam esta fórmula para quantificar a densidade do crescimento de plantas na Terra – IV Próximo menos Visível a dividir pelo IV Próximo mais o Visível. O resultado desta fórmula é chamado *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). Matematicamente, a fórmula é:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{VIS}) / (\text{NIR} + \text{VIS})$$

Os cálculos do NDVI para um determinado pixel resultam sempre num número que varia de menos um (-1) a mais um (+1); no entanto, não existem folhas verdes que resultem num valor próximo de zero. Zero significa ausência de vegetação e próximo de +1 (0,8-0,9) indica a mais alta densidade possível de folhas verdes (EARTH OBSERVATORY - NASA, 2000).

O NDVI é geralmente usado na área da DR e é especificamente uma medida de abundância em clorofila, mas também correlacionado com a humidade do solo, pluviosidade e biomassa, produtividade e coberto vegetal (TATEM, 2003).

EVI (ENHANCED VEGETATION INDEX)

O sensor MODIS, a bordo do satélite TERRA, disponibiliza a mesma cobertura quase diária que o AVHRR, mas com uma resolução mais elevada (até 250m). Consequentemente surge um novo produto – *Enhanced Vegetation Index (EVI)*, que irá melhorar a qualidade do produto NDVI. Enquanto o EVI é calculado de forma similar ao NDVI, corrige algumas distorções na luz reflectida causadas por partículas no ar, bem como a cobertura do solo sob a vegetação. O EVI não se torna saturado tão facilmente como o NDVI quando analisa florestas tropicais e outras áreas da Terra com grandes quantidades de clorofila. Considerando que o NDVI é sensível à clorofila e responde essencialmente a variações na região do vermelho, o EVI é mais sensível ao NIR e responde às variações estruturais do coberto vegetal incluindo o índice de área foliar, o tipo de coberto e arquitectura da copa. Nem o NDVI nem o EVI vão eliminar todos os obstáculos. As nuvens e os aerossóis podem frequentemente bloquear a visão dos satélites de toda a superfície, a claridade do sol pode saturar alguns pixéis, e anomalias temporárias nos próprios instrumentos do satélite podem distorcer uma imagem. Consequentemente, muitos dos pixéis num dia de imagens são indecifráveis, e os mapas construídos a partir de índices de vegetação diários, são incompletos na melhor das hipóteses (EARTH OBSERVATORY - NASA, 2000).

Médias de dados de vegetação de períodos mais longos ajudam a remover erros causados pelas nuvens, mas removem o detalhe, especialmente em resoluções espaciais altas. O par de imagens na Figura E3 mostra a Ilha do Bornéu durante o mês de Setembro de 1999. À esquerda está uma média de 10 dias de 21 a 30 de Setembro. Nuvens pesadas fizeram com que algumas áreas parecessem ter pouca ou nenhuma vegetação (castanho claro). A média dos 30 dias para todo o mês de Setembro, no entanto, mostra toda a ilha fortemente florestada (EARTH OBSERVATORY - NASA, 2000).

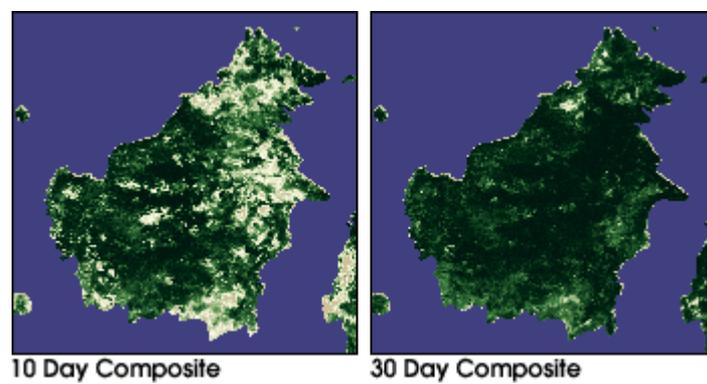


Figura E 3 - Ilha do Bornéu num compósito de 10 dias (esq.) e 30 dias (dir.) (EARTH OBSERVATORY - NASA, 2000)

Dezasseis dias de imagens do MODIS referentes ao período de 5 a 20 de Março de 2000, foram atmosféricamente corrigidas e depois compostas. As reflectâncias nas primeiras 4 bandas do MODIS (azul, verde, vermelho e NIR) foram então usadas como *input* na computação do NDVI e EVI (Figura E4) (EARTH OBSERVATORY - NASA, 2000).

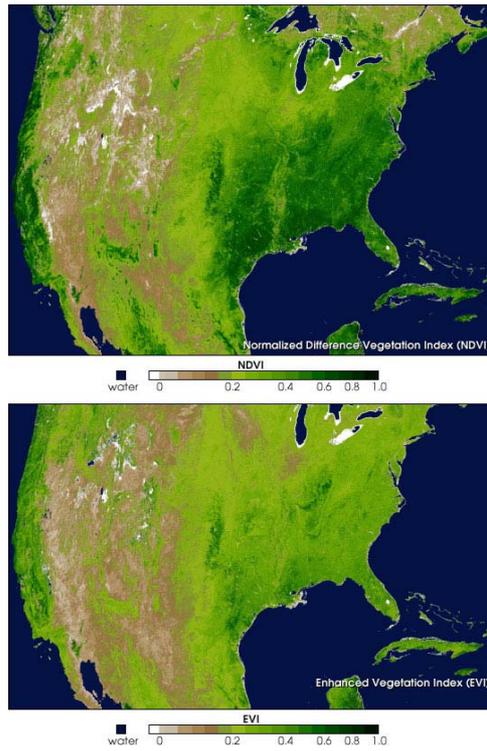


Figura E 4 - Vegetação de Primavera na América do Norte: diferenças entre o NDVI e o EVI (EARTH OBSERVATORY – NASA, 2000)