

INOVAÇÃO E TECNOLOGIA NA FORMAÇÃO AGRÍCOLA

Editores

**José Pimentel Castro Coelho
José Rafael Marques da Silva**

Agricultura de Precisão



INOVAÇÃO E TECNOLOGIA NA FORMAÇÃO AGRÍCOLA

agrinov.ajap.pt

Coordenação Técnica:

Associação dos Jovens Agricultores de Portugal

Coordenação Científica:

Miguel de Castro Neto

Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação

Universidade Nova de Lisboa

Agricultura de Precisão

Editores

José Pimentel Castro Coelho

José Rafael Marques da Silva

Produção apoiada pelo Programa AGRO – Medida 7 – Formação Profissional,
co-financiado pelo Estado Português e pela União Europeia através do FSE

Projecto nº 3431144



Ficha Técnica

Título

Agricultura de Precisão

Editores

José Pimentel Castro Coelho

José Rafael Marques da Silva

Editor

Associação dos Jovens Agricultores de Portugal

Rua D. Pedro V, 108 - 2º

1269-128 Lisboa

Tel.: 21 324 49 70

Fax: 21 343 14 90

E-mail: ajap@ajap.pt

URL: www.ajap.pt

Lisboa • 2009 • 1ª edição

Grafismo e Paginação

Miguel Inácio

Impressão

Gazela, Artes Gráficas, Lda.

Tiragem

150 ex.

Depósito Legal

299352/09.

ISBN

978-989-8319-04-3

Distribuição Gratuita

José Pimentel Castro Coelho



Licenciado em Engenharia Agronómica (1983), Mestrado em Produção Vegetal (1987) e Doutorado em Agronomia (1993) pelo Instituto Superior de Agronomia. Agregado pela Universidade Técnica de Lisboa (2006).

Actualmente é Professor Associado no Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa onde lecciona disciplinas de 1º, 2º e 3º ciclos nas áreas de Agricultura, Análise de Sistemas e Planeamento e Ordenamento do Território. Membro e coordenador de diversos projectos de I&D nas áreas da agricultura de precisão e de planeamento e ordenamento de sistemas agrícolas. É autor de mais de 100 publicações científicas, técnicas e de divulgação.

José Rafael Marques da Silva



Licenciado em Engenharia Agrícola pela Universidade de Évora; Doutor em Ciências Agrárias pela Universidade de Évora; Agregado, em Agricultura de Precisão, pela Universidade de Évora. Vários artigos publicados em revistas internacionais sobre a temática da agricultura de precisão, tendo um destes artigos sido nomeado para o prémio EurAgEng Outstanding Paper Award 2008 (MARQUES da SILVA, J. R.. (2006); Analysis of the spatial and temporal variability of irrigated maize yield. Biosystems Engineering, 94(3), 337-349.).



Índice Geral

1.	NOTA PRÉVIA.....	1
2.	AGRICULTURA DE PRECISÃO.....	2
2.1.	Introdução.....	2
2.2.	Conceitos e Aplicações.....	4
2.3.	Tecnologias e sistemas de suporte.....	9
2.3.1.	Sistemas de posicionamento (GPS).....	9
2.3.2.	Sistemas de informação geográfica (SIG).....	11
2.3.3.	Análises de solos.....	12
2.3.4.	Detecção remota.....	16
2.3.5.	Sistemas de monitorização ambiental e da produtividade.....	18
2.3.6.	Aplicações diferenciadas (VRT - Variable rate technology).....	22
2.3.7.	Aspectos Económicos da Agricultura de Precisão.....	28
2.4.	Notas finais.....	30
2.5.	Referências e bibliografia para aprofundamento do tema.....	31
3.	CONDUÇÃO DE TRACTORES E MÁQUINAS AGRÍCOLAS POR GPS.....	34
3.1.	Introdução.....	34
3.2.	Constituição e funcionamento.....	37
3.3.	Características de funcionamento.....	43
3.4.	Vantagens.....	45
3.5.	Custos e limiar de rendibilidade.....	49
3.6.	Conclusões.....	52
3.7.	Referências.....	52
4.	BASE DE FUNCIONAMENTO E CASOS DE ESTUDO DE VRT: GESTÃO INTRA-PARCELAR DA DENSIDADE DE PLANTAS E TAXA DE APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES.....	54
4.1.	Introdução.....	54
4.2.	Constituição e princípio da Tecnologia de Taxa Variável (VRT).....	57
4.3.	Tecnologia de Taxa Variável (VRT) de semente: Aspectos Tecnológicos.....	61
4.4.	Tecnologia de Taxa Variável (VRT) de semente: Aspectos agronómicos.....	64
4.5.	Um caso de aplicação prática de VRT de semente.....	67

4.6. Conclusões.....	71
4.7. Referências	71
5. OBTENÇÃO, PREPARAÇÃO E ANÁLISE PRÉVIA DE MAPA DE PRODUTIVIDADE NA CULTURA DO MILHO.....	73
5.1. Introdução.....	73
5.2. Caracterização do monitor de produtividade	74
5.3. Montagem do monitor de produtividade	77
5.4. Calibração	80
5.5. Monitorização	81
5.6. Filtragem dos Dados	83
5.7. Análise do mapa de produtividade	86
5.8. Conclusões.....	90
5.9. Referências	90
5.10.ANEXO - Lista dos principais fabricantes de monitores de produtividade.....	91
6. AGRICULTURA DE PRECISÃO. EXEMPLO DA AVALIAÇÃO DO EFEITO DA TOPOGRAFIA E DA REGA SOBRE A VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DA PRODUTIVIDADE DO MILHO.....	92
6.1. Análise da produção	92
6.1.1. Resultados da análise da produção	98
6.2. Análise de viabilidade do sistema de produção utilizado	99
6.3. Estratégias a adoptar	102
6.4. Conclusão	104
7. NOVAS TECNOLOGIAS NA DISTRIBUIÇÃO DIFERENCIADA DE FERTILIZANTES EM PASTAGENS: O FECHAR DE UM CICLO EM AGRICULTURA DE PRECISÃO. 105	
7.1. A inovação em distribuidores de adubo	106
7.2. Principais erros cometidos na utilização de distribuidores de adubo..	110
7.3. Importância da determinação da largura efectiva de trabalho.....	115
7.4. Utilização de tecnologia VRT em pastagens	119
7.5. Novas perspectivas em pastagens	123
7.6. Referências	125

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Relação empírica estabelecida pelo agricultor entre a percentagem de limo fino e a densidade de plantas de milho e cevada.....	68
Tabela 2 – Parâmetros estatísticos da produtividade do milho grão.....	94

Índice de Figuras

Figura 1 – Esquema geral de um sistema de Agricultura de Precisão.....	9
Figura 2 – Aparelho GPS	10
Figura 3 – Moto-quatro adaptada para recolha de amostras de solo geo-referenciadas	12
Figura 4 – Mapa de pH.....	15
Figura 5 – Exemplo de NDVI	17
Figura 6 – Imagem da região de Beja.....	18
Figura 7 – Sistema de monitorização da produtividade e antena GPS numa ceifeira-debulhadora	20
Figura 8 – Carta de produtividade de milho grão seco.....	21
Figura 9 – Sistema de navegação com GPS, GIS e controlador VRT	24
Figura 10 – Distribuidor de adubo pneumático com sistema VRT (Centro de Investigación Agraria Finca La Orden – Valdesequera)	26
Figura 11 – Pulverizador VRT acoplado a tractor com antena de receptor GPS	27
Figura 12 – Os operadores de máquinas agrícolas conseguem maior uniformização na aplicação de semente, fertilizantes e fitofármacos em culturas arvenses e pastagens recorrendo a diversas técnicas para conseguir passagens tão paralelas quanto possível. A distância entre duas passagens consecutivas corresponde à largura de trabalho.....	35
Figura 13 – Falha na aplicação de herbicida em resultado da falta de uniformidade na aplicação do fitofármaco	36
Figura 14 – Resultado da utilização de um sistema de condução tradicional (esquerda) e de um sistema de condução por GPS (direita).....	37
Figura 15 – Componentes de um sistema de condução assistido por GPS.....	38

Figura 16 – Antenas de GPS (esquerda), receptores (centro), barra de luzes e ecrã (direita)	39
Figura 17 – Pormenor da montagem da antena GPS no topo exterior da cabine do tractor/máquina. Alternativamente pode ser montado directamente na alfaia ou outro ponto do tractor/máquina.....	39
Figura 18 – Sistema de condução assistida por GPS em que todos os componentes estão concentrados num único módulo compacto que é acoplado ao vidro dianteiro da cabine por “vácuo” e em que apenas se liga o cabo da alimentação e da antena GPS.....	40
Figura 19 – Exemplos das indicações dadas ao operador pelo monitor de condução associado ao GPS	41
Figura 20 – Sistema de condução automática com actuação no volante por um motor eléctrico que através de uma roda de fricção faz a orientação do volante em função dos desvios indicados pela barra de luzes e sem qualquer intervenção do operador.....	42
Figura 21 – Padrões de condução pré-definidos nos Sistemas de Condução Apoiados por GPS: linhas rectas (esquerda), linhas curvas (centro) e linhas concêntricas (direita)	44
Figura 22 – Alinhamentos de cada passagem com utilização de referências espaciais da parcela (em cima) e com a utilização do sistema de condução assistida por GPS (baixo).....	46
Figura 23 – Exemplo de Tecnologia de Taxa Variável (VRT) para azoto com base em sensores. A taxa de adubo aplicado em (1) é função do teor de clorofila medido em (2)	56
Figura 24 – Exemplo de um ciclo de actuação na gestão da variabilidade intra-parcelar	57
Figura 25 – Descrição gráfica do processo de regulação da taxa de aplicação de factores de produção na Tecnologia de Taxa Variável (VRT).....	59
Figura 26 – Variação da taxa de aplicação alvo e da taxa de aplicação no tempo (e portanto espaço) assim como do erro de aplicação, i.e., a diferença entre os dois valores. O tempo de resposta é o tempo mínimo que o variador de fluxo leva a atingir e manter uma determinada taxa de aplicação.....	60

Figura 27 – Adaptação de um distribuidor convencional com possibilidade de funcionar em modo centrífugo ou enterrando o fertilizante em dois dentes. O kit de adaptação é constituído por um (1) motor hidráulico de variação da velocidade do cilindro canelado de distribuição, (2) um sensor de rotações de feedback, (3) leitor e interpretador do mapa de prescrição associado a GPS (Agleader) e (4) um controlador VRT	64
Figura 28 – Mapa de produtividade e densidade de plantas à colheita de uma parcela de milho com cerca de 12 ha.....	66
Figura 29 – Sistema de VRT de semente Dickey-John instalado num semeador John Deere de 6 linhas. À esquerda o sensor de velocidade real entre o motor a roda dianteira direita. À direita o variador de fluxo visto pela frente	68
Figura 30 – Sistema de VRT de semente Dickey-John instalado num semeador John Deere de 6 linhas. À esquerda o controlador VRT instalado na cabine do tractor. À direita o variador de fluxo visto de trás.....	69
Figura 31 – O mapa da percentagem de limo fino, densidade de plantas de milho e cevada para uma parcela de cerca de 80 ha. A escala de cores varia de laranja escuro para os valores mais baixos (% limo fino menor que 15, densidade de plantação de milho de 75000 pl/ha e de cevada de 155 kg/ha) até azul-escuro para os mais elevados (% limo fino maior que 33, densidade de plantação de milho de 105000 pl/ha e de cevada de 205 kg/ha), passando sucessivamente pelo amarelo, verde claro, verde escuro e azul claro	70
Figura 32 – Consola AgLeader PFadvantage	74
Figura 33 – Aspecto do interior da cabine da ceifeira com a consola instalado no campo de visão e acção do operador.....	76
Figura 34 – Componentes de um monitor de produtividade para ceifeira-debulhadoras	76
Figura 35 – Sensor de massa para medição da produtividade das culturas, instalado no topo do elevador de grão	77
Figura 36 – Marcações e ajuste do sensor de humidade no elevador de grão	78
Figura 37 – Sensor de humidade do grão.....	78
Figura 38 – Abertura no topo do elevador de grão para montagem do sensor de massa.....	79
Figura 39 – Sensor de massa	79

Figura 40 – Desfasamento entre o corte das plantas e o registo da massa dos seus grãos.....	81
Figura 41 – Ecrã da consola durante o processo de monitorização permitindo o conhecimento da produtividade (YIELD) média e instantânea, a humidade do grão (MOISTURE), a área colhida até ao momento, a quantidade total de grão colhido, etc. É possível obter todos os ecrans em português.....	83
Figura 42 – Dados da monitorização da produtividade em bruto para duas parcelas de milho colhido em 2006 na zona de Elvas (10 ha).....	84
Figura 43 – Dados da monitorização da produtividade em bruto após individualização das parcelas monitorizadas (10 ha)	84
Figura 44 – Mapa da produtividade final. (1) zona de falha de passagem durante a aplicação de fertilizante (2) zona de passagem das torres da rampa pivotante	86
Figura 45 – Histograma da produtividade final	87
Figura 46 – Mapa da humidade do grão	88
Figura 47 – Mapa da margem bruta (€/ha).....	89
Figura 48 – Mapa da altimetria da parcela em estudo.....	94
Figura 49 – Mapa de produtividade em 2002	95
Figura 50 – Mapa de produtividade em 2003	95
Figura 51 – Mapa de produtividade em 2004	96
Figura 52 – Histograma da produtividade relativo aos três anos estudados... ..	97
Figura 53 – Classes de distância às linhas de escoamento.....	100
Figura 54 – Histogramas da produtividade média em função da distância às linhas de escoamento.....	101
Figura 55 – Coeficientes de variação: a) da produtividade média global, b) da produtividade média anual e c) da produtividade média em função da distância às linhas de escoamento	102
Figura 56 – “Ferticontrol” sistema de comando do distribuidor centrífugo de adubo "Vicon RS -EDW"	106
Figura 57 – Diagrama representativo da regulação da densidade de distribuição em distribuidores com comando electrónico.....	107
Figura 58 – À esquerda, actuador eléctrico; à direita, abertura das placas de dosagem do adubo	107
Figura 59 – Princípio de regulação do débito proporcional à velocidade de avanço.....	108
Figura 60 – Sistemas “Ferticontrol” (em baixo, à esquerda), “Fieldstar” (ao centro) e “Datatronic 2” (à direita), instalados na cabina do tractor MF 6130.....	109
Figura 61 – Diagrama esquemático de um sistema de aplicação diferenciada de fertilizantes	109

Figura 62 – Avaliação da granulometria do adubo	111
Figura 63 – Depósito de recolha de adubo simultânea de ambos os discos de um distribuidor centrífugo.....	112
Figura 64 – Transferência do mapa de aplicação de Superfosfato 18% para o terminal de comando via cartão de registo	113
Figura 65 – Ensaios de distribuição longitudinal do adubo.....	113
Figura 66 – Recipientes de recolha do adubo no campo; pormenor do dispositivo “anti-salpico”.....	114
Figura 67 – Passagens sucessivas de ida e volta do conjunto tractor-distribuidor	114
Figura 68 – Ensaios de campo para avaliação da largura efectiva de trabalho de distribuidores de adubo	117
Figura 69 – Curva transversal de distribuição de adubo.....	118
Figura 70 – Sistema “lightbar” de apoio à condução em linha recta do conjunto tractor-distribuidor	119
Figura 71 – Tratamento dos dados no <i>software</i> instalado no computador pessoal.....	121
Figura 72 – Recolha de amostras georeferenciadas, de solo (à esquerda) e de pastagem (à direita)	122
Figura 73 – À esquerda, mapa de distribuição do fósforo extraível na parcela (em p.p.m.); ao centro, mapa de distribuição da matéria orgânica na parcela (em percentagem); à direita, mapa de produção de matéria seca da pastagem (em kg/ha)	122
Figura 74 – Organização num Sistema de Informação Geográfica da informação relevante na tomada de decisão	124
Figura 75 – Medidor de condutividade eléctrica do solo “DUALEM” (à esquerda) e medidor da massa de matéria seca da pastagem “Grassmaster II” (à direita).....	124

1. NOTA PRÉVIA

A Agricultura é uma actividade básica, imprescindível para a satisfação de inúmeras necessidades humanas (alimentares, agasalho, energia, etc.), sendo, certamente, a mais antiga de todas as actividades económicas. Ao longo dos séculos, a agricultura foi evoluindo e modificando-se muito lentamente, mas nos últimos 120 anos sofreu uma enorme transformação. Primeiro, com a adopção da potência da máquina, a agricultura mecanizou-se. Mais tarde, nos últimos 50 anos, com a inclusão dos avanços no domínio da óleo-dinâmica, sofisticaram-se as máquinas que passaram a ter mecanismos de assistência no comando e controlo. Depois, nos últimos 20 anos, assistimos à introdução de variados complementos dos sistemas anteriores, suportados por sensores electrónicos, que possibilitaram a criação de automatismos. Finalmente, ao longo da última década, temos vindo a assistir à crescente adopção e integração com as tecnologias de informação.

Esta notável evolução das tecnologias disponíveis foi, seguramente, a condição necessária para o advento da agricultura de precisão, a que se juntou, como condição suficiente, a crescente preocupação com a prossecução de uma actividade agrícola praticada de forma sustentável, em termos técnicos, económicos e sociais.

De facto, foi o desenvolvimento de instrumentos computacionais, de sensores vários que permitem a monitorização ambiental, da robótica, de novos meios de tele-comunicação rápida e acessível que permitiram concretizar as hipóteses de gestão da agricultura de precisão, que, até então, estavam apenas no domínio da imaginação, ou, na melhor das hipóteses, da ficção científica.

Com este pequeno manual esperamos contribuir para o esclarecimento desta “nova” técnica de fazer Agricultura, acentuando que isso passa, essencialmente, por mais conhecimento de como usar, controlada e sustentavelmente, os recursos ambientais, biológicos e tecnológicos, para assim, ser mais rigorosa e, portanto, mais precisa.

2. AGRICULTURA DE PRECISÃO

José Pimentel Castro Coelho (1), Luís Mira da Silva (1), António Cipriano Pinheiro (2), Miguel Tristany (3) e Miguel de Castro Neto (3) (4)

(1) Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Departamento de Produção Agrícola e Animal, josecoelho@isa.utl.pt, Imbignolas@isa.utl.pt

(2) Universidade de Évora, Departamento de Economia, acap@uevora.pt

(3) Agri-Ciência, Consultores de Engenharia Lda., mtristany@agriciencia.com; mneto@agriciencia.com

(4) Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação, Universidade Nova de Lisboa, mneto@isegi.unl.pt

2.1. Introdução

O conceito de Agricultura de Precisão está normalmente associado à utilização de equipamento de alta tecnologia (seja *hardware*, no sentido genérico do termo, ou *software*) para avaliar, ou monitorizar, as condições numa determinada parcela de terreno, aplicando depois os diversos factores de produção (sementes, fertilizantes, fitofármacos, reguladores de crescimento, água, etc.) em conformidade. Tanto a monitorização como a aplicação diferenciada, ou à medida, exigem a utilização de tecnologias recentes, como os sistemas de posicionamento a partir de satélites (v.g. GPS - Global Positioning System), os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) ou os sensores electrónicos, associados quer a reguladores automáticos de débito nas máquinas de distribuição quer a medidores de fluxo nas máquinas de colheita.

A Agricultura de Precisão aparece, geralmente, associada a dois objectivos genéricos: o aumento do rendimento dos agricultores; e, a redução do impacte ambiental resultante da actividade agrícola. O primeiro destes objectivos pode, por sua vez, ser alcançado por duas vias distintas mas complementares: a redução dos custos de produção; e, o aumento da produtividade (e, por vezes, também da qualidade) das culturas. O cumprimento do segundo daqueles objectivos está relacionado com o rigor do controlo da aplicação dos factores

de produção (sobretudo, produtos químicos, atendendo às externalidades ambientais negativas que lhes estão normalmente associadas), que deverá ser feita, tanto quanto possível, na justa medida das necessidades das plantas.

De facto, se soubermos, por exemplo, que as necessidades de azoto em duas áreas distintas de uma mesma parcela de terreno não são iguais, por hipótese, em função dos resultados da análise de terras para as duas situações, teremos, do ponto de vista estritamente técnico e teórico, vantagem em fazer variar a quantidade de adubo azotado em conformidade. Deste modo, seríamos naturalmente tentados a aplicar mais adubo na área em que as necessidades ou o potencial produtivo são maiores, e a reduzir a quantidade na área em que o potencial produtivo ou as necessidades são menores, em vez de, como usualmente sucede, aplicar um valor médio e igual em toda a parcela. Com esta forma de actuar, não só aumentaríamos a produção, aplicando mais adubo onde este é necessário, como também reduziríamos os custos e o impacte ambiental da actividade, não aplicando adubo em excesso e precavendo a provável lixiviação do azoto.

Na prática, tudo isto seria inquestionável, não fôra o caso de as tecnologias associadas à Agricultura de Precisão serem, quase sempre, complexas e caras. É exactamente por esta razão que o conceito não se encontra hoje em dia mais divulgado, nomeadamente no nosso país. Em primeiro lugar, só fará sentido recorrer à Agricultura de Precisão se os benefícios económicos daí decorrentes forem superiores ao investimento necessário à sua adopção; ora, infelizmente, são muito poucas as explorações, sobretudo em Portugal, com dimensão suficiente para, só por si, justificar ou viabilizar tais investimentos. Note-se que os investimentos a que nos referimos não passam apenas pela aquisição de determinados equipamentos (GPS, sensores, etc.), mas também pelo levantamento da situação de base e pela construção de um sistema de informação geograficamente referenciada.

Em segundo lugar, existe ainda um longo caminho a percorrer pelas tecnologias de informação associadas, especialmente no que se refere à sua facilidade de uso e de integração no negócio, isto é, ainda é necessário um esforço razoável para efectuar a recolha e processamento da informação necessária à prática da agricultura de precisão, esforço este com custos muitas

vezes inaceitáveis para o agricultor, nomeadamente quanto ao dispêndio do seu tempo/atenção.

Em terceiro lugar, na hipótese de que os investimentos sejam rentáveis, é necessário que existam pessoas (agricultores e/ou técnicos) com conhecimentos suficientes para ajustar, desenvolver e utilizar estas tecnologias.

O futuro, apesar de tudo, apresenta-se mais favorável. Por um lado, os equipamentos de alta tecnologia tendem a diminuir de preço, por vezes de forma muito marcada (um GPS de gama baixa, por exemplo, custava mais de 5000 euros há dez anos, existindo hoje à venda modelos similares por menos de 200 euros). Por outro, o nível educacional dos agricultores tem vindo a aumentar, existindo hoje cada vez mais estruturas de apoio técnico na agricultura. O nascimento e desenvolvimento de empresas especializadas no aluguer de máquinas e equipamentos agrícolas, que se tem vindo a registar nos últimos anos, pode igualmente contribuir para ultrapassar uma das maiores limitações à adopção destas tecnologias: a reduzida dimensão das explorações e os elevados custos de amortização daí decorrentes.

2.2. Conceitos e Aplicações

Podemos encontrar inúmeras definições para um conceito tão genérico como o de Agricultura de Precisão mas, pela sua abrangência e simplicidade, propomos o seguinte:

A Agricultura de Precisão envolve a aplicação diferenciada e à medida dos factores de produção, tendo em conta a variação espacial e temporal do potencial produtivo do meio e das necessidades específicas das culturas, de forma a aumentar a sua eficiência de utilização e, assim, melhorar o rendimento económico e reduzir o impacte ambiental da actividade agrícola.

A necessidade de criar e concretizar o conceito de Agricultura de Precisão deve-se, em todos os aspectos, ao próprio desenvolvimento da agricultura, ao progresso tecnológico e ao crescimento das preocupações em torno dos problemas ambientais.

Ao desenvolvimento da agricultura, porque foi ele próprio que criou a produção em larga escala, nomeadamente, como consequência da mecanização das actividades agrícolas. De facto, a agricultura tradicional era efectuada em pequena escala, podendo, neste sentido, ser considerada “de precisão”. Quando o ritmo de realização dos trabalhos é lento, como sucede com as operações realizadas com recurso à força de trabalho humana e/ou animal, é possível tratar diferente o que é diferente. É fácil, por exemplo, variar a intensidade do corte, planta a planta, na poda manual de fruteiras, ou variar a dose de semente ou de adubo, dentro de uma mesma parcela, em sementeiras ou adubações de cobertura efectuadas manualmente e a lanço. Com a mecanização e a extensificação da produção agrícola, a gestão intra-parcelar diferenciada torna-se, até certo ponto, impossível, sobretudo nas pequenas parcelas de terreno. A constatação de que nem todos os campos, nem mesmo porções de um mesmo campo, têm o mesmo óptimo de resposta económica à aplicação de um dado factor de produção (semente, fertilizante, água, etc.), abre as portas para uma nova forma de gestão a que chamamos "agricultura de precisão".

Foi o aparecimento de novas tecnologias, como o GPS e os SIG, e a evolução registada nos seus custos, que permitiram pensar na possibilidade, não só operacional mas também económica, de alcançar *precisão em larga escala*. Sem perder a eficiência que havia sido conseguida com o advento da mecanização, tornou-se possível novamente considerar cada pequena área ou parcela de terreno como uma unidade independente. As tecnologias associadas à Agricultura de Precisão permitem, como foi referido anteriormente, avaliar a variabilidade espacial da produtividade de uma cultura numa extensa área de terreno e aplicar, depois de avaliada a situação, os factores de produção em conformidade.

Por outro lado, o crescendo das preocupações em torno da questão ambiental, associado às externalidades negativas do modelo de agricultura convencional, que trata por igual o que na realidade é diferente, traduz-se num reforço das evidentes virtualidades ambientais do novo modelo de agricultura - a Agricultura de Precisão. A necessidade imperiosa de preservar o ambiente em que vivemos, empurra-nos para a adopção de práticas mais conservadoras e

menos poluentes dos recursos naturais (solo, água, biodiversidade, etc.). Ora, sendo a Agricultura de Precisão, por definição, mais pormenorizada e criteriosa na gestão espacial e temporal do potencial e dos factores de produção agrícolas, a sua prática abre-nos as portas para uma significativa redução do impacte ambiental da actividade agrícola.

A gestão racional da variabilidade espacial das características de uma parcela de terreno (a que chamamos gestão intra-parcelar), pode ser considerada como o principal objectivo da Agricultura de Precisão. Na maior parte dos casos, estas características estão associadas ao tipo de solo, como a capacidade de armazenamento de água, o teor em nutrientes, o pH, ou a matéria orgânica. No entanto, existem outras que o não estão, como o declive, a exposição ao sol, ou a existência de pragas e/ou doenças, e que são igualmente responsáveis pela variabilidade espacial da produtividade das culturas.

Note-se, ainda, que a variabilidade também pode ser temporal. De facto, se existem algumas variáveis que pouco variam no decurso do tempo, como o pH do solo, outras há que se alteram muito rapidamente, como o teor em água do solo. A avaliação da variabilidade destas características, que constitui a base da Agricultura de Precisão, tem necessariamente que atender à sua taxa de variação. Sendo assim, todo o processo de monitorização das características de uma parcela de terreno deve ter em atenção a variabilidade espacial e temporal. Quanto maior for a variabilidade espacial, maior deverá ser o número de pontos de amostragem por unidade de área (maior densidade de amostragem). Quanto maior for a variabilidade temporal, maior deverá ser o número de amostras por unidade de tempo (maior frequência de amostragem).

As tecnologias disponíveis, e o seu custo, são determinantes para o exercício da escolha entre diferentes alternativas. A propósito da rega, podemos construir um exemplo simples e esclarecedor. Suponha-se que se conhece a variabilidade da capacidade de armazenamento de água do solo no interior de uma determinada parcela. Partindo deste pressuposto e do conhecimento das necessidades de água da cultura aí instalada, seria desejável que a rega passasse a ser realizada em conformidade, aplicando mais água e menos frequentemente nas zonas da parcela com maior capacidade de armazenamento, e inversamente na situação oposta. Para isso, bastaria dispor de uma tecnologia de rega

suficientemente flexível, com respeito à distribuição espacial da água, para o permitir. Um sistema de cobertura total por aspersão, devidamente compartimentado em sectores, através da instalação de electro-válvulas em nós chave da rede, seria, por exemplo, um sistema adequado. Com um acréscimo da sofisticação do sistema, no sentido de monitorizar os consumos de água da cultura em tempo real, por exemplo, com recurso a uma estação meteorológica automática e a uma rede de malha adequada de sensores de humidade no solo, seria ainda mais fácil alcançar o óptimo da rega em toda a extensão da parcela. Note-se que, neste exemplo, a tecnologia de base de aplicação da rega (sistema de aspersão fixo) já está relativamente generalizada. O que falta é, "apenas", dar os seguintes passos: (1) fazer o reconhecimento e o levantamento cartográfico da variação da capacidade de armazenamento de água do solo na totalidade da parcela; (2) estruturar o problema e encontrar uma solução possível e satisfatória; (3) implementar a solução escolhida, o que passa pela aquisição de novas tecnologias de *hardware* e *software*.

Actualmente, os exemplos mais comuns de Agricultura de Precisão estão relacionados com a aplicação diferenciada no espaço de sementes, fertilizantes, fitofármacos e água de rega, o que se justifica, sobretudo, pelo elevado peso económico que estes factores normalmente representam nos custos totais das culturas, pela facilidade de relacionar o seu nível de utilização com a produtividade alcançada pelas culturas e pelo, maior ou menor, impacte ambiental que podem ter. As aplicações diferenciadas de fertilizantes, por exemplo, podem não só contribuir para aumentar consideravelmente o rendimento económico das culturas como ajudam a reduzir o arrastamento de nutrientes e a consequente contaminação das águas residuais e subterrâneas. Hoje em dia, é relativamente fácil (e barato) analisar o teor dos macronutrientes no solo, o que permite mapear a fertilidade de pequenas, médias ou grandes parcelas. Além disso, já existe tecnologia disponível que permite efectuar aplicações diferenciadas no espaço. No entanto, a inércia na adopção da Agricultura de Precisão persiste, podendo ser essencialmente explicada por três ordens de razões: (1) o baixo *know-how* específico, nestas matérias, de agricultores, técnicos e empresas ligadas ao sector; (2) o relativamente elevado custo inicial da mudança, associado aos

equipamentos (*hardware* e *software*) necessários a este tipo de agricultura; (3) a relativamente modesta escala de operação da generalidade das explorações agrícolas europeias e, sobretudo, portuguesas.

No caso dos outros factores de produção, a importância relativa dos resultados económicos e ambientais pode ser distinta, mas existe igualmente tecnologia disponível para efectuar aplicações de acordo com necessidades espacialmente distintas e definidas. Seja em que caso for, se a variabilidade espacial existir, se for possível medi-la e determinar como afecta a produtividade e a qualidade das culturas, e se existir tecnologia para aplicar os factores de produção de forma diferenciada, serão apenas as variáveis de natureza económica a ditar se é vantajoso adoptar sistemas de Agricultura de Precisão. Neste particular, pesa muito a situação específica de cada exploração, nomeadamente no que concerne à intensidade da variação das condições do meio no seu interior e à sua dimensão física e/ou económica.

A Figura 1 pretende dar uma ideia geral sobre as possibilidades e o método de concretização da Agricultura de Precisão.

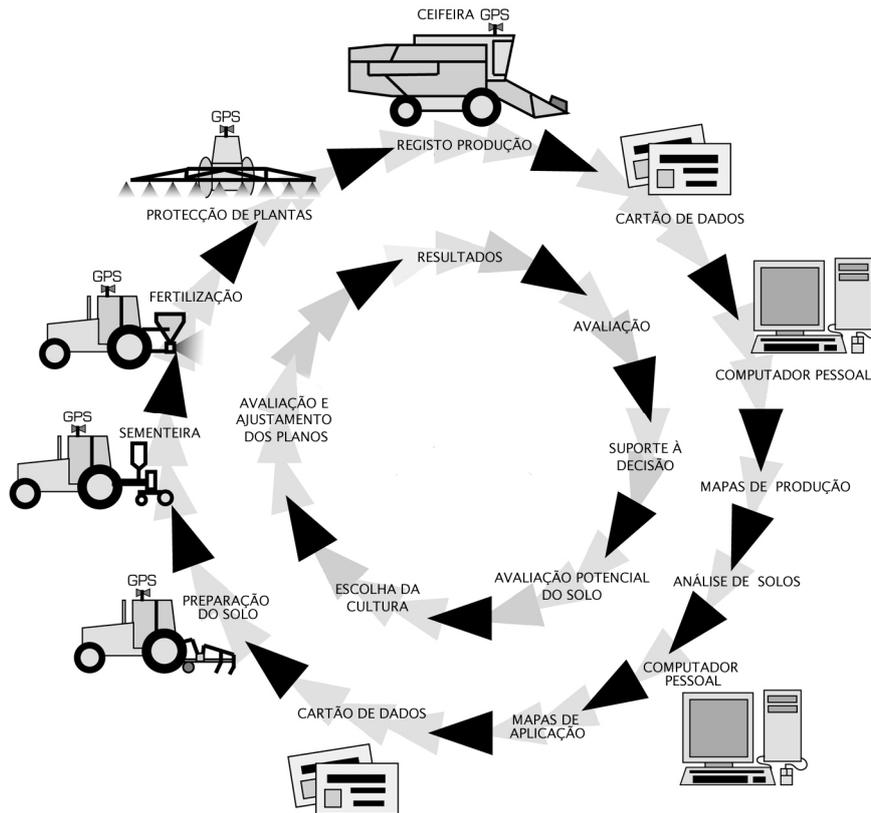


Figura 1 – Esquema geral de um sistema de Agricultura de Precisão

Fonte: adaptado de <http://pubs.ext.vt.edu/442/442-500/442-500.html>

2.3. Tecnologias e Sistemas de Suporte

2.3.1. Sistemas de posicionamento (GPS)

De uma forma genérica, pode considerar-se que os sistemas de posicionamento servem para determinar a localização de um objecto no ar ou na superfície terrestre. O GPS (Global Positioning System) é, a uma distância considerável dos seus concorrentes (como o sistema Russo GLONASS), o sistema de posicionamento mais utilizado nos nossos dias. O GPS está, por este motivo, na base de quase todos os sistemas de Agricultura de Precisão, uma vez que para determinar a variabilidade espacial de uma dada característica do solo ou de uma cultura é necessário conhecer a localização geográfica precisa de cada um dos pontos utilizados na amostragem.

Para determinar a localização de um determinado objecto, o GPS utiliza sinais

rádio enviados por um sistema de satélites controlado pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América. O sistema, de utilização gratuita, encontra-se disponível para uso comercial, 24 horas por dia, desde 1995, tendo sido, antes desta data, utilizado exclusivamente em sistemas de navegação com fins militares. Nos últimos anos, a sua utilização generalizou-se, encontrando-se hoje em dia aplicações na navegação marítima (comercial e de cruzeiro), na navegação terrestre (existindo já automóveis com GPS instalado de origem), ou na navegação aérea (todos os aviões de construção recente possuem GPS).



Figura 2 – Aparelho GPS

Fonte: <http://www.trimble.com>

O sistema pode ser dividido em dois componentes principais: um sistema de satélites e um receptor de sinais no utilizador. O primeiro componente é composto por 24 satélites NAVSTAR (*Navigation by Satellite Timing and Ranging*) que giram em torno do globo terrestre, percorrendo uma órbita em cada 12 horas. Cada um destes satélites pode enviar ou receber sinais rádio. A forma como as suas órbitas estão dispostas garante que, em qualquer momento, existem pelo menos quatro satélites visíveis de um qualquer ponto à superfície do globo terrestre. Naturalmente, o termo visível, neste contexto,

significa apenas que os sinais rádio que enviam podem ser captados por um aparelho na Terra. Este aparelho, o receptor de sinais no utilizador, possui três componentes principais: um receptor rádio, um relógio, e o software necessário para efectuar todos os cálculos que permitem determinar a sua localização ou posição geográfica.

2.3.2. Sistemas de informação geográfica (SIG)

Na sua definição mais simples, Sistema de Informação Geográfica (SIG) é uma aplicação informática que permite associar informação de natureza espacial e informação alfanumérica.

A grande diferença entre um SIG e outros sistemas de informação não geográficos consiste na sua capacidade de manipular informação com base em atributos espaciais. Esta capacidade de relacionar camadas de dados através de atributos georeferenciados comuns, permite combinar, analisar e, finalmente, cartografar os resultados.

Actualmente, debatemo-nos com uma série de grandes questões que têm uma vincada dimensão espacial - excesso de população em muitas áreas, poluição, desertificação, desastres naturais, etc.. Por outro lado, a localização de um novo negócio, a determinação do melhor solo para uma dada cultura ou a descoberta da melhor rota para um dado destino são, também, problemas com uma natureza espacial que podem ser tratados com o recurso a SIG. Os SIG permitem-nos criar mapas temáticos, integrar informação da mais diversa natureza, visualizar múltiplos cenários, resolver problemas complexos, apresentar ideias e propor soluções. São essencialmente estas duas características, a possibilidade de utilização em áreas muito diversas e a capacidade de análise, que têm sido responsáveis pelo sucesso e o espectacular aumento da utilização dos SIG, nomeadamente, na agricultura.

No sector agrícola, os SIG têm vindo a ser cada vez mais usados em planeamento e gestão a nível regional e da exploração (gestão de perímetros de rega, cartas de potencial agrícola, estudos e projectos de emparcelamento, gestão da exploração, etc.). A sua utilização em sistemas de Agricultura de Precisão é fundamental, dado que a maior parte das tecnologias que servem de

base a estes sistemas necessitam de informação georeferenciada. Os SIG são utilizados para armazenar, analisar e apresentar a informação. De facto, é a integração dos SIG com outras tecnologias recentes, como o GPS, que permite criar a estrutura complexa de dados subjacente à maior parte dos sistemas de Agricultura de Precisão.

2.3.3. Análises de solos

A realização de análises de solos é hoje uma prática comum na maior parte dos sistemas de produção agrícola dos países desenvolvidos. No nosso país, dada a variabilidade espacial dos solos, que muitas vezes se revela mesmo em pequenas parcelas, estas análises são fundamentais. De qualquer forma, é necessário decidir quais as variáveis que importa analisar, ou seja, quais as variáveis que, em determinadas condições, mais afectam o crescimento e o desenvolvimento das culturas.



Figura 3 – Moto-quatro adaptada para recolha de amostras de solo geo-referenciadas

Fonte: <http://www.irishscientist.ie>

A fertilidade e o pH do solo são, geralmente, as primeiras características a considerar. No que diz respeito à fertilidade do solo importa não só ter em conta o teor de macronutrientes principais (N, P e K), como de macronutrientes secundários (Ca, Mg e S) e micronutrientes (B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn). Além

disso, importa saber se estes nutrientes estão disponíveis para as plantas. As análises de solo determinam, por exemplo, os teores em potássio e fósforo assimiláveis, e não as quantidades totais destes nutrientes no solo. É por esta razão que o pH tende e deve ser incluído nas análises de fertilidade. De facto, o pH do solo está directamente relacionado com a disponibilidade da maior parte dos nutrientes. O fósforo, por exemplo, tende a ficar indisponível para as plantas tanto em condições de pH ácido, em que forma compostos insolúveis com o ferro e o alumínio, como em condições de pH alcalino, insolubilizando-se na forma de fosfatos de cálcio e magnésio.

Além da fertilidade e do pH existem outros factores que podem afectar as culturas, nalguns casos de forma muito marcada. No que diz respeito às características do solo agrícola são, igualmente, importantes: a profundidade; o teor em matéria orgânica; a textura; a estrutura; a capacidade de armazenamento de água; a drenagem (interna e externa); a permeabilidade; a compactação; e a capacidade de troca catiónica. Além disso, é fundamental ter em conta o declive e a exposição do terreno. É da interacção de todas estas variáveis, entre outras, que depende o crescimento e o desenvolvimento das culturas.

Algumas das variáveis mencionadas acima são mais fáceis e mais baratas de analisar que outras. Por outro lado, existem características do solo que é possível modificar e outras em que o custo das alterações é superior aos benefícios que estas podem gerar. Neste último caso, é economicamente inviável realizar qualquer intervenção. As análises de solos devem, assim, incluir tantas variáveis quanto seja viável do ponto de vista operacional e económico analisar, mas dando sempre prioridade àquelas sobre as quais é possível intervir.

Nos sistemas de agricultura convencional é comum efectuar pelo menos uma análise de solo por parcela (a dimensão da parcela pode aconselhar a fazer mais). Esta análise efectua-se, normalmente, sobre uma amostra proveniente da mistura de várias sub-amostras de solo colhidas aleatoriamente e segundo um traçado em estrela. A fertilização, quando feita com base nos resultados desta análise e nas recomendações do laboratório que geralmente a acompanham, é realizada homoganeamente em toda a parcela. A taxa de

aplicação é, pois, a mesma em toda a área da parcela, independentemente da maior ou menor variabilidade espacial do solo. Os sistemas de Agricultura de Precisão, pelo contrário, visam variar a taxa de aplicação dos nutrientes (ou correctivos) de acordo com as necessidades específicas de cada área de uma mesma parcela. Para isso, é obviamente necessário conhecer a variabilidade espacial das características do solo, o que só é possível colhendo e analisando várias amostras, das quais é necessário determinar a localização precisa na parcela.

Se utilizarmos um GPS para determinar onde foram colhidas as amostras, podemos conhecer a localização exacta que corresponde a cada análise de solo. Os resultados destas análises podem ser utilizados para criar mapas de fertilidade (em SIG), aos quais, entre outros, poderão estar associados diferentes níveis de aplicação de fertilizantes. Normalmente, cada um destes mapas representa uma variável, podendo a sua execução ser mais ou menos complexa. Quando as análises de solo representam *áreas*, i.e., quando as amostras foram colhidas aleatoriamente numa secção rectangular ou numa mancha de um determinado tipo de solo, os mapas podem ser directamente construídos. Para isso, basta atribuir a cada secção, ou mancha, o nível de fertilidade correspondente. Quando as análises representam *pontos*, i.e., quando as amostras foram colhidas no centro de cada secção rectangular, a interpretação dos dados não é, no entanto, tão simples. Nestes casos, podem ser utilizados métodos de análise de proximidade para desenhar os mapas. Estes métodos permitem preencher as zonas entre os *pontos* a partir de modelos matemáticos mais ou menos complexos, criando gradientes de fertilidade em vez de áreas (i.e., secções rectangulares ou manchas) com características homogéneas.

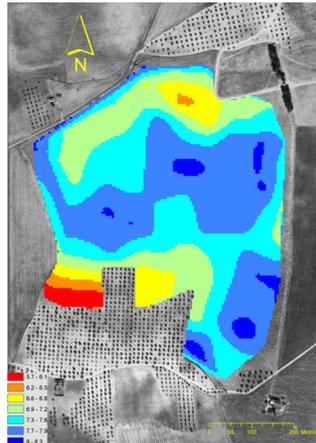


Figura 4 – Mapa de pH

Fonte: José Rafael Marques da Silva

As variáveis a incluir nas análises de solo, a periodicidade da sua actualização, e o período do ano em que devem ser colhidas as amostras, dependem de inúmeros factores, como as culturas e rotações que caracterizam o sistema de produção, os itinerários tecnológicos destas culturas, ou as condições climáticas do local. Além disso, é importante ter em atenção as variáveis em estudo, nomeadamente porque umas podem alterar-se mais rapidamente do que outras (v.g. enquanto o azoto disponível para as plantas varia ao longo dos meses, o pH do solo tende a manter-se constante ao longo dos anos).

Outra questão fundamental, a que por vezes não é dada a devida atenção, é a variação das características do solo com a profundidade. Algumas características, como o pH ou o teor em fósforo assimilável, tendem a variar consideravelmente com a profundidade, nomeadamente em sistemas de mobilização reduzida. Quando se efectuam análises de solo, nomeadamente quando se pretendem utilizar os seus resultados em sistemas de Agricultura de Precisão, é necessário ponderar cuidadosamente todos estes factores. Só assim será possível utilizar os resultados de forma a obter maiores rendimentos e reduzir o impacte ambiental das culturas, ou seja, atingir os objectivos visados com a prática de um sistema de Agricultura de Precisão.

2.3.4. Detecção remota

De uma forma genérica, "detecção remota" significa "a recolha de informação de um objecto, área ou fenómeno, com o auxílio de um dispositivo que não esteja em contacto directo com esse mesmo objecto, área ou fenómeno". Esta definição é, de facto, bastante lata, uma vez que nela cabem acções como uma simples fotografia com uma máquina fotográfica de bolso, ou até a própria leitura: os olhos actuam como sensores, recolhendo informação (contraste entre zonas mais claras e mais escuras) que é enviada ao cérebro através de impulsos eléctricos, informação essa que é depois interpretada e analisada.

Se pretendermos uma definição útil no contexto da cartografia, como base para áreas de estudo como o ordenamento do território e o planeamento agrícola, torna-se necessário restringir o conceito. Assim, e neste âmbito, "detecção remota" (DR) pode ser definida como "o processo de recolha de informação de áreas e objectos sobre ou próximos da superfície terrestre, por um sensor de radiação electromagnética colocado acima da mesma superfície terrestre". Este "acima da superfície terrestre" pode significar algumas centenas de metros (no caso de um avião), ou algumas centenas ou até milhares de quilómetros, no caso de um satélite.

As aplicações agrícolas e de gestão dos recursos naturais ocupam uma posição de relevo entre os diversos tipos de aplicação das técnicas de detecção remota. Entre as potencialidades que a Detecção Remota oferece no campo agrícola destacamos:

- **IAF** - Um exemplo clássico é o cálculo do Índice de Área Foliar (IAF, ou LAI em inglês), por ser uma variável de relevo em muitos modelos de crescimento das culturas desenvolvidos para a previsão de colheitas. Sendo a fiabilidade dos modelos de crescimento normalmente bastante reduzida em condições de stress, a possibilidade de inclusão de informação obtida por detecção remota acerca do estado real de crescimento de uma cultura significa um passo muito importante. As reflectâncias no verde, vermelho e IV próximo são as variáveis passíveis de serem utilizadas no cálculo do IAF, tendo sido feitos inúmeros trabalhos usando diferentes combinações de diferentes bandas para minimizar perturbações indesejáveis devidas a diferenças no solo ou às

condições atmosféricas.

- **NDVI** - Estimar o tipo, extensão e condições da vegetação numa determinada região é um dos objectivos primários de qualquer investigação do uso do solo. Um *índice de vegetação* é um valor estimado a partir de dados obtidos por detecção remota utilizado para quantificar a cobertura do solo por vegetação. Embora existam muitos índices com esta finalidade, o NDVI (Normalized Difference Vegetative Index) é o mais largamente utilizado a nível global. Tal como a maioria dos índices deste tipo, o NDVI é calculado através da razão entre a reflectância no vermelho e no IV próximo, as duas bandas mais afectadas pela absorção da clorofila nas folhas e pela densidade de vegetação verde na superfície do solo e também porque fornecem um contraste máximo entre solo e vegetação. O NDVI é um produto classificado vulgarmente como uma *transformação*, uma vez que, a partir de uma imagem inicial, é obtida uma imagem completamente nova através de uma fórmula matemática aplicada a cada *pixel*.

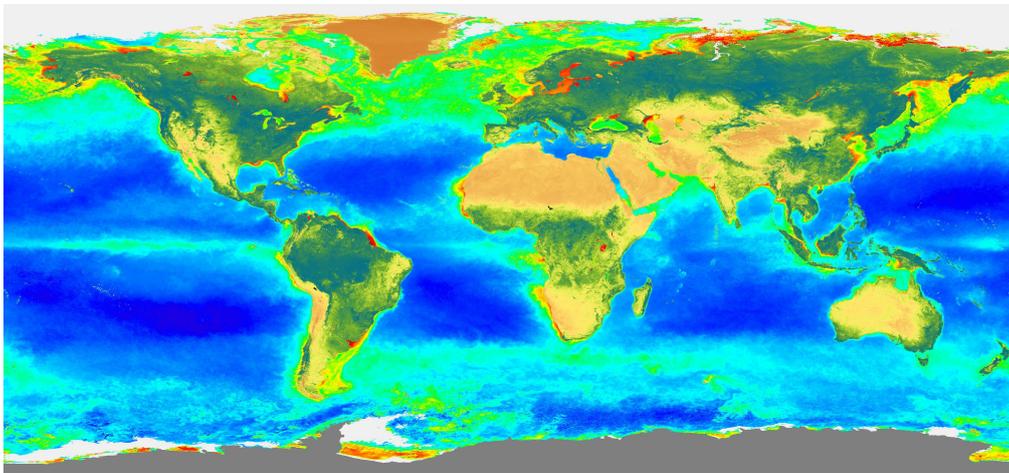


Figura 5 – Exemplo de NDVI (amarelo para valores mais baixos e ciano para valores mais altos)

Fonte: <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov>

- **Cartografia e cadastro** - Em termos de produto final, este é um campo de aplicação em que a detecção remota pouco traz de novo, uma vez

que a fotografia aérea convencional há muito disponibiliza imagens de elevada qualidade e resolução. Os sistemas baseados em satélites de elevada resolução espacial eram, até há poucos anos, reservados exclusivamente aos militares. A grande diferença, por comparação com a fotografia aérea tradicional, está na rapidez de disponibilização e no preço. Anteriormente, passavam-se meses entre a aquisição e a disponibilização das imagens, devido ao complexo processo de ortorectificação exigido; por outro lado, só as grandes organizações tinham a capacidade financeira para efectuar voos específicos à medida das suas necessidades. O interesse deste tipo de imagens em aplicações agrícolas é evidente, pois torna-se muito mais fácil actualizar cadastro de propriedade, de caminhos, etc.

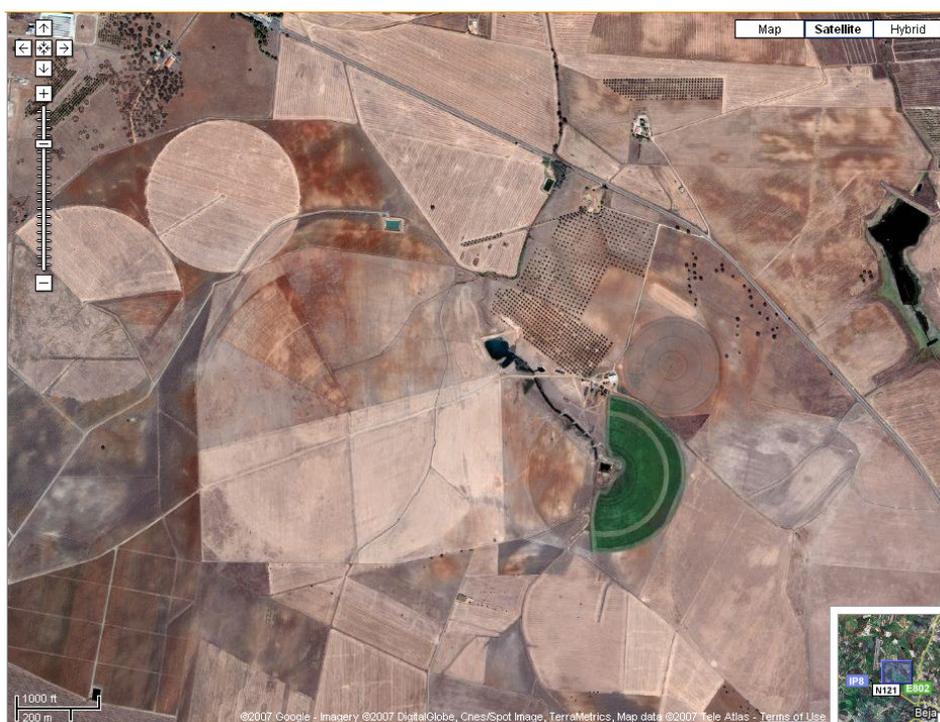


Figura 6 – Imagem da região de Beja

Fonte: <http://maps.google.com>

2.3.5. **Sistemas de monitorização ambiental e da produtividade**

Como já afirmámos a Agricultura de Precisão envolve a aplicação diferenciada e à medida dos factores de produção, tendo em conta a variação espacial e

temporal do potencial produtivo do meio e das necessidades específicas das culturas. A Agricultura de Precisão carece, assim, dum esforço cuidado, pormenorizado e continuado de determinação do potencial produtivo. Com este propósito, é vulgar o recurso a dois grandes tipos de sistemas de monitorização: o ambiental, que caracteriza a evolução de vários parâmetros do meio e das próprias plantas ao longo do tempo e no decurso da cultura, e; o da produtividade, que abordamos de seguida e que estima a variação espacial (no interior de uma parcela ou folha de cultura) da produção alcançada pela cultura.

Com o aparecimento das tecnologias associadas à Agricultura de Precisão tornou-se possível medir a produtividade em pequenas áreas, de forma bastante mais detalhada. Este é, sem dúvida, um passo decisivo quando se pretende adoptar um sistema de Agricultura de Precisão. A monitorização da produtividade permite ao agricultor determinar a variabilidade de um dos componentes chave da sua função objectivo, i.e., a receita. De facto, se não existir uma variabilidade espacial acentuada da fertilidade potencial do meio, os benefícios resultantes da adopção das tecnologias de Agricultura de Precisão, nomeadamente os ganhos de produtividade, não deverão ser relevantes. Possivelmente, nestes casos, não faz sequer sentido investir em sistemas que permitam medir ou monitorizar o comportamento de outras variáveis. Pelo contrário, se existir uma variabilidade espacial marcada da produtividade, a sua análise permitirá não só determinar se vale a pena ir mais longe, como ajudará a identificar, numa primeira fase, quais as variáveis que devem ser estudadas e quais as análises complementares que são necessárias.

A monitorização da produtividade é, actualmente, a tecnologia de Agricultura de Precisão mais utilizada pelos agricultores dos países mais desenvolvidos, estando a sua aplicação muito difundida no caso das culturas arvenses para grão (v.g. cereais de Inverno, milho, soja, etc.). Existem igualmente sistemas para monitorizar a produtividade de outras culturas, como algumas hortícolas (v.g. tomate, batata), industriais (v.g. beterraba) ou forrageiras. No entanto, é nos cereais que estes sistemas têm tido maior implantação. De facto, as ceifeiras debulhadoras mais recentes, nomeadamente os seus modelos de topo de gama, já vêm equipadas com estes sistemas de origem. Note-se que, no

contexto da Agricultura de Precisão, estes sistemas referem-se à monitorização instantânea da produtividade, ou seja, a um conjunto de tecnologias que permite medir, em tempo-real, a produtividade de uma cultura que corresponde a uma pequena parcela de terreno.

Os sistemas de monitorização de produtividade têm de ser capazes de medir a produção instantânea (isto é, a produção, em unidade de peso ou volume, por unidade de tempo, colhida em cada instante) e a área que corresponde a essa produção. Além disso, têm também que ser capazes de medir a humidade do grão, dado que esta pode afectar consideravelmente a produtividade. Note-se, que os aparelhos de medição utilizados nestes sistemas são muitas vezes de construção complexa e sensível, necessitando de ser calibrados a partir de métodos convencionais (i.e., secagem e pesagem do grão colhido em cada parcela), de forma a assegurar que os resultados obtidos não apresentam erros sistemáticos.

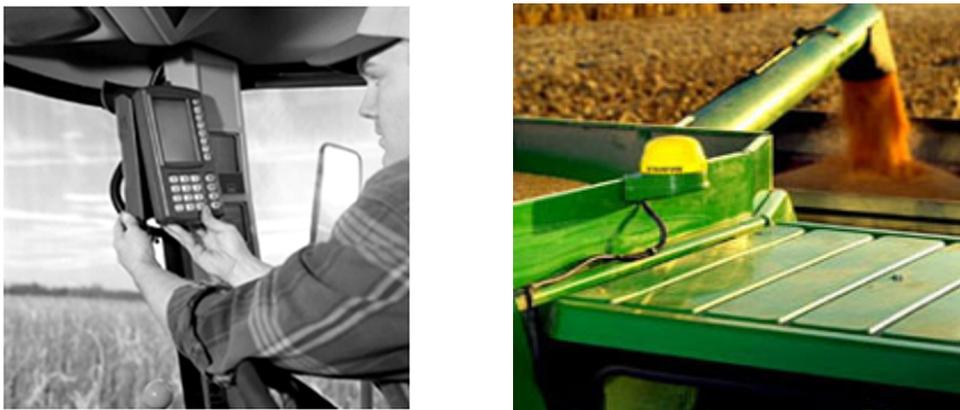


Figura 7 – Sistema de monitorização da produtividade e antena GPS numa ceifeira-debulhadora

Fonte: <http://www.deere.com>

Estes sistemas de monitorização fornecem valores instantâneos ou médios (sumários) da produtividade e teor de humidade do grão. Estes dados podem ser armazenados e posteriormente transferidos (por vezes convertidos) para serem analisados noutros programas de software (bases de dados, folhas de cálculo, etc.). Além disto, quando associados a GPS, os sistemas de monitorização da produtividade permitem recolher os dados necessários para construir mapas de produtividade (isto é, dados geo-referenciados).

Os mapas de produtividade podem ser construídos recorrendo a Sistemas de Informação Geográfica (SIG), o que facilita substancialmente o tratamento e visualização da informação. Tudo isto, pode ser feito em tempo real, se for possível recorrer a DGPS, ou a posteriori, quando apenas existe GPS. Neste último caso, a correcção diferencial é feita posteriormente, recorrendo a dados fornecidos via Internet.

Os mapas gerados pelos sistemas de monitorização, nomeadamente depois de tratados os dados, fornecem uma informação muito útil aos agricultores, podendo ser considerados como instrumentos de suporte à tomada de decisão. De facto, a análise da variabilidade espacial da produtividade no seio da parcela pode estar associada a inúmeros factores, relacionados com as características do solo (espessura efectiva, fertilidade, pH, permeabilidade, etc.) ou das próprias culturas (pragas e doenças, infestantes, mobilizações, etc.). Muitas vezes, os sistemas de monitorização da produtividade possibilitam, por si só, a identificação destas limitações, permitindo corrigir os problemas e aumentar as produções no ano seguinte. Além disso, tornam possível a realização de ensaios de campo simples (mas em condições reais) nas explorações, permitindo que os agricultores avaliem as reacções das culturas a determinadas opções fitotécnicas (v.g., a utilização de um adubo diferente, uma calagem, ou um sistema de mobilização distinto).

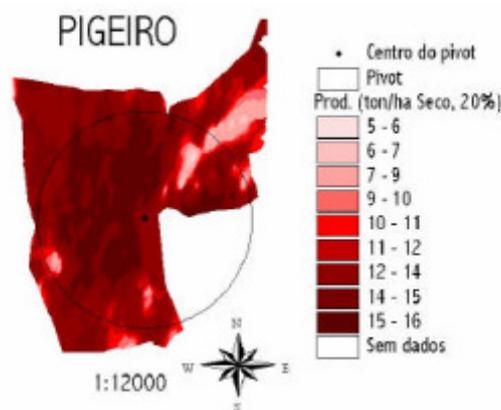


Figura 8 – Carta de produtividade de milho grão seco.

Fonte: Marques da Silva e Garcia, 2002

É necessário, no entanto, ter em atenção que a actividade agrícola depende de factores extremamente diversos, e que as condições podem mudar de forma marcada com a variação intra e inter-anual das condições climáticas. Por vezes, é necessário recolher informação ao longo de vários anos e analisar outras variáveis, para conseguir compreender os padrões de variabilidade na produtividade das culturas.

No entanto, não hesitamos em afirmar que a monitorização da produtividade, ou pelo menos a identificação da grandeza da variação intra-parcelar da produção, constitui, quase sempre, o primeiro passo na implementação de um sistema de Agricultura de Precisão, mas está, normalmente, longe de ser suficiente para solucionar todos os problemas.

2.3.6. Aplicações diferenciadas (VRT - Variable rate technology)

As tecnologias descritas até agora servem apenas para recolher e tratar informação georeferenciada relativa às características dos solos e das culturas. Para que o ciclo dos sistemas de Agricultura de Precisão se complete é necessário que a gestão das explorações utilize esta informação. As VRT podem ser definidas como o conjunto das tecnologias utilizadas para efectuar aplicações diferenciadas dos factores de produção tendo em conta a informação recolhida para cada unidade de área específica, num determinado instante e numa determinada parcela de terreno. A variabilidade temporal e/ou espacial é, deste modo, tida em conta quando se aplicam os fertilizantes, os fitofármacos, as sementes ou a água de rega.

As aplicações diferenciadas no tempo, não levantam grandes problemas de especialização tecnológica, sendo sobretudo limitadas pela possibilidade de, em tempo oportuno, aceder e transitar nas parcelas. Todavia, as aplicações diferenciadas no espaço já envolvem uma grande complexidade, podendo ser efectuadas segundo dois métodos distintos: os que se baseiam em mapas e os que se baseiam em sensores. Nos métodos baseados em mapas as taxas de aplicação variam, na maior parte dos casos, de acordo com a informação fornecida por um SIG, acerca da variabilidade espacial das parcelas. O GPS é fundamental neste caso, dado que o SIG tem de saber identificar, a cada instante, em que posição se encontra, para poder ajustar as taxas de aplicação.

Nos métodos baseados em sensores, as aplicações são efectuadas de acordo com informação fornecida por aqueles, em tempo real. Estes sensores podem avaliar as condições do solo ou das culturas, fornecendo informação para que se realizem as aplicações em conformidade. Neste caso, não é necessário o recurso a sistemas de posicionamento. Note-se, que os sensores podem ser os mesmos que se utilizaram para obter a informação georeferenciada para criar os mapas utilizados no sistema anterior. No entanto, neste caso, a resposta é dada de imediato, sendo possível ajustar as taxas de aplicação em tempo real.

Os métodos baseados em mapas possuem algumas vantagens relativamente aos que baseados em sensores. Entre outras, destacam-se: permitem utilizar tecnologias de recolha e análise de dados mais complexas, porque podem ser mais lentas e utilizadas num local distinto do da recolha dos dados; facilitam o controlo das máquinas de aplicação, uma vez que o sistema possui informação para *antever* a situação que vai ocorrer imediatamente a seguir; e, permitem calcular as quantidades a aplicar de um determinado factor *a priori*, o que pode ser importante no planeamento operacional da exploração. No entanto, estes métodos necessitam de *hardware* (nomeadamente DGPS em tempo real) e *software* (nomeadamente SIG) que, normalmente, não são necessários nos sistemas exclusivamente baseados em sensores. Além disso, podem não ser aconselháveis quando as características do solo e das culturas tendem a alterar-se rapidamente.

Os métodos baseados em sensores necessitam também de tecnologia específica, nomeadamente os próprios sensores, que têm que dar respostas em tempo real. Actualmente, existem já diversos exemplos de sensores que permitem avaliar diferentes características do solo e das culturas. Exemplos incluem sensores baseados na reflexão de luz (v.g., para medir o teor em matéria orgânica do solo, a existência de infestantes ou as deficiências de nutrientes nas culturas), baseados na resistência eléctrica (v.g. para medir o teor em humidade do solo), e baseados na impedância eléctrica (v.g. para medir o teor em nutrientes no solo). Qualquer destes sistemas pode efectuar medições erradas se não for utilizado nas condições adequadas ou se não estiver correctamente calibrado. Por esta razão, os métodos baseados em sensores necessitam geralmente de apoio técnico especializado ou,

alternativamente, técnicos formados na utilização do equipamento.

As aplicações diferenciadas estão dependentes, por outro lado, de tecnologias para controlar as taxas de aplicação dos factores de produção - os chamados *controladores*. Estes *controladores* não são mais do que microprocessadores que utilizam a informação dos sensores, fornecida directamente ou via SIG, para calcular a quantidade de um dado factor de produção que é necessário aplicar em cada unidade de área. Naturalmente, estes cálculos são efectuados de acordo com algoritmos cujo objectivo é otimizar a aplicação do factor. O resultado destes cálculos é transmitido pelos controladores às bombas, válvulas, etc., que accionam ou regulam os mecanismos de distribuição, fazendo variar as taxas de aplicação consoante as necessidades específicas em cada unidade de área. Estas bombas ou válvulas, podem assumir diferentes formas (centrífugas, de pistão, ou de membrana; de controlo mecânico, eléctrico, pneumático ou hidráulico;...). O objectivo, no entanto, é sempre o mesmo: variar as taxas de aplicação de forma automática. É justamente esta automatização da aplicação diferenciada dos factores de produção que fecha o ciclo das tecnologias de Agricultura de Precisão.



Figura 9 – Sistema de navegação com GPS, GIS e controlador VRT

Fonte: <http://arkansasagnews.uark.edu/>

As tecnologias de aplicação diferenciada podem ser classificadas de acordo com os principais factores de produção aplicados: fertilizantes; fitofármacos; sementes ou plantas; e, água de rega. Os parágrafos seguintes discutem alguns dos exemplos mais importantes de Agricultura de Precisão de acordo

com esta classificação.

- **Fertilizações** - As fertilizações são, como já foi referido, a aplicação mais comum dos sistemas de Agricultura de Precisão. Estas, podem ser de adubos ou correctivos, sendo as mais habituais, nomeadamente devido à sua importância económica, as fertilizações com macronutrientes e as aplicações de calcário. Nos sistemas convencionais, estas aplicações são muitas vezes feitas recorrendo à(s) análise(s) de solo(s) e tendo em conta a produtividade potencial da cultura em causa. Nos sistemas de Agricultura de Precisão, também. No entanto, em vez de se utilizar o valor médio, resultante das várias amostras ou subamostras de solo efectuadas na parcela, respeita-se o valor específico de cada mancha de solo e efectuam-se aplicações diferenciadas a cada mancha consoante as necessidades. Para isto, é necessário, obviamente, efectuar pelo menos uma análise em cada unidade mínima de área considerada (função da malha definida), de forma a permitir a criação de mapas de fertilidade. Depois, utilizam-se distribuidores (centrífugos ou pneumáticos), com mecanismos automáticos de regulação do débito, para efectuar as aplicações diferenciadas. No caso de algumas máquinas de distribuição, tanto na aplicação de fertilizantes como de fitofármacos, as taxas de aplicação podem também ser reguladas controlando, automaticamente, a velocidade de avanço do tractor.



Figura 10 – Distribuidor de adubo pneumático com sistema VRT (Centro de Investigación Agraria Finca La Orden – Valdesequera)

Fonte: Filipe Rodrigues

- **Aplicações de Fitofármacos** - As tecnologias utilizadas neste caso para fazer variar as aplicações são semelhantes às utilizadas no caso das fertilizações. Em termos genéricos, estas podem ser baseadas em sistemas de controlo de fluxo, de controlo de pressão, da velocidade de avanço das máquinas ou, ainda, da concentração da substância activa na calda. A forma como são determinadas as aplicações pode ser bastante distinta. Desde a definição de zonas de risco, onde se aplicam doses mais concentradas de um determinado fungicida (v.g. zonas de baixa, geralmente mais húmidas), até à criação de mapas, a partir de fotografias aéreas, com diferentes intensidades de infestação, a que deverão corresponder diferentes concentrações de um determinado herbicida, existem inúmeros exemplos possíveis. Os sistemas baseados em sensores e controladores que actuam em tempo real podem também ser, neste caso, muito importantes.



Figura 11 – Pulverizador VRT acoplado a tractor com antena de receptor GPS

Fonte: <http://www.deere.com>

- **Sementeiras e Plantações** - As formas de regulação da densidade de sementeira ou plantação são semelhantes aos exemplos citados anteriormente, nomeadamente no caso das sementeiras. No caso dos plantadores, os mecanismos podem ser mais complexos, mas os princípios de funcionamento são muito parecidos. As densidades de sementeira e plantação poderão variar de acordo com as características do solo. Nos solos onde as condições são mais favoráveis para o crescimento das culturas dever-se-á aumentar a quantidade de sementes ou plantas por unidade de área, dado que o potencial de base assim o permite. Pode, também, dar-se o caso de existirem condições particulares de uma dada mancha de solo que afectem a germinação das sementes, pelo que a densidade de sementeira deverá ser aí aumentada. A profundidade de sementeira poderá também ser distinta consoante as características do solo, nomeadamente de acordo com a textura, a estrutura e o teor em água.
- **Rega** - Existem hoje em dia, e cada vez mais acessíveis (i.e., com menores custos), sistemas de rega que permitem controlar a quantidade de água aplicada por sectores. Naturalmente, estes sistemas dependem consideravelmente dos métodos de rega (por aspersão, gravidade, gota-a-gota, etc.). Apesar disto, o princípio é sempre o mesmo: fornecer água

de acordo com as necessidades das culturas e as características do solo, tendo em conta a variabilidade espacial das parcelas regadas. Apesar de estarem disponíveis e serem, actualmente, relativamente simples, os sistemas de Agricultura de Precisão para rega têm sido lentamente adoptados, nomeadamente quando comparados com alguns dos exemplos mencionados anteriormente. No entanto, com as preocupações existentes nos nossos dias com a utilização da água, nomeadamente nas regiões, como as mediterrânicas, em que esta é um recurso cada vez mais escasso, existem razões para acreditar que estes sistemas poderão vir a ser muito importantes num futuro próximo. A adopção de sistemas LEPA (Low Energy Precision Application) tem sido muito bem sucedida na generalidade das zonas regadas dos países mais desenvolvidos (EUA, Canadá, Austrália, etc.).

- **Outras Operações Diferenciadas** - Além das aplicações diferenciadas de factores de produção, existem outras possibilidades de actuar nas culturas tendo em conta a variabilidade espacial das características do solo e das plantas. Entre estas, a variação da profundidade e intensidade das mobilizações do solo conta-se entre as mais desenvolvidas e vulgarizadas. Esta variação pode ser baseada, por exemplo, na textura, estrutura e espessura efectiva dos solos ou no seu teor em matéria orgânica. No caso de uma parcela em que exista uma área com solo mais argiloso e uma com solo mais arenoso, pode haver vantagem em intensificar a mobilização no primeiro caso e mobilizar menos intensamente ou a menor profundidade no segundo. Neste particular, são já hoje uma realidade, bastante testada e divulgada nas agriculturas mais avançadas, os sistemas automáticos de controlo do esforço de tracção, que permitem controlar e variar, em contínuo e em trabalho, a velocidade e a profundidade de mobilização.

2.3.7. Aspectos Económicos da Agricultura de Precisão

A Agricultura de Precisão (AP) pode definir-se como um sistema compreensivo para otimizar a produção agrícola, talhado para gerir o solo e as plantas de acordo com condições específicas de cada local (parcela de terreno) mantendo

a qualidade ambiental (Lowenberg-de-Boer, 1994).

A redução dos custos de produção parece ser a principal razão que leva os primeiros adoptantes a praticar agricultura de precisão (Popp and Griffen, 2000). Em síntese, o que se pretende com a AP é obter o máximo lucro da actividade praticada. No limite, isto consegue-se aplicando a Teoria Marginalista a cada planta e/ou a cada animal, o que se traduz na utilização de factores de produção nas quantidades que tornem a produtividade marginal de cada factor multiplicado pelo preço do produto igual ao custo do factor, isto é:

$P_m \cdot P_y = P_x$, onde P_m é a produtividade marginal do factor de produção em análise, P_y o preço do bem produzido e P_x o preço do factor de produção.

Na maior parte dos casos as expectativas são que as tecnologias usadas na AP façam reduzir as quantidades dos factores de produção a usar e aumentem as produções. A AP tornou-se, assim, por um lado um instrumento de gestão e, por outro, um meio de aumentar os lucros dos primeiros adoptantes.

Se é verdade que os custos com alguns factores de produção usados (como, por exemplo, adubos e pesticidas) diminuem, outros (como, por exemplo, os equipamentos) podem aumentar. Assim, os custos adicionais de mudar da tecnologia tradicional para a AP tornam-se críticos porque podem anular os benefícios da redução das quantidades de factores de produção e dos acréscimos de produção. Por isso, todos os processos de adopção de AP devem ser precedidos de uma análise de custo/benefício específica para o caso em análise. Lowenberg-DeBoer and Swinton (1997) relatam que dos 17 casos estudados sobre o lucro gerado pela AP, 30% mostraram que AP não era lucrativa e 35% mostraram resultados não concludentes. Contudo, num trabalho mais recente de Dayton e Lowenberg-DeBoer refere-se que dos 108 casos estudados só 12% tiveram lucro líquido negativo e 29% apresentaram resultados não concludentes. Estes dados mostram que houve uma elevada taxa de sucesso entre os primeiros adoptantes da AP (Gondonou *et al.*, 2001).

Antes de o agricultor enveredar pelas tecnologias da AP deverá possuir informação que lhe permitam fazer uma análise custo/benefício para a sua situação específica. Isto é, deve ter dados contabilísticos, ao nível de cada parcela, que permitam estimar os custos e os benefícios adicionais de adoptar

a AP. Para isto é preciso:

- Cartografar as produções relacionando-as com as características do solo;
- Estimar a disponibilidade de nutrientes no solo obtida por amostragem sobre as cartas de solo;
- Avaliar a melhoria ambiental devida à AP;
- Avaliar o grau de risco do aumento de lucro gerado pela AP;
- Estimar os custos fixos a que a AP vai obrigar (depreciação, juros, seguros impostos e outros);
- Avaliar os custos variáveis motivados pela AP (reparação e manutenção, óleos, combustíveis, mão-de-obra e outros);
- Comparar os custos variáveis de aluguer (caso seja possível esta modalidade) dos equipamentos com os da aquisição dos mesmos. Estimar a dimensão mínima da actividade (área, número de animais, ou outra) que torna vantajosa a aquisição de equipamentos.

Metodologia

Para avaliar se é ou não lucrativa a adopção da AP, o método mais apropriado será o Método dos Orçamentos Parciais. Com este método podem comparar-se duas alternativas de cada vez: neste caso será a situação corrente e a situação com AP. O objectivo é estimar a mudança que ocorrerá nos resultados líquidos da empresa resultante da alteração do plano de actividades que se traduzirá na redução de custos e eventual aumento de receitas.

2.4. Notas finais

Uma vez esclarecidos os principais conceitos e as possíveis aplicações da agricultura de precisão, vamos, nos pontos seguintes, primeiro, debruçar-nos sobre as tecnologias e os sistemas de suporte que permitem a sua efectivação para, depois, centrarmos a nossa atenção sobre uma série de casos de estudo.

Desde já, chamamos a atenção do leitor para a grande utilidade da leitura

destes casos, atendendo à sua originalidade e rigor científicos, bem como à sua aplicabilidade prática. Por último, não podemos deixar de agradecer a prestimosa colaboração dos autores desses mesmos casos. Bem hajam!

2.5. Referências e Bibliografia para Aprofundamento do Tema

- Burrough**, P. A.; McDonnell, R. A., 1998. *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford University Press 2nd edit., Oxford.
- Clevers**, J. G. P. W.; Büker, C.; van Leeuwen, H. J. C.; Bouman, B. A. M., 1994. A framework for monitoring crop growth by combining directional and spectral remote sensing information. *Remote Sens. Environ.* 50, 2: 161-170.
- Coelho**; J.C.; Mira da Silva, L.; Tristany, M.; Castro Neto, M.; Aguiar Pinto, P., 2004. *Agricultura de Precisão*. Prefácio, Lisboa. 106 pp.
- Colwell**, R. N., 1983. *Manual of Remote Sensing*. ASPRS, Falls Church, Virginia, USA.
- Cook**, E. A.; Iverson, L. R.; Graham, R. L., 1989. Estimating forest productivity with Thematic Mapper and biogeographical data. *Remote Sens. Environ.* 28:131-141.
- ESRI** (2001). *What is ArcGIS?*. Environmental Systems Research Institute, Inc., California, USA.
- Fresco**, L. O.; Kroonenberg S. B., 1992. Time and spatial scales in ecological sustainability. *Land Use Policy* 9: 155-168.
- Gondonou**, J., T.S. Stombaugh, C.R. Dillon, and S.A. Ahearer (2001). Precision Agriculture: A break-even acreage analysis. Paper Nuber:01-1029. An ASAE Meeting Presentation
- Goodland**, R.; Ledec, G., 1987. Neoclassical economics and principles of sustainable development. *Ecological Modelling* 38: 19-46.
- Groten**, S. M. E., 1997. Aerial photographs as a means of communication in land use planning. *Agriculture and Rural Development* 4, 1(1997), GTZ/CTA/DSE/DLG: 11-13.
- Horler**, D. N. H.; Ahern F. J., 1986. Forestry information content of Thematic Mapper data. *Int. J. Remote Sens.* 7, 3: 405-428.
- Lillesand**, T.; Kiefer, R., 1994. *Remote sensing and image interpretation*. John Wiley & Son, Inc., New York.

- Lowenberg-De-Boer, J.** and S. M. Swinton (1997). Economics of site-specific management in agronomic crops. *In the State of Site-Specific Management for Agricultural Systems*. F. J. Pierce, P.C. Robert and J.D. Sadler, eds. Madison, WI:SSSA-CSSA. P. 369-396.
- Lowenberg-De-Boer, J.** (1994). Economics of precision farming. *Ag/Innovator*, Sept.
- Marques da Silva, J. R. e Garcia, Francisco J. M.** (2002). *Agricultura de precisão, a agricultura da era planetária*. Actas do XIV Congresso Internacional de Ingeniería Gráfica, Santander, España, 5-7 de Junho.
- Morgan, M.; Ess, D.**, 1997. *The Precision Guide for Agriculturalists*. John Deere Publishing.
- National Research Council**, 1997. *Precision Agriculture in the 21st Century. Geospatial and Information Technologies in Crop Management*. National Academy Press, Washington, D.C.
- Neto, P.**, 1998. *Sistemas de Informação Geográfica*. FCA, Lisboa.
- Popp, J. and T. Griffen** (2000) Adoption profitability and Potential Trends of Precision Farming in Arkansas. Selected paper for Southern Agricultural Economics Association Annual Meeting, Lexington, KY, January 29- February 2.
- San-Payo, M. M.**, 1994. *Algumas notas sobre Sistemas de Informação Geográfica*. Depto. Engenharia Rural, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.
- Serrano, J. M. P. R.; Peça, J. M. N. O.**, 1996. Agricultura de Precisão. Da Cartografia dos Rendimentos a um Novo Conceito de Gestão Agrícola. *Ingenium*, 2ª Série, Nº 11, Ago/Set 96: 66-70.
- Skidmore, A. K.; Watford, F. W.; Luckananurug, P.; Ryan, P.**, 1996. An operational expert system for mapping forest soils. *PE&RS* 62, 5: 501-511.
- Smyth, A. J.; Dumanski, J.**, 1993. *FESLM: An international framework for evaluating sustainable land management*. FAO. Roma.
- Tomlinson, R. F.**, 1990. *Geographic Information System - A new frontier. In Introductory readings in Geographic Information Systems*. Taylor & Francis, Bristol.
- Trangmar, B. B; Yost, R. S.; Uehara, G.**, 1985. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Advances in Agronomy* 38:45-94.

Wesseling, C. G.; Karssenberg, D. J.; Burrough, P. A.; van Deursen, W. P. A., 1996. Integrating dynamic environmental models in GIS. *Trans in GIS* 1:40-48.

3. CONDUÇÃO DE TRACTORES E MÁQUINAS AGRÍCOLAS POR GPS

Ricardo Braga (1)

(1) Escola Superior Agrária de Elvas, Instituto Politécnico de Portalegre, ricardo_braga@esaelvas.pt

3.1. Introdução

Uma das aplicações do GPS no âmbito da agricultura de precisão diz respeito à sua utilização na condução de tractores e máquinas agrícolas. Entre os sistemas disponíveis é possível fazer a distinção entre sistemas que fornecem ao operador uma indicação visual e/ou sonora de como alterar a direcção do tractor em relação ao pretendido, designados por sistemas de condução assistida por GPS, e sistemas em que o processo de alteração da direcção do tractor é automático e sem intervenção do operador, designados por sistemas de condução automática por GPS. Este capítulo fará uma descrição detalhada da constituição e funcionamento destes sistemas, dando também ênfase às suas vantagens em relação aos sistemas tradicionais e aos factores que afectam o limiar de rendibilidade destas tecnologias.

Os sistemas de condução assistida por GPS são já vulgares nos diversos países em que o conceito de Agricultura de Precisão se tem tornado mais popular (EUA, Brasil, Argentina). Frequentemente esta tecnologia é comercializada como uma das vertentes da Agricultura de Precisão, contudo a sua utilização pode ser bastante vantajosa independentemente de qualquer monitorização e mapeamento da colheita ou utilização de tecnologias de taxa variável (VRT). Em Portugal, estima-se que estejam já a ser utilizados algumas dezenas destes sistemas.

Os operadores de máquinas agrícolas recorrem a diversas técnicas para conseguirem passagens tão paralelas quanto possível de modo a conseguirem uma maior uniformidade na aplicação de semente, fertilizantes e fitofármacos em culturas arvenses e pastagens (Figura 12). Esta uniformidade é importante

quer do ponto de vista agronómico, quer ambiental e económico. A falta de uniformidade resulta do desvio do tractor em relação à passagem pretendida estipulada pela largura de trabalho. Quando estes desvios são significativos, o resultado é, por exemplo no caso da aplicação de fertilizantes, a existência de zonas da parcela com maior taxa de aplicação que o recomendado (no limite, o dobro) e zonas com menor taxa de aplicação que o recomendado (no limite, sem aplicação).

Em geral, a sub-aplicação de fertilizante conduz a perdas de produtividade da cultura, e, por conseguinte, a perdas económicas. Por outro lado, a sobre-aplicação de fertilizante, podendo não resultar obrigatoriamente em perdas de produtividade da cultura, provoca, sobretudo em aplicações de azoto, uma maior susceptibilidade à sua lixiviação o que acarreta custos ambientais. Em relação à aplicação de fitofármacos é possível descrever relações idênticas (Figura 13).

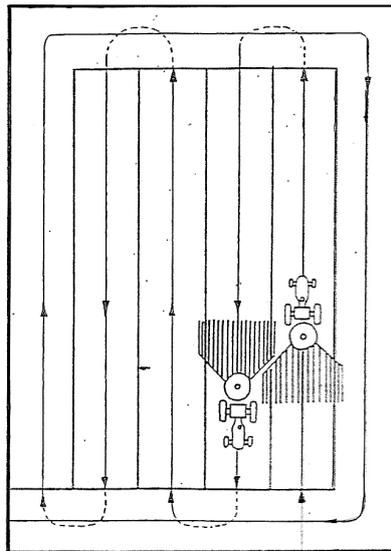


Figura 12 - Os operadores de máquinas agrícolas conseguem maior uniformização na aplicação de semente, fertilizantes e fitofármacos em culturas arvenses e pastagens recorrendo a diversas técnicas para conseguir passagens tão paralelas quanto possível. A distância entre duas passagens consecutivas corresponde à largura de trabalho

Fonte: Extraído de IEFP



Figura 13 – Falha na aplicação de herbicida em resultado da falta de uniformidade na aplicação do fitofármaco

Fonte: Extraído de Anónimo, 2009

O controlo de tráfego nas parcelas é conseguido tradicionalmente com recurso a riscadores, marcadores de espuma ou operadores de bandeirolas quando não existem referências nas parcelas. Após a emergência da cultura, e depois de algumas aplicações, as marcas deixadas na cultura podem servir de referência ao tráfego.

Estes métodos tradicionais além de elevadas taxas de sobreposição das passagens e falhas, apresentam ainda uma série de outras desvantagens. Actualmente, o método mais rigoroso de conseguir a uniformização da aplicação de factores de produção, para além de outras vantagens, é a utilização de sistemas de condução assistidos por GPS (Figura 14). Estes sistemas são constituídos por uma unidade de recepção de sinal GPS com correcção diferencial (DGPS) e por um mecanismo de apoio à condução. Este último pode apresentar-se sob a forma de uma barra com luzes (mais comum e também designado por “lightbar”), um ecrã ou um sistema de som. Nos sistemas de condução automática por GPS há ainda a adicionar um mecanismo de actuação na direcção de modo a tornar este processo automático.

Os sistemas de condução por GPS são particularmente indicados em sementeiras/distribuições a lanço e pulverizações. O erro de posicionamento actual não os torna ainda indicados para operações de distribuição em linhas.



Figura 14 – Resultado da utilização de um sistema de condução tradicional (esquerda) e de um sistema de condução por GPS (direita)

3.2. Constituição e Funcionamento

Os componentes básicos de um sistema de apoio à condução por GPS estão esquematizados na Figura 15. Os componentes principais são: o receptor DGPS, a antena, o controlador e o monitor para condução, juntamente com os diversos cabos de ligação. Constituem componentes opcionais: um armazenador de dados (“data logger”) e um sistema de som.

A antena capta o sinal DGPS (Figura 16) e é montada no topo do tractor ou alfaia de forma fixa ou magnética (Figura 17). O local de instalação da antena é de extrema importância para a performance do sistema pelo que esta deve ser montada em local com visibilidade do céu sob todos os ângulos.

O receptor DGPS determina a localização do veículo e envia essa informação ao monitor de condução permitindo o delineamento de uma rota de navegação correcta (linhas paralelas ou outra como se verá mais à frente). A correcção diferencial do sinal GPS é fundamental para a performance do sistema. O sinal GPS sem correcção não é suficientemente correcto para este tipo de utilizações, já que em 95% dos casos existem erros na ordem dos 10 a 35 m. O fornecimento da correcção diferencial tem, obviamente, de ser em tempo real para este tipo de aplicação. Para esse objectivo, existem diversas formas de obtenção do sinal de correcção diferencial em tempo real que podem ser utilizadas por si só ou combinadas. Para a maioria das aplicações é necessário

que o erro de posicionamento seja menor que 10 cm. O European Geostationary Navigation Overlay Service, EGNOS, é uma fonte de sinal de correcção diferencial disponível em tempo real e de forma gratuita, proporcionando erros compatíveis com a utilização da condução por GPS. Há também disponível no mercado sinais de correcção diferencial via rádio sujeitos a subscrição paga.

Alguns sistemas integram a antena e o receptor DGPS numa só unidade compacta em que apenas se liga o cabo da alimentação e da antena (Figura 18).

Um aspecto importante do receptor DGPS é a sua taxa de actualização, i.e., o número de vezes por segundo que o receptor envia o posicionamento ao controlador. A maior parte dos sistemas de condução apoiados por GPS necessitam de uma taxa de actualização de pelo menos 5 Hz o que significa que o receptor envia o posicionamento do veículo ao controlador 5 vezes por segundo.

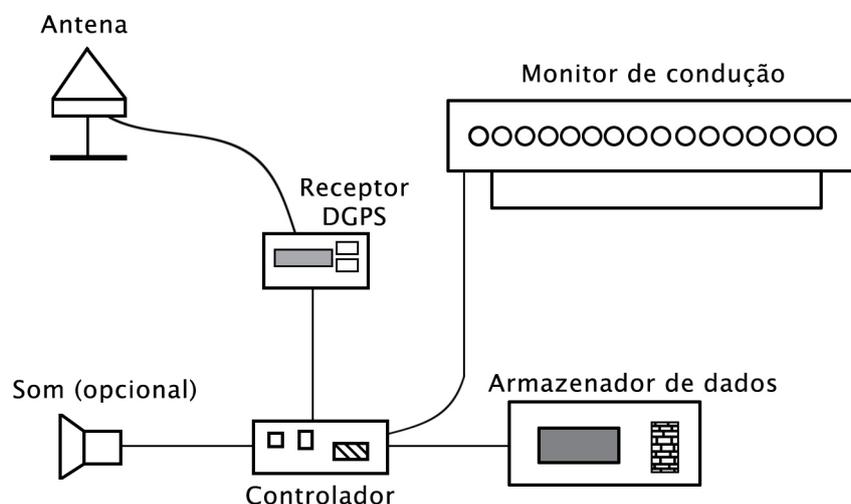


Figura 15 – Componentes de um sistema de condução assistido por GPS

Fonte: adaptado de Sullivan e Ehsani, 2002



Figura 16 – Antenas de GPS (esquerda), receptores (centro), barra de luzes e ecrã (direita)

Fonte: <http://www.deere.com/>, <http://www.directindustry.com/>,
<http://www.sprayadvantage.com/>, <http://www.handsfreefarming.com/>



Figura 17 – Pormenor da montagem da antena GPS no topo exterior da cabine do tractor/máquina. Alternativamente pode ser montado directamente na alfaia ou outro ponto do tractor/máquina



Figura 18 – Sistema de condução assistida por GPS em que todos os componentes estão concentrados num único módulo compacto que é acoplado ao vidro dianteiro da cabine por “vácuo” e em que apenas se liga o cabo da alimentação e da antena GPS

A escolha entre os diferentes monitores de condução (barra com luzes, ecrã ou sistema de som) depende apenas das preferências do operador (Figura 16). Nos sistemas mais simples de barras de luzes existe apenas uma linha horizontal. A luz central, que por vezes tem uma cor (verde, em geral) ou forma diferente das restantes, indica que o veículo se encontra na direcção desejada. Assim que este se desvia dessa direcção estipulada, os indicadores laterais à luz central (vermelhos, em geral) acendem-se sucessivamente em número tanto maior quanto maior for o desvio (Figura 19). Na maioria dos equipamentos, os avisadores luminosos indicam o sentido em que se deve deslocar o tractor/máquina para voltar à direcção pretendida, (esta opção pode ser modificada pelo utilizador). Assim, se o veículo se desviar para a direita, as luzes da esquerda da barra vão acender indicando ao operador que deve desviar o veículo nesse sentido. O objectivo do operador é simplesmente dirigir o volante para manter acesa apenas a luz central.

A utilização dos sistemas de condução por GPS requerem alguma aprendizagem e adaptação que não deve ser desvalorizada em operadores com mais idade e/ou menor formação. De facto, a utilização destes sistemas pressupõem uma determinada “sensibilidade digital” que muitas vezes os torna difíceis de utilizar por certos utilizadores. É no entanto de referir que, como em tudo, a experiência conta muito, e ao fim de umas horas de

utilização a utilização destes sistemas torna-se na maior parte das vezes bastante fácil e expedita.

É comum em utilizadores principiantes apenas tomar a referência da barra de luzes e nunca a cabeceira da parcela. Este erro conduz muitas vezes a que o tractor se movimente em zig-zags na tentativa do operador conseguir o alinhamento indicado. Nestes casos, estes sistemas podem conduzir a maiores erros de sobreposição e falha do que a sua não utilização. Desta forma, é boa prática não olhar directamente e constantemente para a barra de luzes mas sim para a cabeceira no sentido da qual o tractor se desloca e apenas por visão periférica tomar as indicações da barra de luzes. A sensibilidade do sistema aos movimentos do tractor pode ser ajustada, permitindo assim que a aproximação ao alinhamento seja mais suave.



Figura 19 - Exemplos das indicações dadas ao operador pelo monitor de condução associado ao GPS

Fonte: adaptado de Stombaugh, 2002

Nos sistemas de condução automática, o operador fica totalmente liberto da tarefa de dirigir o volante do tractor / máquina, já que isso é garantido por um sistema de actuação directamente no hidráulico ou no volante. Os sistemas de condução automática com actuação directa no sistema hidráulico, embora mais precisos, e possibilitando inclusivamente que as voltas nas cabeceiras sejam feitas em modo automático, são consideravelmente mais caros e sem qualquer tipo de portabilidade de tractor para tractor.

Em contraste, os sistemas de condução automática com actuação no volante (Figura 20), em geral vendidos como “upgrade” dos sistemas de condução assistida, são bastante mais baratos e portáteis de tractor para tractor. Estes sistemas são constituídos por um motor eléctrico que através de uma roda de fricção faz a orientação do volante em função dos desvios indicados pela barra de luzes, sem qualquer intervenção do operador. Deste modo, o operador poderá dedicar a sua atenção ao que realmente é importante que é a qualidade do trabalho efectuado, o abastecimento do distribuidor, etc.

Os sistemas de condução automática são totalmente seguros já que sempre que o operador agarre o volante, este deixa automaticamente de ser controlado pelo motor eléctrico. Deste modo o operador pode desviar o tractor de eventuais obstáculos no terreno, podendo mais tarde regressar à linha de passagem desejada assim que voltar a accionar a condução automática. Nas cabeceiras a condução automática tem de ser interrompida uma vez que tem de ser o operador a alinhar o tractor na passagem seguinte em função da largura de trabalho. Quando o tractor estiver em alinhamento aproximado com a passagem seguinte, o operador apenas terá de voltar a accionar o sistema automático e o tractor deslocar-se-á automaticamente para a linha pretendida.



Figura 20 – Sistema de condução automática com actuação no volante por um motor eléctrico que através de uma roda de fricção faz a orientação do volante em função dos desvios indicados pela barra de luzes e sem qualquer intervenção do operador

A portabilidade da maior parte dos sistemas de condução assistida por GPS é total, desde que o equipamento seja adquirido à parte e não, obviamente, adquirido de série como parte integrante do tractor. Já quanto aos sistemas de condução automática de actuação no volante a portabilidade, embora elevada, não pode ser considerada total, já que o motor eléctrico tem de ser correctamente ajustado ao eixo do volante de cada tractor (Figura 20). Deste modo, todos os tractores que usarem o sistema terão de ter previamente montado o suporte específico. Tal como os sistemas de condução assistida, os sistemas de condução automática no volante são facilmente montáveis e desmontáveis em menos de 30 minutos.

O controlador dos sistemas de condução por GPS permite a selecção de diversas opções do sistema. Juntamente com o controlador pode montar-se um armazenador de dados que possibilita a documentação de quando e onde é que determinado factor de produção foi aplicado. Alguns sistemas têm incorporado um visualizador dos dados armazenados. Outros possibilitam a entrada de informação relativa à parcela sobre a forma de marcadores (zona pedregosa, zona infestada, etc.) que pode ser utilizada mais tarde, por exemplo, na interpretação dos dados recolhidos. O controlador e o armazenador de dados podem estar combinados numa só unidade.

3.3. Características de Funcionamento

Os sistemas de condução por GPS incluem padrões de condução pré-definidos que podem ser utilizados durante a aplicação de factores (adubos, sementes, fitofármacos). Os padrões mais utilizados são as linhas rectas e as linhas curvilíneas (Figura 21). O padrão de condução em linhas rectas permite ao operador utilizar um compasso fixo entre passagens em toda a área da parcela, em função da largura de trabalho. Para isso, o operador deve introduzir a largura de trabalho pretendida e marcar a primeira passagem, conforme representado na Figura 21 pelo segmento A-B, sendo as restantes geradas automaticamente. No caso de trabalhos em “center pivots” existem outros padrões de condução, nomeadamente com diagramas em círculos concêntricos.

Em todos os padrões é sempre necessário dar indicação ao sistema sobre a linha de referência, i.e., a primeira passagem. Esta linha é de extrema importância, já que vai ser usada como referência para todas as outras. Assim, no caso por exemplo, das linhas rectas, o operador deverá posicionar o tractor a meia largura de trabalho de distância da bordadura da parcela junto à cabeceira. Nesse ponto deverá marcar o ponto A, bastando clicar numa tecla do sistema. Após percorrer toda a linha de trabalho deverá novamente junto à cabeceira, e a meia largura de trabalho de distância da bordadura, marcar o ponto B. Assim que o operador marcar o ponto B o sistema vai criar linhas de passagem imaginárias, quer para a direita quer para a esquerda, e em função da largura de trabalho total. Na cabeceira, quando o operador desviar o tractor do alinhamento, a barra de luzes começa a dar indicações para o alinhamento na próxima passagem.

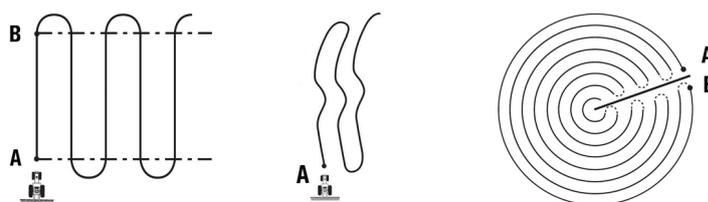


Figura 21 - Padrões de condução pré-definidos nos Sistemas de Condução Apoiados por GPS: linhas rectas (esquerda), linhas curvas (centro) e linhas concêntricas (direita)

Fonte: extraído de Stombaugh, 2002

A maioria dos sistemas disponibiliza alguma informação sobre a operação em curso nomeadamente uma medida numérica do erro, i.e., o desvio da direcção do tractor/máquina em relação à direcção inicialmente prevista, velocidade de trabalho, o número de passagens efectuadas e a área trabalhada (fertilizada, semeada, etc.).

Estes dados podem ser bastante importantes em termos de registo do trabalho efectuado quer num contexto de organização do trabalho, quer de rastreabilidade ou mesmo em prestação de serviços como forma de controlo e garantia do trabalho realizado.

Outra possibilidade que pode tornar-se importante para o operador é o cálculo da área da parcela e da área trabalhada. O conhecimento exacto da área das parcelas permite uma rigorosa determinação das quantidades de fertilizantes e fitofármacos a aplicar assim como das produtividades resultantes.

A possibilidade de marcar um ponto na parcela (“waypoint”), e mais tarde, poder voltar a esse ponto com uma margem de erro na ordem dos centímetros é outra possibilidade importante dos sistemas de condução por GPS. Assim, quando a operação é interrompida para abastecimento, ou por limitações climáticas, não haverá enganos sobre o local por onde recomeçar.

3.4. Vantagens

Os sistemas de condução por GPS apresentam variadas vantagens, algumas dificilmente mensuráveis, além da maior homogeneidade na aplicação de fertilizantes e fitofármacos.

Em termos teóricos, vários trabalhos utilizam para cálculos de rendibilidade valores de referência na ordem dos 10% de sobreposição ou falha para marcadores de espuma, descendo esses valores para 5% quando são utilizados sistemas de condução por GPS por operadores com pouca experiência e 1,5% para utilizadores experientes.

Num estudo feito pela Escola Superior Agrária de Elvas, as proporções de sobreposição e falha na aplicação de superfosfato foram comparadas numa distribuição em que o alinhamento foi feito com base nas referências espaciais da parcela e noutra em que foi utilizado o sistema de condução assistida por GPS com a referência comercial EZ-Guide PLUS (Trimble / New Holland). Em ambos os casos foi utilizada a mesma parcela e a mesma largura de trabalho (10 m). A Figura 22 mostra os alinhamentos de cada passagem para as duas situações em comparação assim como o alinhamento “perfeito”, assumindo a largura de trabalho escolhida. Pode constatar-se que os desvios entre as linhas são superiores quando não se utilizou a condução assistida por GPS.

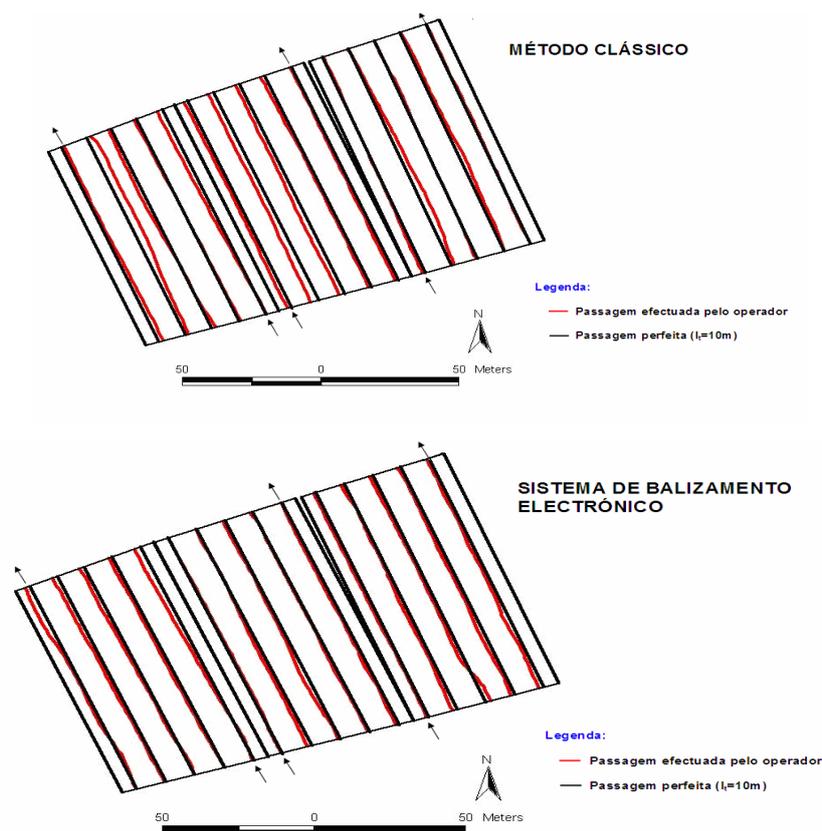


Figura 22 – Alinhamentos de cada passagem com utilização de referências espaciais da parcela (em cima) e com a utilização do sistema de condução assistida por GPS (baixo)

Com recurso a um sistema de informação geográfica foram contabilizadas as proporções do total da área da parcela com sobreposição e com falha. Conclui-se que o sistema de condução por GPS possibilitou a redução da área com sobreposição de 10,5% para 2%, sendo que a proporção de área com falha na aplicação se manteve praticamente constante (2%). De facto, a redução da sobreposição conseguiu-se à custa do aumento da área com aplicação da taxa correcta.

Deste modo, a utilização da condução por GPS permite uma menor utilização de fitofármacos e fertilizantes por redução da sobreposição: se a taxa de sobreposição se reduzir de 10 para 2%, a quantidade de fitofármacos utilizada é reduzida em 8 pontos percentuais. Este facto traz vantagens ambientais, financeiras e agronómicas.

Além da maior homogeneidade na aplicação de fertilizantes e fitofármacos, os

sistemas de condução por GPS apresentam as seguintes vantagens:

1. Maior precisão em velocidades de trabalho mais elevadas – Em função da operação em causa torna-se possível aumentar a velocidade de trabalho cerca de 15 a 20%, o que conduz a ganhos de eficiência e oportunidade de trabalho;
2. Maior universalidade – Os marcadores tradicionais não são geralmente utilizados com distribuidores centrífugos. O sistema de condução apoiado por GPS pode ser utilizado em qualquer tipo de semeador, distribuidor ou pulverizador;
3. Facilidade de utilização – Ao contrário da tecnologia que está associada ao sistema, que é complexa, qualquer pessoa pode aprender a utilizar o sistema desde que suficientemente treinado;
4. Possibilidade de utilização em culturas semeadas a lanço com cobertura total do solo – Os marcadores tradicionais não funcionam bem em culturas semeadas a lanço quando a cultura já apresenta algum porte, levando a erros de sobreposição ou falha (e.g. adubação de cobertura no trigo). O sistema de condução assistido por GPS não é afectado pela altura da cultura nem pela cobertura do solo;
5. Possibilidade de operar em condições de fraca visibilidade – A condução por GPS funciona à noite, com pó ou com nevoeiro permitindo aumentar a duração do período diário de trabalho durante alturas críticas ou trabalhar durante as horas mais aconselháveis (ventos fracos para aplicação de fitofármacos);
6. Possibilidade de operar em más condições climatéricas – Em determinadas condições (e.g. baixa humidade, vento, calor ou grande comprimento das passagens), a espuma pode evaporar antes de o operador precisar dela. O sistema de condução assistido por GPS funciona em quaisquer condições climatéricas;
7. Custos de utilização e manutenção mais reduzidos – O sistema de condução por GPS não incorre em custos de utilização como espuma, manutenção do equipamento, etc. O software é geralmente actualizado gratuitamente;

8. Menor cansaço do operador – Com o monitor de condução montado em frente do operador, este não necessita de olhar regularmente para trás ou para o lado;
9. Menor tempo de preparação – O tempo de preparação do sistema de condução por GPS é bastante inferior, sobretudo comparado ao dos marcadores de espuma;
10. Eliminação de erros induzidos por paragens – Quando a operação é parada por qualquer motivo (abastecimento, condições climatéricas, fim do dia, etc.), o GPS permite que o operador volte ao ponto exacto no recomeço;
11. Facilidade em manter registo das operações – Alguns dos sistemas podem registar as deslocações das máquinas nas parcelas, servindo de comprovativo de serviço para os prestadores de serviços e de registo de operações para os gestores agrícolas;
12. Maior precisão no cálculo das quantidades de factor necessárias – Como resultado da possibilidade de determinação da área exacta das parcelas ou folhas é possível determinar com maior precisão a quantidade de factor necessária, levando a uma melhor gestão ambiental, financeira e agronómica.

Alguns sistemas tradicionais com recurso a operadores de bandeirolas incorrem em custos adicionais de mão-de-obra. Em relação a estes, os sistemas de condução por GPS reduzem ainda as necessidades e custos com mão-de-obra.

Como foi dito anteriormente, além da maior homogeneidade na aplicação de fertilizantes e fitofármacos, os sistemas de condução por GPS apresentam inúmeras vantagens adicionais relacionadas com a maior eficiência de trabalho, maior oportunidade do trabalho realizado, maior universidade, etc.

As desvantagens destes equipamentos são marginais e cingem-se (1) à aprendizagem necessária para a sua utilização, que nalguns casos pode ser considerável (operadores mais velhos e/ou com pouca formação) e (2) ao custo de aquisição do equipamento.

Como em qualquer inovação, a decisão económica de adopção não pode ser apenas tomada com base no custo. É necessário contabilizar os benefícios

sobretudo em comparação com a tecnologia tradicional e/ou alternativas. É também essencial determinar limiares de rendibilidade em função dos custos fixos e variáveis.

3.5. Custos e Limiar de Rendibilidade

A desvantagem mais frequentemente atribuída aos sistemas de condução por GPS é o elevado custo de investimento na aquisição do equipamento. Na realidade, o custo destes sistemas tem baixado bastante nos últimos anos à medida que mais equipamentos são vendidos. Para efeitos de análise pode considerar-se um custo de 2500 euros para o sistema de condução assistida por GPS e 5000 euros para o sistema de condução automática por GPS.

O tempo de vida útil de um sistema de condução por GPS pode ser cerca de 10 anos devido ao rápido avanço das tecnologias e à possibilidade de substituição das unidades por outras mais precisas e baratas.

Deste modo, o custo anual dos dois sistemas é, respectivamente, 250 euros / ano e 500 euros / ano.

Além dos custos de aquisição devem ser considerados os custos de manutenção e utilização, que nos casos dos sistemas de condução por GPS são nulos. Nos sistemas tradicionais, os marcadores de espuma incorrem nalgum custo de manutenção e utilização, que poderá ser cerca de 0,35 euros / ha.

Finalmente, são também considerados os custos resultantes da área sobreposta, i.e., a área que é indevidamente tratada / fertilizada duas vezes em passagem contíguas. Nesta área duplamente coberta são considerados os custos de utilização da máquina de distribuição assim como do fertilizante e fitofármaco indevidamente aplicado (não são contudo considerados quaisquer custos ambientais ou resultantes de quebras na produtividade, caso existissem). A proporção da área duplamente coberta é de 10% no caso de sistemas tradicionais, 2% no caso de sistemas assistidos por GPS e 1% no caso da condução automática,

Não são considerados os custos que advêm da não cobertura de determinada área i.e., no caso de falhas. Para tal seria necessário considerar as perdas de

produtividade por redução da quantidade de fertilizante ou pesticida aplicado nessa área.

Não são também considerados os benefícios que advém da possibilidade de, nos sistemas com apoio de GPS, as aplicações e tratamentos serem feitas com maior oportunidade em resultado da maior velocidade de trabalho e extensão do dia de trabalho (possibilidade de operar em condições de fraca visibilidade; possibilidade de operar em más condições climatéricas; menor tempo de preparação; menor sensibilidade a vento).

Deste modo, o custo ha/ano de cada alternativa é genericamente dado por:

Custo variável (€/ha/ano) + Custo de sobreposição (€/ha/ano) + Custo fixo (€/ano) / nº de hectares

O custo de sobreposição é estimado por:

Número de aplicações x % de sobreposição x [custo do equipamento de aplicação (€/ha/ano) + custo do produto aplicado (€/ha/ano)]

Concretizando para cada uma de 3 alternativas:

Tradicional: Número de aplicações x 0,10 x [custo do equipamento de aplicação (€/ha/ano) + custo do produto aplicado (€/ha/ano)]

Condução assistida por GPS: Número de aplicações x 0,02 x [custo do equipamento de aplicação (€/ha/ano) + custo do produto aplicado (€/ha/ano)] + 250 / nº de hectares

Condução automática por GPS: Número de aplicações x 0,01 x [custo do equipamento de aplicação (€/ha/ano) + custo do produto aplicado (€/ha/ano)] + 500 / nº de hectares

Concretizando ainda mais e considerando uma aplicação de fertilizante com custo total (equipamento + produto) de 50 €/ha:

Tradicional: $1 \times 0,10 \times 50 \text{ €/ha} = 5 \text{ €/ha}$

Condução assistida por GPS: $1 \times 0,02 \times 50 \text{ €/ha} + 250 / n^\circ \text{ hectares} = 1 \text{ €/ha} + 250 \text{ €} / n^\circ \text{ de hectares}$

Condução automática por GPS: $1 \times 0,01 \times 50\text{€/ha} + 500 / n^\circ \text{ de hectares} = 0,50 \text{ €/ha} + 500 \text{ €} / n^\circ \text{ de hectares}$

Finalmente, o limiar de rendibilidade de cada um dos sistemas de condução por GPS em relação ao tradicional em número de hectares é:

Condução assistida por GPS: $250 \text{ €} / (\text{custo de sobreposição do sistema tradicional } 5 \text{ €/ha} - \text{custo de sobreposição do sistema condução assistida por GPS } 1 \text{ €} / \text{ha}) = \mathbf{63 \text{ ha}}$

Condução automática por GPS: $500 \text{ €} / (\text{custo de sobreposição do sistema tradicional } 5 \text{ €/ha} - \text{custo de sobreposição do sistema condução automática por GPS } 0,5 \text{ €} / \text{ha}) = \mathbf{111 \text{ ha}}$

Assim, o sistema de condução assistida por GPS fica mais barato que o sistema tradicional assim que a área de trabalho for superior a 63 ha. Já para que o sistema de condução automática resulte nos menores custos será necessário explorar 111 ha. Estes valores são relativamente baixos se considerarmos uma exploração representativa do Sul do país.

No exemplo apresentado considerou-se apenas uma aplicação por campanha (e.g, fertilização). Ao considerar mais aplicações e/ou mais dispendiosas (e.g. fitofármacos), os valores dos limiares de rendibilidades seriam mais baixos. A redução prevista do custo de aquisição destes sistemas também reduzirá o limiar de rendibilidade.

Uma vez que os limiares de rendibilidade apresentados são sensíveis aos pressupostos considerados é recomendável que sejam determinados caso a caso com os custos reais de cada exploração.

3.6. Conclusões

A tecnologia GPS permite melhorar a homogeneidade da aplicação de fertilizantes e fitofármacos em distribuições a lanço e pulverizações. Os sistemas de condução assistida por GPS utilizam um indicador de luzes para dar indicação ao operador dos desvios necessários para conseguir um alinhamento perfeito entre passagens paralelas. Os sistemas de condução automática por GPS dispensam o operador de fazer os desvios manualmente.

Estes sistemas permitem reduzir a sobreposição entre passagens em proporções que podem atingir os 8 pontos percentuais. Deste modo, as performances agrónomicas e ambientais são melhoradas e os custos de investimento compensados pela redução do desperdício de fertilizantes e fitofármacos. Os sistemas de condução por GPS apresentam uma série de outras vantagens, algumas das quais de difícil quantificação como as relacionadas com maior eficiência de campo e oportunidade do trabalho efectuado.

Apesar dos custos de aquisição relativamente elevados os limiares de rendibilidade da condução por GPS são baixos, situando-se na análise conservadora efectuada em 63 ha para a condução assistida por GPS e 113 ha para a condução automática.

Cabe aos empresários agrícolas efectuarem os cálculos para as suas explorações e culturas em particular e assim optar pelo sistema que se mostrar mais globalmente vantajoso.

3.7. Referências

- Anónimo** (2009) Tráfego controlado como alternativa para reduzir a compactação de solos. Revista Plantio Direto, edição 110, março/abril de 2009.
- Braga, R. , Conceição, L.A.** (2004). Sistemas de Condução apoiados por GPS: Descrição, Características, Vantagens e Custos de Utilização. Vida Rural, nº1700,p.30-33.
- Grisso, R. e Alley, M.** (2002). Precision Farming Tools – Light Bar Navigation. Virginia Cooperative Extension pub. 442-501. Virginia Polytechnic Institute and State University.

- Molin J.P. e Ruiz E.R.S. (2000).** Erro de Percurso em Aplicações a Lanço. Disponível na Internet em www.esalq.usp.br/departamentos/ler/download/APP%202000.01.PDF. Consultado em 02/10/2006
- Serrano, J.M. , Peça, J.O. , Mendes, J. , Serrazina, H. (2005).** Novas Perspectivas na Utilização de Distribuidores de Adubo: Inovação e Avaliação. Revista da Associação Portuguesa Mecanização Agrária. Disponível em (<http://mecanização.der.uevora.pt/items/RevistaAPMA2005Final.pdf>). Consultado em 07/04/2006
- Stombaugh, T. (2002).** Lightbar guidance aids. University of Kentucky Extension Service PA-3. University of Kentucky.
- Sullivan, M. e Ehsani, M.R. (2002).** GPS Guidance Systems—An Overview of the Components and Options. Extension Factsheet AEX-570-02. Ohio State University.

4. BASE DE FUNCIONAMENTO E CASOS DE ESTUDO DE VRT: GESTÃO INTRA-PARCELAR DA DENSIDADE DE PLANTAS E TAXA DE APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES

Ricardo Braga (1)

(1) Escola Superior Agrária de Elvas, Instituto Politécnico de Portalegre, ricardo_braga@esaelves.pt

4.1. Introdução

Um dos objectivos principais da Agricultura de Precisão é diferenciar no espaço de uma mesma parcela a taxa de aplicação de factores de produção. Assim, é actualmente tecnicamente possível fazer variar em tempo real e por intermédio de um GPS, a taxa de aplicação de fertilizantes, correctivos orgânicos, produtos fitossanitários, água e sementes. À tecnologia que permite fazer variar as taxas de aplicação de factores no espaço foi dado o nome de Variable Rate Technology / Tecnologia de Taxa Variável (VRT) e é constituída basicamente por um GPS, um controlador VRT, um variador de fluxo e um sensor de velocidade real. O objectivo é que em cada local de uma parcela seja aplicada a *taxa desejada* do factor em causa de acordo com as necessidades das plantas.

A obtenção de mapas de produtividade em si pouco contribui para melhorar a gestão das parcelas se não for possível usá-los para actuar de forma diferenciada. De facto, é a VRT que permite completar o ciclo de actuação na gestão da variabilidade intra-parcelar. São contudo de ressalvar situações em que os mapas de produtividade funcionam como ferramentas de diagnóstico cujo resultado é uma única actuação no sentido de resolver ou atenuar localmente um problema. São exemplos deste tipo de actuação a descompactação do solo, reparação de drenos, etc.

A VRT reveste-se de duas vertentes quanto à origem da informação relativa à taxa desejada. Esta pode provir de um mapa (mapa de prescrição) ou de um sensor. Enquanto na primeira, baseada em mapas, existe um desfasamento

temporal considerável entre a medição da variável alvo (e.g. teor de P no solo) e a aplicação de uma taxa em função desse valor, na segunda esse desfasamento é mínimo. Esta situação é possível uma vez que o sensor da variável alvo e o aplicador do factor vão montados na mesma máquina, dispensando o GPS (Figura. 23). A VRT com base em mapas é bastante mais comum que a baseada em sensores uma vez que implica a utilização de bastante menos tecnologia. Contudo, a VRT baseada em sensores tem um potencial bastante elevado para variáveis alvo que sejam mais inconstantes no tempo (e.g. azoto, água, etc.). Pelo contrário, para variáveis com menor dinâmica temporal (e.g. P, K, infestantes, etc.) a VRT baseada em mapas é actualmente a solução mais viável. Nesta, o maior desfasamento entre a medição da variável alvo e a aplicação de uma taxa em função desse valor, deve-se à inevitável existência de uma série de passos intermédios. Assim, no seu todo, o processo compreende os seguintes passos (Figura. 24): (1) amostragem da parcela; (2) determinação da variável alvo; (3) elaboração de um mapa dessa variável alvo; (4) construção do mapa de prescrição; (5) introdução do mapa de prescrição no controlador VRT. Este capítulo irá debruçar-se apenas sobre a VRT baseada em mapas e mais concretamente relativa à taxa de aplicação de semente.



Figura 23 – Exemplo de Tecnologia de Taxa Variável (VRT) para azoto com base em sensores. A taxa de adubo aplicado em (1) é função do teor de clorofila medido em (2)

Fonte: extraído de NUEweb @ Oklahoma State University, <http://nue.okstate.edu>



Figura 24 – Exemplo de um ciclo de actuação na gestão da variabilidade intra-parcelar

Fonte: extraído de Precision Agriculture Research Group @ Katholieke Universiteit Leuven, <http://www.agr.kuleuven.ac.be>

4.2. Constituição e Princípio da Tecnologia de Taxa Variável (VRT)

Como ficou expresso anteriormente, a VRT é constituída por um GPS, um controlador VRT, um variador de fluxo e um sensor de velocidade real. O GPS fornece ao controlador VRT o posicionamento da máquina na parcela. O controlador VRT, em função do posicionamento da máquina na parcela, determina o fluxo de material a aplicar para a respectiva taxa de aplicação desejada que consta no mapa de prescrição. Para isso integra ainda a velocidade (que vem do sensor de velocidade real) e a largura de trabalho (introduzida pelo operador ou obtida por um sensor caso seja variável). Depois de determinado o fluxo de material a aplicar, o controlador VRT envia um sinal ao variador de fluxo para implementar esse mesmo fluxo. Os controladores VRT incluem microprocessadores, portas de comunicação, dispositivos de armazenamento de dados e ecrãs de dados. As portas de comunicação servem,

por exemplo, para introduzir os mapas de prescrição no controlador. Os tipos de portas de comunicação mais comuns são as portas de série ou os cartões de memória PCMCIA. Os variadores de fluxo são dispositivos que respondem a sinais dos controladores VRT de forma a regular o fluxo de determinada forma. A resposta dos variadores de fluxo pode ser estender ou retrain, rodar um eixo, abrir ou fechar uma adufa, ou ainda alterar a velocidade. Os variadores de fluxo respondem a sinais eléctricos, pneumáticos ou hidráulicos originados no controlador VRT. O sensor de velocidade incorporado num sistema VRT não pode ser baseado na velocidade rotacional das rodas do tractor ou máquina uma vez que existe o efeito de patinagem. Desta forma, os sensores de velocidade utilizados neste tipo de aplicações são maioritariamente sensores radar ou ultra sónico (por reflexão de ondas rádio ou sonoras) uma vez que estes permitem obter a velocidade real em relação ao solo.

Na aplicação de factores de produção considera-se que:

$$\textit{taxa de aplicação} = \frac{\textit{massa ou volume aplicado}}{\textit{área}}$$

Em termos de aplicação, é considerado o rácio entre o fluxo de material a aplicar e a taxa de cobertura do solo, i.e.:

$$\textit{taxa de aplicação} = \frac{\textit{massa ou volume/tempo}}{\textit{área/tempo}}$$

em que:

$$\textit{área/tempo} = \textit{largura de trabalho} \times \textit{velocidade de trabalho}$$

Nesta equação, a largura de trabalho é fixa mas a velocidade de trabalho é bastante variável, razão pela qual tem de ser medida e levada em conta para que a taxa de aplicação seja a desejada. O principal desafio da VRT encontra-se precisamente nesta compensação uma vez que tanto a taxa de aplicação desejada como a velocidade real podem variar bastante num curto espaço de tempo. Assim, podemos reescrever a equação anterior da seguinte forma:

$$\textit{fluxo de mat. a aplicar} = \textit{taxa de aplicação} \times \textit{lar. de trab.} \times \textit{vel. de trab.}$$

estabelecendo a relação que tem de existir entre a velocidade de trabalho e o fluxo de material a aplicar de forma que a taxa de aplicação seja a desejada conforme consta no mapa de prescrição. Desta forma, dentro de uma mesma taxa de aplicação, o fluxo de material tem de ser aumentado ou diminuído em função do aumento ou diminuição da velocidade de trabalho, em função de uma quantidade definida pelo produto entre essa mesma taxa de aplicação e a largura de trabalho. Essa função altera-se sempre que a máquina se passe a encontrar numa zona com uma nova taxa de aplicação desejada. Desta forma a VRT resume-se à regulação do fluxo de material a aplicar (massa ou volume / tempo). O processo encontra-se ilustrado na Figura 25.

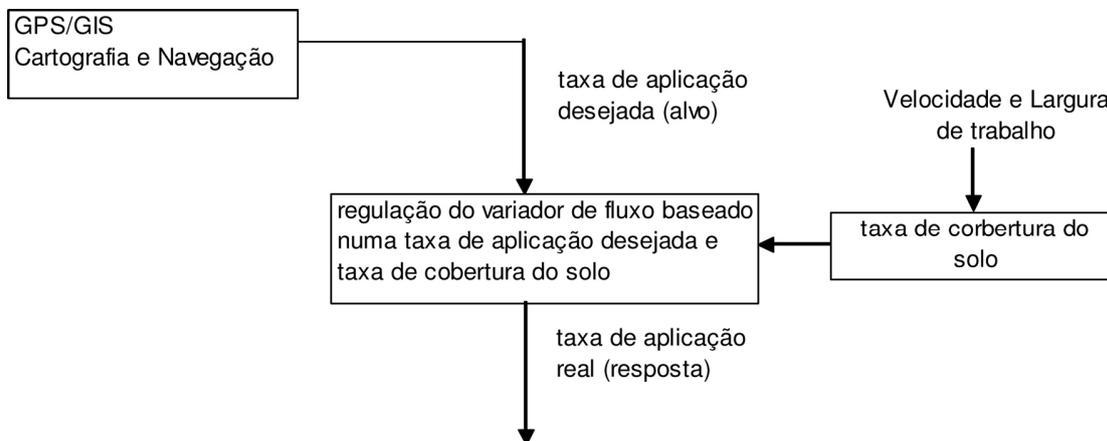


Figura 25 – Descrição gráfica do processo de regulação da taxa de aplicação de factores de produção na Tecnologia de Taxa Variável (VRT)

Fonte: extraído de Precision Agriculture @ PrecisionAg.org

A taxa de aplicação desejada é designada por taxa de aplicação alvo (setpoint). Partindo dessa taxa de aplicação alvo e da taxa de cobertura do solo instantânea, é determinado o fluxo de material alvo. O sistema VRT tenta a cada momento atingir o fluxo de material alvo, e por consequência, a taxa de aplicação alvo. A diferença entre a taxa de aplicação alvo e a taxa de aplicação real constitui o erro de aplicação e raramente é nulo.

Quando se variar a taxa de aplicação no espaço, é obrigatório definir e entender o conceito de *resolução espacial*, que é a mais pequena área de uma parcela susceptível de receber uma taxa de aplicação ao mesmo tempo distinta

e desejada. A resolução espacial é o produto entre a *resolução transversal* e a *resolução longitudinal*. A resolução transversal é perpendicular à direcção de deslocamento e é definida simplesmente pela largura de trabalho. A resolução longitudinal, segundo a direcção de deslocamento, é a mais pequena distância em que a taxa de aplicação pode ser atingida e mantida. O seu valor é igual ao produto entre a velocidade de deslocação e o tempo mínimo que o variador de fluxo leva a atingir e manter uma determinada taxa de aplicação. Este tempo mínimo designa-se vulgarmente por tempo de resposta (Figura 26).

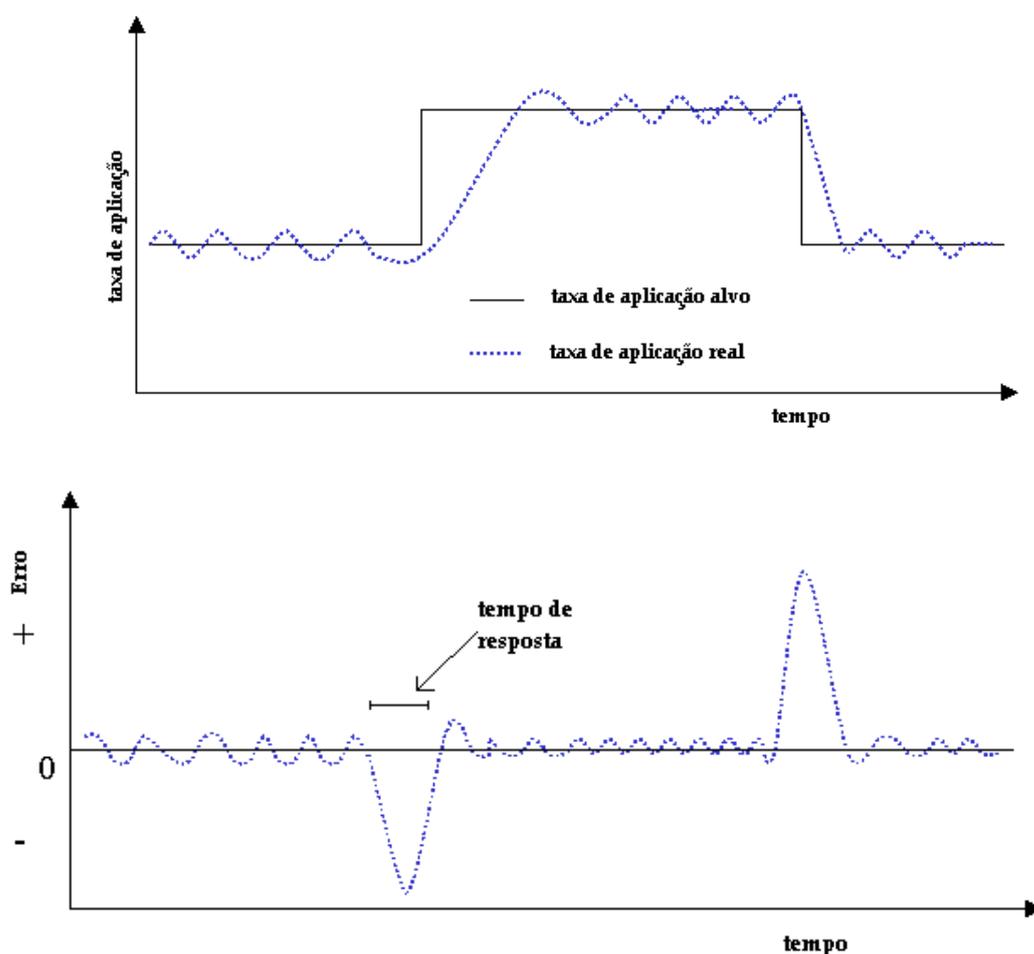


Figura 26 – Variação da taxa de aplicação alvo e da taxa de aplicação real no tempo (e portanto espaço) assim como do erro de aplicação, i.e., a diferença entre os dois valores. O tempo de resposta é o tempo mínimo que o variador de fluxo leva a atingir e manter uma determinada taxa de aplicação

Fonte: extraído de Precision Agriculture @ PrecisionAg.org

4.3. Tecnologia de Taxa Variável (VRT) de Semente: Aspectos Tecnológicos

A adopção da agricultura de precisão não implica necessariamente a aquisição de novos equipamentos de colheita e distribuição. Na realidade, quanto ao equipamento necessário, duas posturas podem ser adoptadas. Por um lado, o empresário pode adquirir novo equipamento, em geral o modelo topo de gama, com tecnologia VRT ou monitor de rendimento. Por outro, pode instalar estas funcionalidades no equipamento já existente sob a forma de um kit. A primeira opção é sem dúvida a mais dispendiosa e pode comprometer a rentabilidade do processo de adopção da agricultura de precisão. A segunda opção, tecnicamente viável quer para a tecnologia VRT em distribuidores quer para os monitores de rendimento em ceifeiras-debulhadoras, permite obter as mesmas funcionalidades com um investimento consideravelmente mais baixo. A adaptação de equipamento existente tem ainda outras vantagens como por exemplo a possibilidade de continuar a utilizar uma máquina correctamente dimensionada à exploração e com a qual se adquiriu longa experiência de funcionamento. Deste modo, torna-se possível tirar partido das vantagens da agricultura de precisão com um investimento bastante mais reduzido que, nalguns casos, pode fazer a diferença entre o sucesso ou o fracasso económico do processo de adopção da própria tecnologia. Como exemplo, num dos projectos da Escola Superior Agrária de Elvas um kit de monitorização de rendimento para uma ceifeira New Holland TC54 da AgLeader custou em 2006 cerca de 4900 euros. Este valor terá de ser comparado com o preço de uma ceifeira com monitor de rendimento montado de série para se perceber a vantagem da adaptação de equipamento quando comparado com a sua aquisição. É de notar que os fabricantes apenas instalam de série os monitores de rendimento ou a tecnologia VRT nos modelos topo de gama, que associados a eles trazem sempre funcionalidades na maioria das vezes supérfluas do ponto de vista da aplicação da agricultura de precisão. Na mesma linha, um kit VRT com controlador Dickey-john custou em 2006 cerca de 3800 euros.

Como sempre a decisão de investimento deve reflectir os benefícios e não apenas os custos de aquisição e utilização do equipamento. Desta forma,

perante os valores apresentados será necessário contrapô-los aos benefícios da adopção da tecnologia quer do ponto de vista de poupança de factores de produção para obter a mesma produtividade quer, igualmente, em possíveis incrementos de produtividade (e/ou qualidade). Infelizmente, e ao contrário de outras tecnologias em agricultura de precisão como seja a condução por GPS, não é fácil estabelecer limiares de rendabilidade para equipamentos como o monitor de rendimento ou a tecnologia VRT. Este facto resulta da extrema dependência daqueles valores em função da variabilidade encontrada, das causas da variabilidade, da cultura em causa, etc. É de facto necessário avaliar caso-a-caso a rendabilidade destas tecnologias. Este é mais um argumento para justificar o menor investimento inicial em equipamento proporcionado pela adaptação de equipamento já existente. Outra via sensata é o recurso a prestação de serviços.

Os semeadores, em geral, podem ser adaptados à VRT por instalação de um kit que ajuste da velocidade do sistema distribuição da semente. Nos semeadores em linhas convencionais essa velocidade é conseguida por uma roda motriz sobre o solo. Esta roda motriz e o sistema de distribuição estão ligados por uma corrente permitindo que o espaçamento entre sementes seja constante para velocidades de trabalho variáveis.

Em semeadores de linhas a densidade de sementeira é função do espaçamento entre linhas e do espaçamento entre sementes em cada linha. Uma vez que o primeiro é fixo para determinada cultura, a variação da densidade de sementeira é conseguida à custa de fazer variar o espaçamento entre sementes na linha. Isso é conseguido pela separação ou desconexão entre a roda motriz e o sistema de distribuição de semente do semeador. Desta forma, se a roda motriz for substituída por outro sistema motriz como por exemplo um motor, será possível fazer variar a densidade de sementeira em função do mapa de prescrição. Existem neste momento diversos fabricantes de sistemas VRT compatíveis com a maioria dos semeadores (e.g. farmscan.net, dickey-john.com, fieldstar.com, deere.com, rawsoncontrol.com, etc.).

Além da variação da densidade de sementeira, é ainda tecnicamente possível variar a profundidade de sementeira. Uma vez que esta possibilidade funciona com base no teor de humidade do solo (variável altamente dinâmica), a sua

utilização só é viável com VRT com base em sensores (de teor de humidade do solo). Outra solução tecnicamente viável é a de fazer variar no espaço a cultivar utilizada, bastando para isso apenas ter tremonhas separadas para cada cultivar. Dessa forma, o controlador selecciona a tremonha adequada em função do mapa de prescrição.

Nos distribuidores centrífugos para sementeiras ou aplicação de fertilizantes, a tecnologia VRT é conseguida pela introdução de um motor que controla a velocidade de rotação do cilindro canelado (ou de outro tipo) que permite a passagem do produto da tremonha para o disco ou tubo oscilante. Da mesma forma, a velocidade de rotação deste cilindro é controlada em função da taxa de aplicação de cada local da parcela.

A Figura 27 mostra a adaptação de um distribuidor convencional com possibilidade de funcionar em modo centrífugo ou enterrando o fertilizante em dois dentes. O kit de adaptação é constituído por um (1) motor hidráulico de variação da velocidade do cilindro canelado de distribuição, (2) um sensor de rotações de feedback, (3) leitor e interpretador do mapa de prescrição associado a GPS (Agleader) e (4) um controlador VRT (dickey-john). O módulo Agleader deste sistema é o mesmo utilizado na ceifeira-debulhadora para monitorização da produtividade.



Figura 27 – Adaptação de um distribuidor convencional com possibilidade de funcionar em modo centrífugo ou enterrando o fertilizante em dois dentes. O kit de adaptação é constituído por um (1) motor hidráulico de variação da velocidade do cilindro canelado de distribuição, (2) um sensor de rotações de feedback, (3) leitor e interpretador do mapa de prescrição associado a GPS (Agleader) e (4) um controlador VRT

Fonte: dickey-john

4.4. Tecnologia de Taxa Variável (VRT) de Semente: Aspectos agronómicos

A densidade de plantas é um dos aspectos que mais afecta a produtividade das culturas em geral, e em especial aquelas que não beneficiam de afilhamento. É intuitivo que solos mais férteis (maior quantidade de matéria orgânica e água disponível e profundidade) exibam uma densidade de plantas óptima mais elevada do que solos menos férteis. Desta forma, se a fertilidade do solo variar significativamente no espaço de uma mesma parcela, é também intuitivo que haja interesse em fazer variar a densidade de plantas nessa parcela de forma a maximizar a margem bruta financeira em cada local. Esta faceta da VRT de semente (a mais comum) tem por objectivo tirar máximo partido das potencialidades de cada zona de uma parcela.

Outra faceta da VRT de semente surge quando, pelo contrário, pretendemos compensar taxas de germinação e emergência variáveis no espaço. Por

exemplo, uma zona com problemas de salinidade (ou com tendência para formação de crosta à superfície, para alagamento, stress hídrico, etc.) de uma parcela tem tendência a apresentar menores taxas de emergência das plantas. Desta forma, ao aumentar a densidade de sementeira nessa zona estaríamos a contribuir para uma densidade de plantas mais homogénea na parcela e, portanto, para uma maior produtividade da parcela.

A implementação da VRT de semente implica que se conheça bem a parcela no que diz respeito à variabilidade espacial do solo. Só assim se pode tirar partido da tecnologia VRT. Nunca nos devemos esquecer que a Agricultura de Precisão é basicamente uma Tecnologia de Informação. Sem a informação base que permita ao empresário tomar decisões agronómicas válidas, de acordo com a variabilidade existente, todas as tecnologias serão inúteis ou mesmo irracionais do ponto de vista económico. Nesse cenário é melhor que o empresário se preocupe mais em manter uma densidade de plantas homogénea do que tentar fazê-la variar intencionalmente.

A informação base quanto à variabilidade dos aspectos que poderão influenciar a densidade de plantas óptima para cada zona torna-se assim essencial. Esta informação base deve ser a carta de fertilidade da parcela senso lato, i.e., a integração de parâmetros como a matéria orgânica, água disponível no solo, profundidade do solo, etc. A obtenção desta informação torna-se laboriosa e cara, uma vez que implica uma amostragem intensa do solo (pelo menos 2 amostras por ha). Em alternativa, a análise de sucessivos mapas de produtividade de uma parcela gerida de forma homogénea também podem servir de base ao traçado de zonas de fertilidade distinta. E desta forma, para cada zona definir uma densidade de plantas óptima e uma densidade de sementeira correspondente. Parece óbvio que é vantajoso combinar os mapas de fertilidade do solo com os mapas de produtividade para assim obter uma imagem mais real da variabilidade da parcela.

Simultaneamente à obtenção dos mapas de produtividade é já possível obter mapas de densidade de plantas à maturação para algumas culturas, como por exemplo o milho, por incorporação de um sensor fotoeléctrico na barra de corte da ceifeira. Esta informação (Figura 28) tem um valor inestimável na definição de um mapa de prescrição para a densidade de sementeira uma vez

que espelha exactamente a variável alvo, i.e., a densidade de plantas que efectivamente chega a produzir o produto com valor comercial integrando aspectos como a taxa de germinação, taxa de emergência e a mortalidade ao longo do ciclo.

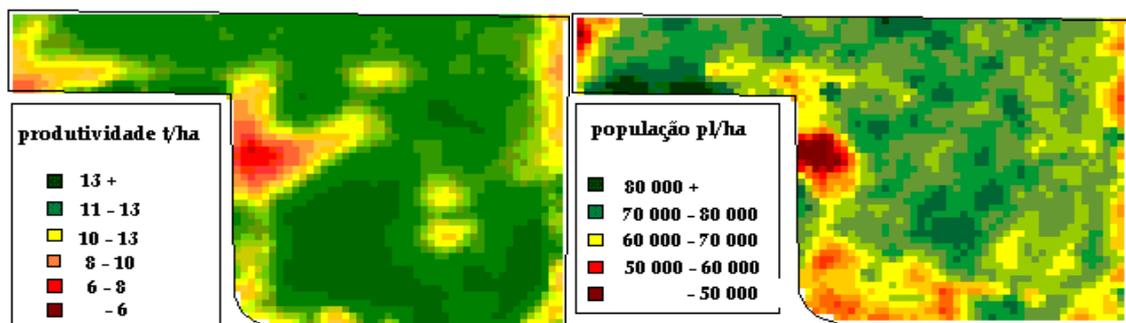


Figura 28 – Mapa de produtividade e densidade de plantas à colheita de uma parcela de milho com cerca de 12 ha

Fonte: adaptado de <http://www.pioneer.com/usa/agronomy/corn/0905.htm>

Dos diversos trabalhos já realizados sobre a VRT de semente na cultura do milho pode concluir-se que, mais uma vez, como o que acontece com as restantes tecnologias em agricultura de precisão, a rentabilidade económica não está assegurada à partida. É necessário experimentar caso-a-caso observando a variabilidade espacial da fertilidade do solo, da densidade de plantas à maturação, etc. O aspecto mais crítico é a tomada de decisão sobre a densidade de plantas óptima tendo em conta a fertilidade do solo e a perda de plantas ao longo do ciclo. Alguns autores verificaram mesmo que os padrões espaciais de perdas de plantas ao longo do ciclo (função da taxa de germinação, de emergência e de mortalidade) não se mantêm de ano para ano, i.e., existe uma interacção com as condições climáticas do respectivo ano. Concluíram ainda que quanto maior for a variabilidade da fertilidade do solo (especialmente se existirem zonas de potencial bastante fraco), maior será o benefício da VRT de semente.

Um aspecto relevante que minora de certa forma a necessidade de experimentação *in loco*, é a relativa facilidade com que isso pode ser feito com o recurso a VRT de semente e a monitores de produtividade. Desta forma,

torna-se mais exequível (porque mecanizável) testar diversas opções de densidade de sementeira para cada zona homogênea de fertilidade do solo e, assim, chegar ao fim de algum tempo e esforço, a uma solução otimizada.

4.5. Um Caso de Aplicação Prática de VRT de Semente

Em geral, a maior parte dos leitores de artigos de divulgação de novas tecnologias em agricultura acha curiosa a inovação apresentada, rapidamente concluindo que apenas é rentável para *agricultores americanos com explorações acima de 1000 ha*. Na realidade a VRT de semente já se encontra a funcionar com sucesso técnico e económico numa exploração agrícola de 480 ha no NE de Espanha. A par de outras tecnologias de Agricultura de Precisão (mapa de colheita, VRT de adubo, condução assistida por GPS e automática, etc.) e sem ser de Agricultura de Precisão (e.g. o espaçamento entre linhas no milho reduzido para 55 cm, etc.), este empresário, face à variabilidade espacial da textura de solo encontrada, recorreu à variação espacial da densidade de sementeira de milho.

Depois de ter levada a cabo uma amostragem de solo com uma densidade de 2 amostras por ha, decidiu que a variável alvo a conduzir a densidade de sementeira deveria ser a percentagem de limo. Uma vez que o empresário em causa não possui formação formal em agricultura (a profissão original era torneiro mecânico), toda a lógica foi definida com base na experiência adquirida. Assim, foi estabelecida uma relação empírica entre a percentagem de limo e a densidade de sementeira óptima (tabela 1). A VRT de semente foi implementada adaptando um semeador John Deere MaxEmerge2 de 6 linhas com um sistema VRT da Dickey-John (Figura 29 e 30). Segundo o empresário, dada a variabilidade espacial da percentagem de limo encontrada e o aumento de produção verificado, todo o equipamento ficou pago em dois anos. O mapa da percentagem de limo fino, densidade de plantas de milho e cevada encontra-se na Figura 31.

Tabela 1 – Relação empírica estabelecida pelo agricultor entre a percentagem de limo fino e a densidade de plantas de milho e cevada

% Limo Fino	Milho plantas/ha	Cevada kg/ha.
< 15	75000	155
15 - 17	78000	160
17 - 19	81000	165
19 - 21	84000	170
21 - 23	87000	175
23 - 25	90000 (100%)	180 (100%)
25 - 27	93000	185
27 - 29	96000	190
29 - 31	99000	195
31 - 33	102000	200
> 33	105000	205



Figura 29 – Sistema de VRT de semente Dickey-John instalado num semeador John Deere de 6 linhas. À esquerda o sensor de velocidade real entre o motor a roda dianteira direita. À direita o variador de fluxo visto pela frente



Figura 30 – Sistema de VRT de semente Dickey-John instalado num semeador John Deere de 6 linhas. À esquerda o controlador VRT instalado na cabine do tractor. À direita o variador de fluxo visto de trás

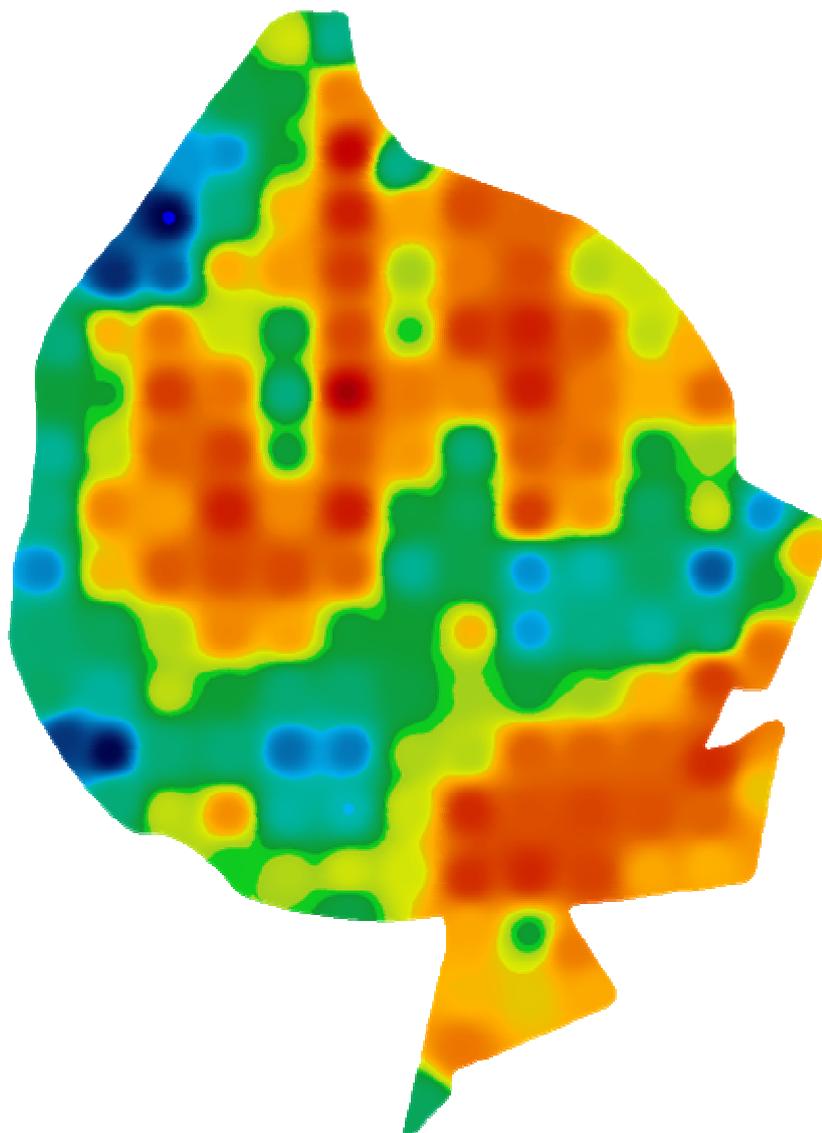


Figura 31 – O mapa da percentagem de limo fino, densidade de plantas de milho e cevada para uma parcela de cerca de 80 ha. A escala de cores varia de laranja escuro para os valores mais baixos (% limo fino menor que 15, densidade de plantação de milho de 75000 pl/ha e de cevada de 155 kg/ha) até azul-escuro para os mais elevados (% limo fino maior que 33, densidade de plantação de milho de 105000 pl/ha e de cevada de 205 kg/ha), passando sucessivamente pelo amarelo, verde claro, verde escuro e azul claro

Fonte: Jaime Rifer

4.6. Conclusões

Pretendeu-se com este capítulo descrever em detalhe a constituição e princípio de funcionamento da tecnologia de taxa variável. Pormenorizou-se a sua aplicação ao caso da variação espacial da densidade de plantas.

Na adopção da tecnologia de taxa variável assim como da monitorização da produtividade, deve ser equacionada a conversão de equipamentos já existentes na exploração em contraste com a aquisição de novos equipamentos. Aquela opção permite reduzir bastante o custo de adopção da tecnologia e portanto torna-la mais facilmente rendável.

Finalmente apresentou-se um caso concreto da sua aplicação numa exploração agrícola em Espanha.

Agradecimento

O autor deseja agradecer a Sixto Jaime Rifer Garces e a Jaime Rifer Garcia a sua disponibilidade para nos receber na sua exploração agrícola e pela partilha de experiência relativa a VRT de semente.

4.7. Referências

- Birrell**, S.J., Sudduth, K.A. 1995. Corn population sensor for precision farming. ASAE Paper No. 951334. Am. Soc. of Agric. Engineers, St. Joseph, MI.
- Bullock et. al.** (1998). Does variable rate seeding of corn pay? *Agronomy Journal* 90: 830.
- Deer & Company** (1997). Variable Rate Technologies. In: *The Precision Farming Guide for Agriculturists*. 79 – 93 pp. Moline, IL.
- Doerge** (s.d) New Opportunities in Variable-Rate Seeding of Corn. *Crop Insights* Vol. 9, No. 5
- Giles**, K. (s.d.). Variable rate Technologies for site-specific agriculture. Course @ <http://www.precisionag.org/>

Lowenberg-DeBoer (s.d.) Economics of Variable rate planting for corn.
Agriculturadeprecision.org

Shanahan *et al* (2004). Feasibility of Site-Specific Management of Corn Hybrids and Plant Densities in the Great Plains. *Precision Agriculture* 5: 207

Taylor *et al*. (2000). Using a GIS to evaluate the potential for variable rate corn seeding. ASAE Paper No. 00AETC105. Am. Soc. of Agric. Engineers, St. Joseph, MI.

5. OBTENÇÃO, PREPARAÇÃO E ANÁLISE PRÉVIA DE MAPA DE PRODUTIVIDADE NA CULTURA DO MILHO

Ricardo Braga (1)

(1) Escola Superior Agrária de Elvas, Instituto Politécnico de Portalegre, ricardo_braga@esaelvas.pt

5.1. Introdução

Os mapas de produtividade têm um papel muito relevante na agricultura de precisão, como já foi amplamente referido em capítulos anteriores. Neste capítulo pretende-se descrever detalhadamente o processo de obtenção dos mapas de produtividade desde a ceifeira-debulhadora até à sua análise sumária e principais repercussões na exploração agrícola.

O processo é descrito para uma ceifeira New Holland TC54 em que foi instalado um kit de monitorização da produtividade AgLeader (www.agleader.com) que custou em 2006 cerca de 4900 euros. Este aspecto é bastante importante já que, ao contrário da ideia geral, para aplicar agricultura de precisão não é preciso adquirir o último modelo de máquinas agrícolas sendo possível adaptar as máquinas existentes. Esta opção conduz a investimentos bastante mais baixos e deste modo possibilita uma maior taxa de adopção.

A tecnologia para a criação de mapas de produtividade em ceifeiras debulhadoras está totalmente desenvolvida, e existem vários equipamentos no mercado para a realização desta tarefa em várias culturas e que podem ser montados nas principais marcas de ceifeira (ver anexo com lista dos principais fabricantes).

5.2. Caracterização do Monitor de Produtividade

O AgLeader PFadvantage é um monitor de produtividade completo, integrando tanto a componente de sensores assim como uma consola que fornece ao operador, em tempo real, toda a informação de que este necessita, armazenando-a depois num cartão de memória (Figura 32). No ecrã principal de trabalho o operador poderá visualizar a produtividade em kg/ha, a humidade do grão, a quantidade total colhida, os hectares totais e parciais, a velocidade de avanço, etc.

A informação da colheita é armazenada em memória interna e num cartão de memória de formato Flash para que os dados possam ser trabalhados autonomamente depois de transportados para um computador.

Uma particularidade interessante neste monitor é que a consola de monitorização tem a capacidade de ser integrada com um controlar VRT (tecnologia de taxa variável) bastando para isso alterar o software instalado.

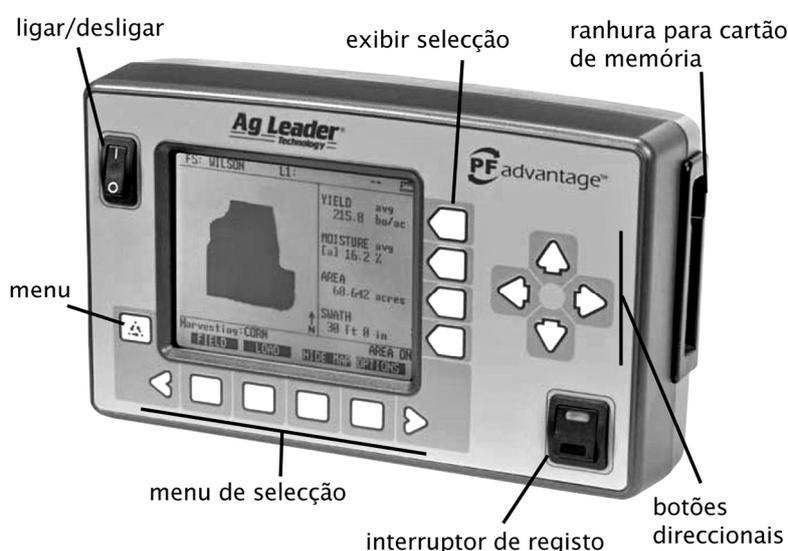


Figura 32 – Consola AgLeader PFadvantage

Fonte: extraído de manual de utilizador Ag Leader PFadvantage

A consola é montada dentro da cabine da ceifeira-debulhadora no campo de visão do operador de modo a que o acesso aos dados da monitorização seja

facilitado e que o operador possa actuar em caso de necessidade (Figura 33). Permite também ao operador introduzir ajustes necessários no processo de monitorização ou ainda o registo de observação da cultura (zonas com infestantes, densidade de plantas baixa, etc.), que mais tarde podem ajudar a interpretar o mapa de produtividade.

Além da consola, o monitor de produtividade é ainda constituído por uma série de sensores: (1) GPS, que fornece o posicionamento de cada medição da produtividade; (2) um sensor de massa, que mede a massa de grão produzida em cada zona da parcela; (3) um sensor de humidade do grão, que mede a humidade do grão em tempo real; (4) um sensor de altura da barra de corte; e (5) um sensor de velocidade ao solo por RADAR (Figura 34).

O sensor de massa, o mais importante de todos os sensores, é instalado no topo de elevador de grão antes de este ser encaminhado para o tegão (Figura 35) e é constituído uma chapa de impacto que mede a força com que o grão é projectado. O valor da força é convertido em massa conhecendo a aceleração do grão, através da clássica relação entre força, massa e aceleração.

O sensor de humidade do grão é instalado lateralmente no elevador do grão utilizando uma sonda capacitiva. O sensor de altura de barra de corte é instalado no topo deste módulo e serve para dar indicação ao monitor para deixar de registar quando a barra é levantada nas cabeceiras. O sensor de velocidade ao solo por RADAR permite obter registos de velocidade de avanço mais rigorosos.



Figura 33 - Aspecto do interior da cabine da ceifeira com a consola instalado no campo de visão e acção do operador

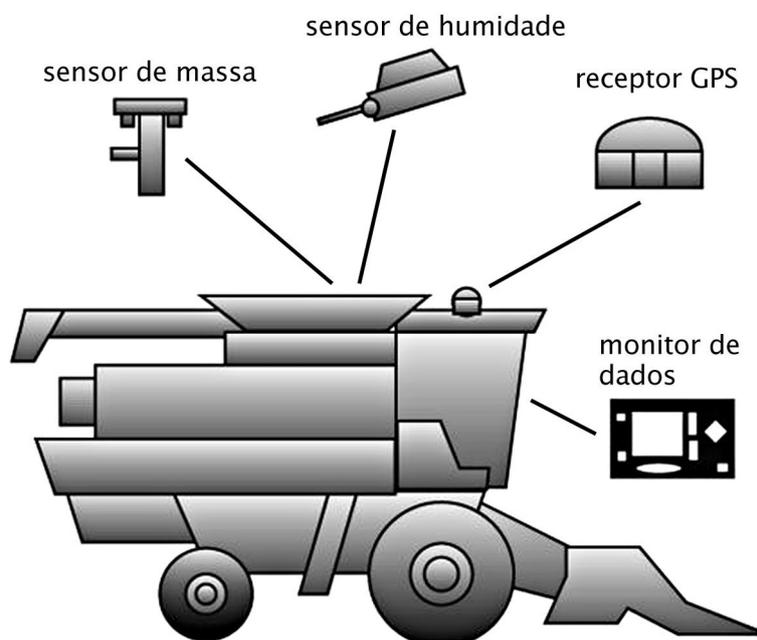


Figura 34 - Componentes de um monitor de produtividade para ceifeira-debulhadoras

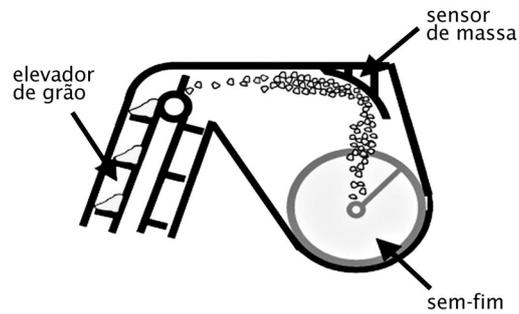


Figura 35 – Sensor de massa para medição da produtividade das culturas, instalado no topo do elevador de grão

5.3. Montagem do Monitor de Produtividade

A montagem do kit de monitorização de produtividade é feita por pessoal especializado e inclui a instalação dos diversos sensores e respectivas cablagens. De todos os sensores que constituem o monitor, os de montagem mais complexa são os sensores de humidade e massa, já que são instalados no interior da ceifeira. Deste modo, é preciso proceder ao corte à medida da chapa exterior do elevador de grão, lateralmente no caso do sensor de humidade (Figuras 36 e 37), e no topo no caso do sensor de massa (Figuras 38 e 39).



Figura 36 - Marcações e ajuste do sensor de humidade no elevador de grão



Figura 37 - Sensor de humidade do grão



Figura 38 - Abertura no topo do elevador de grão para montagem do sensor de massa



Figura 39 - Sensor de massa

5.4. Calibração

A calibração dos diversos sensores é fundamental para o correcto funcionamento do monitor. Primeiro deve calibrar-se o sensor de velocidade percorrendo uma determinada distância pré-conhecida em condições de campo. Posteriormente deverá ajustar-se o sensor de altura da barra de corte garantindo que o registo é desligado quando a barra se encontra levantada.

Para calibrar o sensor de humidade do grão é necessário também calibrar o termómetro que lhe está associado. Isto faz-se por comparação com uma leitura junto do sensor depois de a máquina estar parada e à sombra durante algumas horas. A calibração do sensor de humidade faz-se também por comparação entre as leituras do sensor e um sensor de referência.

A calibração do sensor de massa faz-se por comparação do peso total do grão colhido num tegão com um registo de referência. Devem utilizar-se vários registos de tegões com produtividades distintas, já que o fluxo de grão será igualmente distinto.

Um dado chave que tem que ser inserido na consola é a duração do desfasamento entre o corte da planta e a chegada do grão ao sensor de massa no topo do elevador. De facto, quando a ceifeira está a cortar as plantas num local, o sensor de massa está a registar grão de outro cujas plantas foram cortadas 12 segundos antes (Figura 40). Desta forma, o monitor tem que estar programado com este desfasamento para poder armazenar correctamente todos os dados nos devidos pontos em que foram colhidos, para posteriormente se obter um correcto mapa de produtividade.

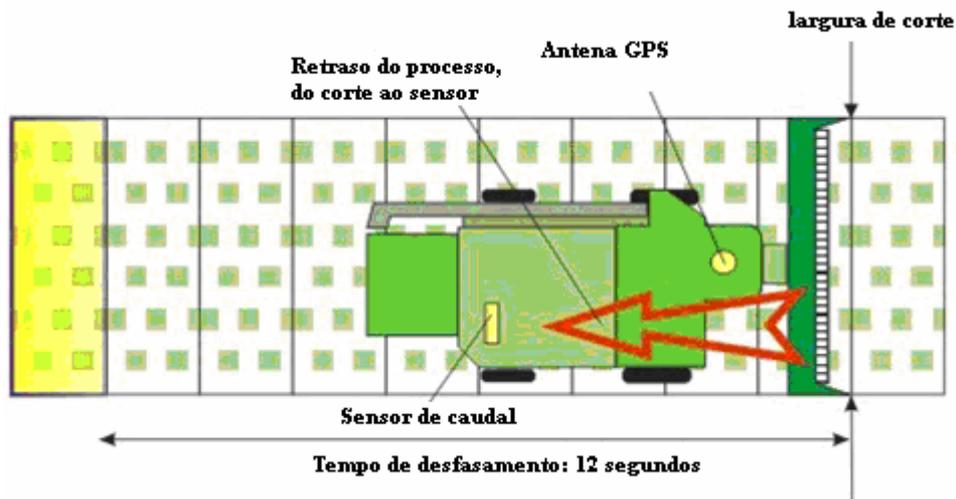


Figura 40 – Desfasamento entre o corte das plantas e o registo da massa dos seus grãos

Fonte: adaptado de Barragan 2003

Os rectângulos que constam na Figura 40 representam a área de amostragem da produtividade da cultura que corresponde à resolução espacial máxima que é possível obter com o monitor de produtividade. A resolução espacial da operação, que é a mais pequena área de uma parcela para a qual podemos conhecer a produtividade, resulta do produto entre a *resolução transversal* e a *resolução longitudinal*. A resolução transversal é perpendicular à direcção de deslocamento e é definida simplesmente pela largura de corte. A resolução longitudinal, segundo a direcção de deslocamento, é igual ao produto entre a velocidade de deslocação da ceifeira e um intervalo de tempo que pode ser definido pelo operador (um segundo, três segundos, etc.). Quanto mais pequeno o valor deste intervalo de tempo maior será a resolução espacial do mapa final, já que a área amostrada será menor.

5.5. Monitorização

Antes do processo de monitorização propriamente dito é necessário garantir uma série de pré-requisitos, para que o processo decorra com sucesso e sem erros demasiado elevados.

É necessário garantir que o cartão de memória (PCMCIA) está instalado e com memória suficiente, assim como garantir que todos os cabos estão firmemente conectados.

É necessário também garantir que o sinal GPS é recebido com a qualidade mínima necessária, i.e., com a correcção EGNOS.

Finalmente, antes de baixar a barra de corte e iniciar o registo dos dados é necessário definir a largura de corte da máquina. Durante a operação de monitorização é muito importante ajustar pontualmente este valor em tempo real, por exemplo quando a máquina se encontra numa cabeceira ou a colher alguma área que ficou para trás. Se este ajuste não for feito a produtividade vai ser bastante subestimada nesses pontos.

O ajuste pontual da largura de corte é basicamente a única função que o operador terá de assumir durante a monitorização. Todo o restante processo é automático. Como foi referido, o operador pode também registar em tempo real diversas ocorrências que mais tarde possam ajudar a interpretar o mapa de produtividade, como por exemplo marcar zonas de elevada pedregosidade, zonas com elevada densidade de infestantes, etc.

A Figura 41 apresenta o ecrã da consola durante a monitorização mostrando a indicação da produtividade média e instantânea, a humidade do grão, a área colhida até ao momento, a quantidade total de grão colhido, etc.

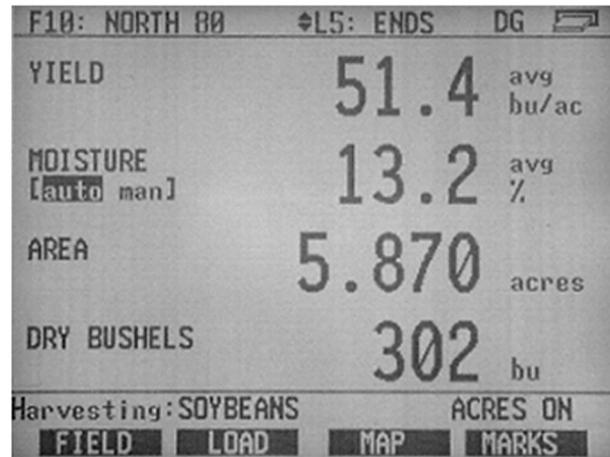


Figura 41 – Ecrã da consola durante o processo de monitorização permitindo o conhecimento da produtividade (YIELD) média e instantânea, a humidade do grão (MOISTURE), a área colhida até ao momento, a quantidade total de grão colhido, etc. É possível obter todos os ecrans em português.

5.6. Filtragem dos Dados

Mesmo utilizando um equipamento bem instalado e calibrado é virtualmente impossível obter um mapa de produtividade com qualidade sem proceder à filtragem dos dados.

Após o processo de monitorização os dados são guardados no cartão de memória que depois é lido pelo software de processamento de dados no computador. Este software (o SMS no caso dos monitores Agleader) filtra automaticamente os dados mostrando o mapa de produtividade final para cada parcela.

A Figura 42 mostra os dados da monitorização da produtividade em bruto para duas parcelas de milho colhido em 2006 na zona de Elvas com um total de 10 ha. Os dados surgem representados por pontos que correspondem à leitura do GPS. Nestes dados surgem também registos em áreas justapostas (fruto de ensaios, etc.) que deverão ser eliminados. Inicialmente é necessário fazer o delineamento da parcela, que como se pode constatar na Figura 43 dividiu-se em duas parcelas (parcela 1 e parcela 2) correspondentes a diferentes sistemas

de rega.

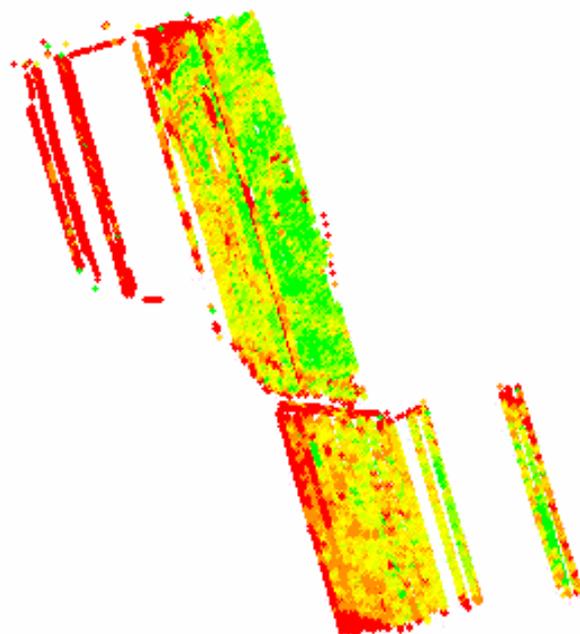


Figura 42 - Dados da monitorização da produtividade em bruto para duas parcelas de milho colhido em 2006 na zona de Elvas (10 ha)

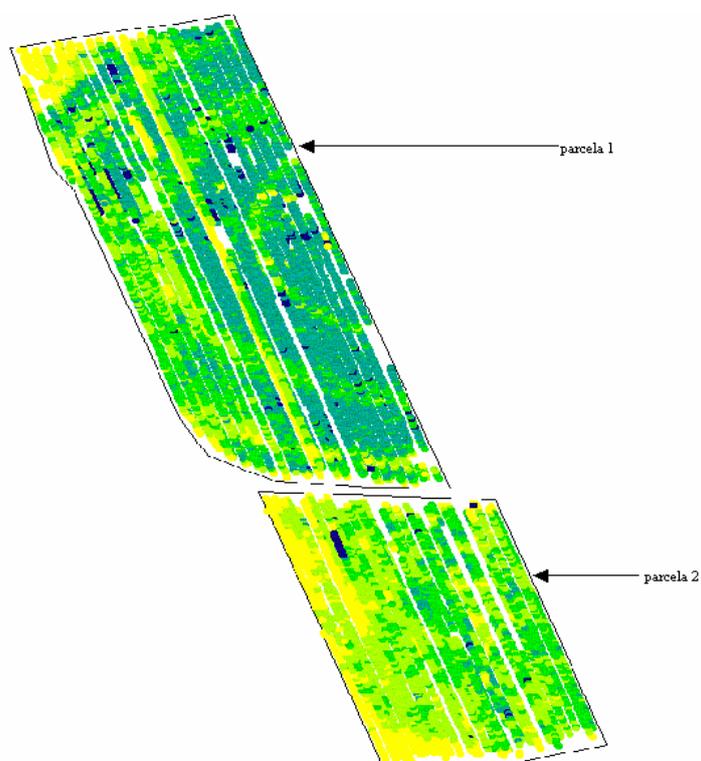


Figura 43 - Dados da monitorização da produtividade em bruto após individualização das parcelas monitorizadas (10 ha)

Numa primeira fase eliminam-se valores resultantes de erros do operador, como seja o caso de este se esquecer de elevar a barra de corte nas cabeceiras para desligar o registo. Este erro resulta em valores de produtividade extremamente baixos e que devem ser eliminados.

Posteriormente são aplicados uma série de filtros consecutivos que visam eliminar registos suspeitos por uma série de razões:

- Registos em que a variação da velocidade de deslocamento é superior a + ou -15%, já que isso origina erros no monitor por variação do fluxo de grão. No caso em estudo foram eliminados 278 registos dos 11594 iniciais. Os pontos filtrados nesta fase encontram-se geralmente agrupados em zonas de variação da produtividade quando o operador ajusta a velocidade da máquina;
- Registos em que a velocidade de deslocamento da máquina é inferior a 1,6 km/h, já que o monitor foi desenvolvido para trabalhar a velocidades superiores. No caso em estudo foram eliminados apenas 4 registos;
- Registos em que o fluxo de grão no sensor de massa é inferior a 1,7 kg/s ou superior a 19 kg/s, valores para os quais a calibração do fabricante foi estabelecida. Foram eliminados 697 registos em que o fluxo de grão se encontrava abaixo de 1,7 kg/s. Os pontos filtrados nesta fase encontram-se geralmente em zonas de baixa produtividade;
- Registos de produtividade demasiadamente elevados ou baixos, i.e., que se encontram fora do intervalo definido pelo valor de produtividade média + ou - três desvios padrões.

Após a eliminação de todos estes registos (cerca de 8% dos originais) pode então proceder-se à interpolação espacial dos dados. Este processo diz respeito à passagem de registos pontuais (Figura 43) para registos contínuos para toda a área da parcela. Há inúmeros métodos para atingir este objectivo (inverso do quadrado da distância, krigagem, etc), mas cujos pormenores não cabe aqui analisar.

5.7. Análise do Mapa de Produtividade

O mapa da produtividade final encontra-se na Figura 44 podendo observar-se que a produtividade da cultura do milho nestas duas parcelas variou no espaço de forma extremamente significativa desde as 4 t/ha até às 18 t/ha. A Figura 45 mostra o histograma da produtividade final.

O padrão de variação espacial da produtividade é distinto conforme a parcela analisada. A parcela superior, com rega por rampa pivotante, apresenta em média valores de produtividade superiores à parcela inferior, com rega por aspersão fixa.

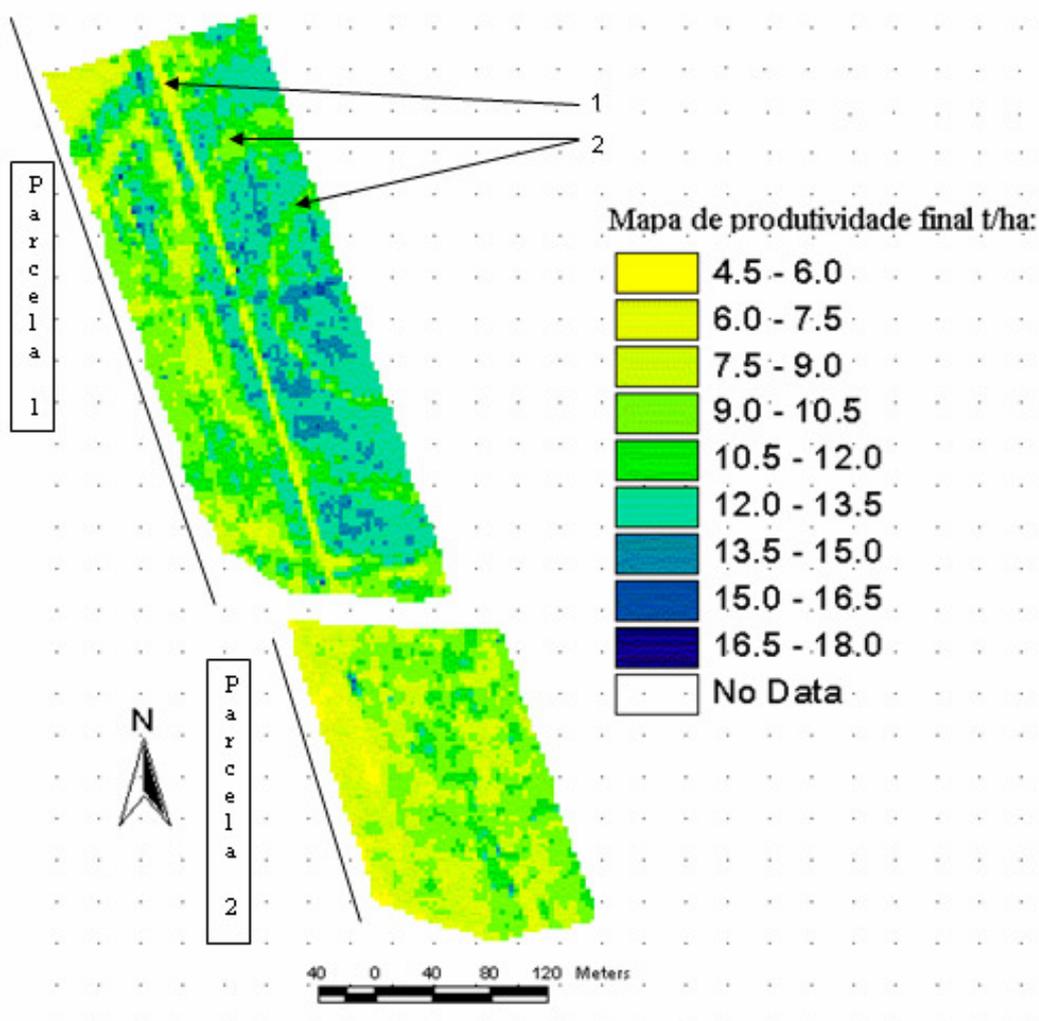


Figura 44 – Mapa da produtividade final. (1) zona de falha de passagem durante a aplicação de fertilizante (2) zona de passagem das torres da rampa pivotante

Na parcela superior é possível também identificar um padrão de variação da produtividade em que 3 faixas concêntricas apresentam sistematicamente produtividades mais baixas (2) em resultado da passagem das torres da rampa pivotante.

É ainda possível verificar um padrão longitudinal (1) também evidenciando níveis de produtividade inferiores. Essa faixa, com a largura igual à largura de trabalho do distribuidor de adubo, ficou a dever-se a uma falha de passagem durante a aplicação de cobertura azotada. É notório o impacto que essa falha teve na produtividade final com quebra na ordem das 6 t/ha em relação a zonas contíguas.

Além do mapa da produtividade final é ainda possível obter o mapa de outras variáveis monitorizadas como a humidade do grão (Figura 46), velocidade de deslocamento, etc.

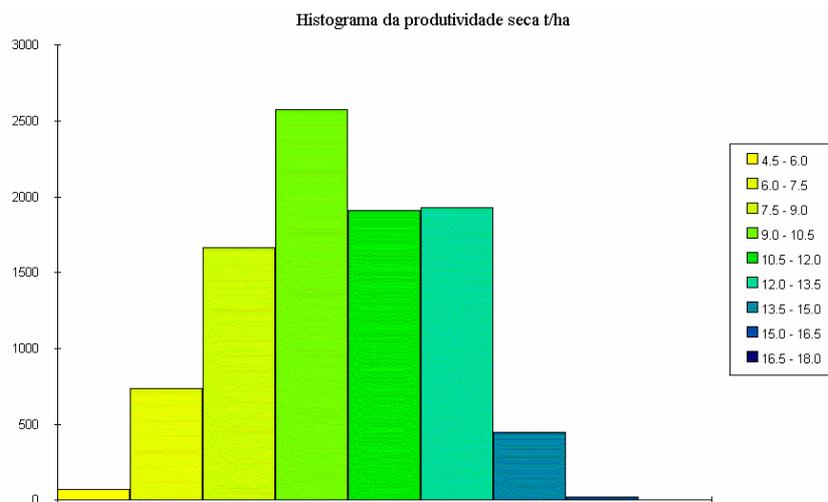


Figura 45 - Histograma da produtividade final

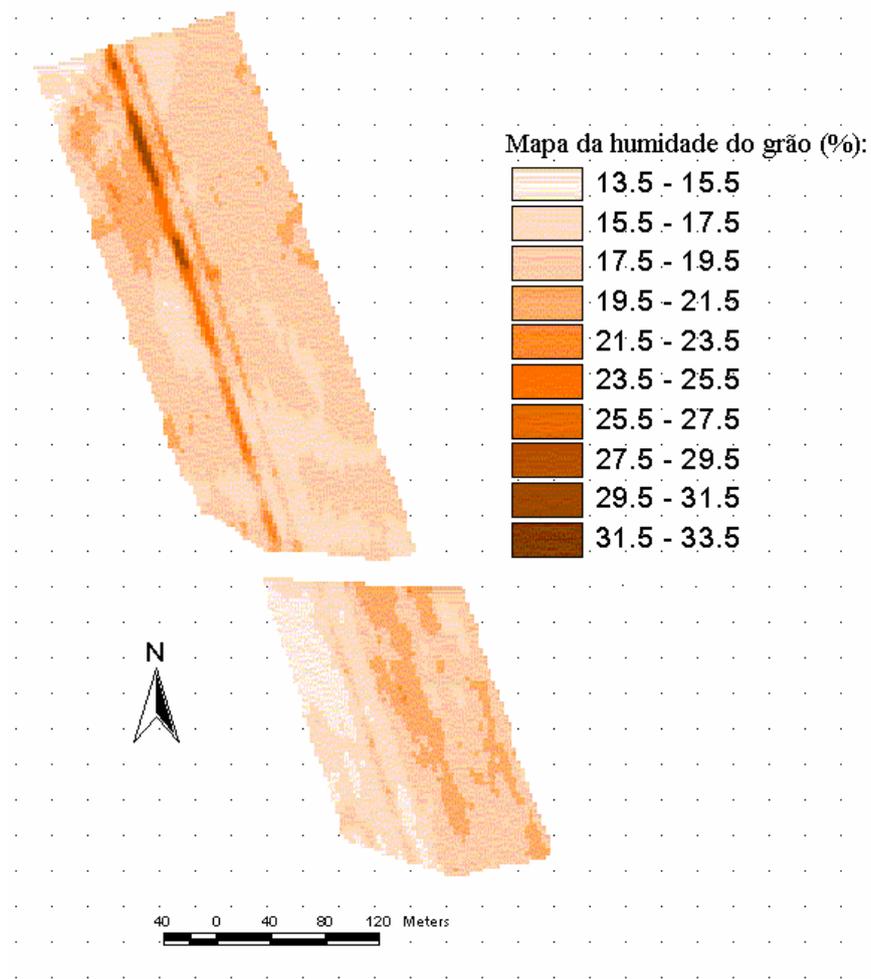


Figura 46 - Mapa da humidade do grão

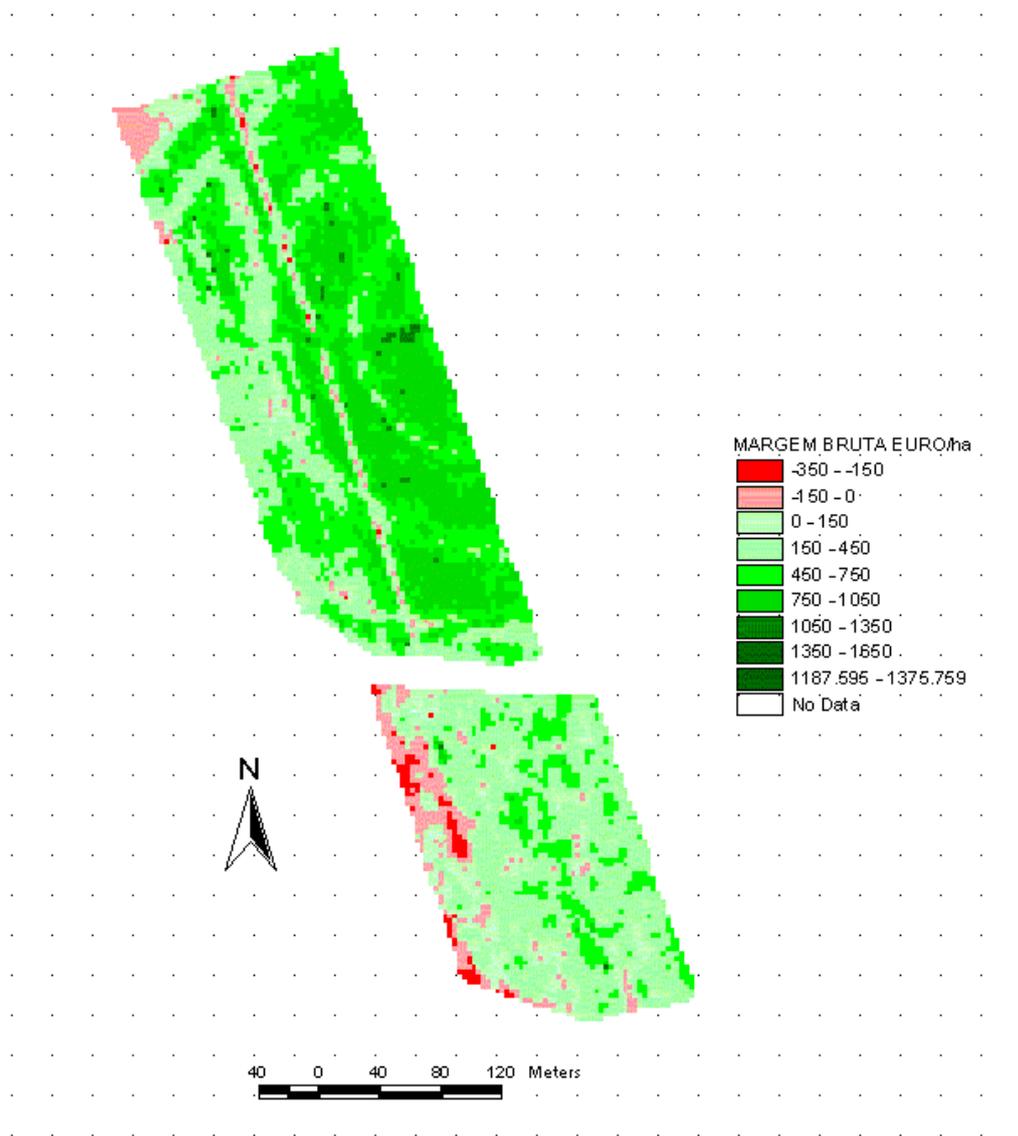


Figura 47 - Mapa da margem bruta (€/ha)

Após a obtenção do mapa de produtividade (Figura 47) é possível determinar o mapa da margem bruta, i.e., um mapa que para cada ponto de uma parcela indica o valor da receita menos os custos variáveis da cultura. Dado que a receita resulta do produto entre a produtividade e o valor unitário do grão e os custos variáveis são homogêneos em toda a parcela, o mapa da margem bruta tem um padrão de variação igual ao mapa da produtividade apenas variando a escala.

O mapa de margem bruta é uma ferramenta bastante útil já que torna bastante visível a variação espacial dos ganhos ou perdas económicas em cada parcela. Zonas com margem bruta negativa significam que a produtividade atingida não compensa se quer os custos de produção. Ora essa situação é insustentável, pelo que se torna premente actuar no sentido de alterar aquele padrão.

5.8. Conclusões

Descreveu-se a composição de um kit de monitorização de produtividade e a sua instalação numa ceifeira-debulhadora pré-existente. Foram igualmente descritos os cuidados a ter na calibração do equipamento. Detalhou-se a análise dos dados resultantes da monitorização até à obtenção do mapa de produtividade com a aplicação de filtros e a interpolação dos dados pontuais. Finalmente, analisou-se sumariamente o mapa de produtividade e apresentou-se o mapa de margem bruta.

5.9. Referências

- Barragan, J.** (2003). Agricultura de Precisión. Universidad de Extremadura
- Anónimo** (s.d.) Yield Monitor Calibration Tips - Making The Most From Your Data. Ohio State University Fact Sheet.
- Arslan and Colvin** (2002). An evaluation of the response of yield monitors and combines to varying yield. Precision Agriculture 3: 107-122
- Arslan and Colvin** (2002). Grain yield mapping: Yield Sensing, Yield reconstruction, and errors. Precision Agriculture 3: 135-154
- Blackmore** (1999). Remedial correction of yield map data. Precision Agriculture 1: 53-66
- Reyns et al.** (2002) A review of combine sensores for precision farming. Precision Agriculture 3: 169-182

5.10. ANEXO – Lista dos principais fabricantes de monitores de produtividade

Ag Leader

<http://www.agleader.com>

AGCO FieldStar

<http://www.agcocorp.com>

Case AFS

<http://www.caseih.com>

Caterpillar - Lexion

<http://www.cat.com>

John Deere GreenStar System

<http://www.deere.com>

Loup Electronics

<http://www.loupelectronics.com>

Micro-Trak Grain-Trak

<http://www.micro-trak.com>

New Holland LandManager

<http://www.newholland.com>

HarvestMaster

<http://www.junipersys.com>

RDS Technology

<http://www.rdstechology.ltd.uk>

6. AGRICULTURA DE PRECISÃO. EXEMPLO DA AVALIAÇÃO DO EFEITO DA TOPOGRAFIA E DA REGA SOBRE A VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DA PRODUTIVIDADE DO MILHO

José Rafael Marques da Silva (1) e Luís Leopoldo Silva (2)

(1) e (2) Universidade de Évora, Departamento de Engenharia Rural, jmsilva@uevora.pt

Este caso de estudo não tem como objectivo definir o que é a Agricultura de Precisão, nem esgotar as possíveis aplicações que esta tem na actividade agrícola. Pretende-se apenas demonstrar a capacidade que a Agricultura de Precisão pode ter na redução do risco empresarial da actividade agrícola, através da apresentação de um caso concreto.

A ausência de informação tem um determinado custo, muitas vezes de todo desconhecido. A maior parte de nós sabe quantificar o custo de aquisição de uma determinada informação, pois a esta, está usualmente associado um preço de mercado, no entanto, é mais difícil de quantificar o custo que estamos a ter, por falta de informação.

6.1. Análise da Produção

Situemo-nos na empresa agrícola X que, em 2002, decidiu investir num *kit* de agricultura de precisão para a sua ceifeira debulhadora. Este *kit* permite à ceifeira, durante a operação de colheita, registar informação sobre a quantidade e a respectiva percentagem de humidade do grão colhido em cada ponto do terreno. A partir desta informação é possível desenhar um mapa de produtividade da parcela, onde se podem observar as zonas com diferentes produções.

O caso apresentado é apenas um dos muitos existentes nesta empresa agrícola, e refere-se concretamente a uma parcela onde está instalado um “center-pivot” e onde se produziu durante três anos consecutivos milho de

regadio.

Para ajudar a análise da produção é importante ter um mapa digital do terreno (Figura 48). Este tipo de mapa pode ser obtido fazendo um levantamento topográfico com um sistema GPS e utilizando depois um *software* de informação geográfica.

Na Figura 48 pode observar-se o mapa da topografia da área regada, com a indicação das altitudes do terreno e ainda das linhas de escoamento natural desta parcela. Verifica-se que a zona tem uma topografia relativamente ondulada, sendo possível encontrar diferenças de altitude da ordem dos 33 metros entre o ponto mais baixo e o ponto mais alto da zona. Em alguns locais as amplitudes chegam a ser bruscas pois poderemos encontrar declives da ordem dos 15 a 20%. Com um relevo deste género, com um tipo de solo de infiltrabilidade reduzida e com um sistema de rega que aplica a água com intensidades superiores a 100 mm/h, na sua parte terminal, é frequente observar situações de escoamento, provocado pela água que o solo não consegue infiltrar, e a sua conseqüente acumulação nas zonas mais baixas do terreno.

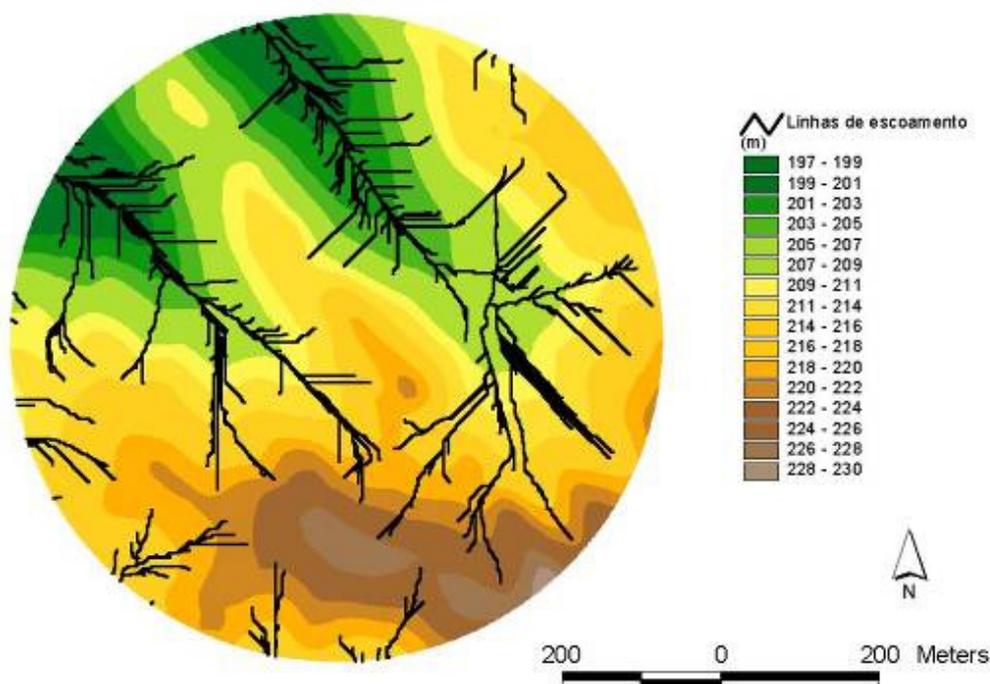


Figura 48 – Mapa da altimetria da parcela em estudo

Com base na informação recolhida pela ceifeira debulhadora, através do kit de agricultura de precisão, e utilizando um *software* de informação geográfica, foram elaborados os mapas de produtividade de milho, da parcela em estudo, apresentados nas Figuras 49, 50 e 51.

Pela observação destas Figuras e da Tabela 2 podemos verificar que os anos de 2002 e 2004 são anos relativamente melhores que o ano de 2003, que foi um ano bastante mau em termos de produção total de milho grão.

Tabela 2 – Parâmetros estatísticos da produtividade do milho grão

	Ano	Média (t/ha)	dp (t/ha)	CV (%)	Média global (t/ha)	dp global (t/ha)	CV global (%)
Produtividade	2002	10.19	4.1	40.7	9.94	3.9	39.0
	2003	8.03	3.1	38.8			
	2004	11.24	3.5	31.5			

dp - desvio padrão; CV - coeficiente de variação.

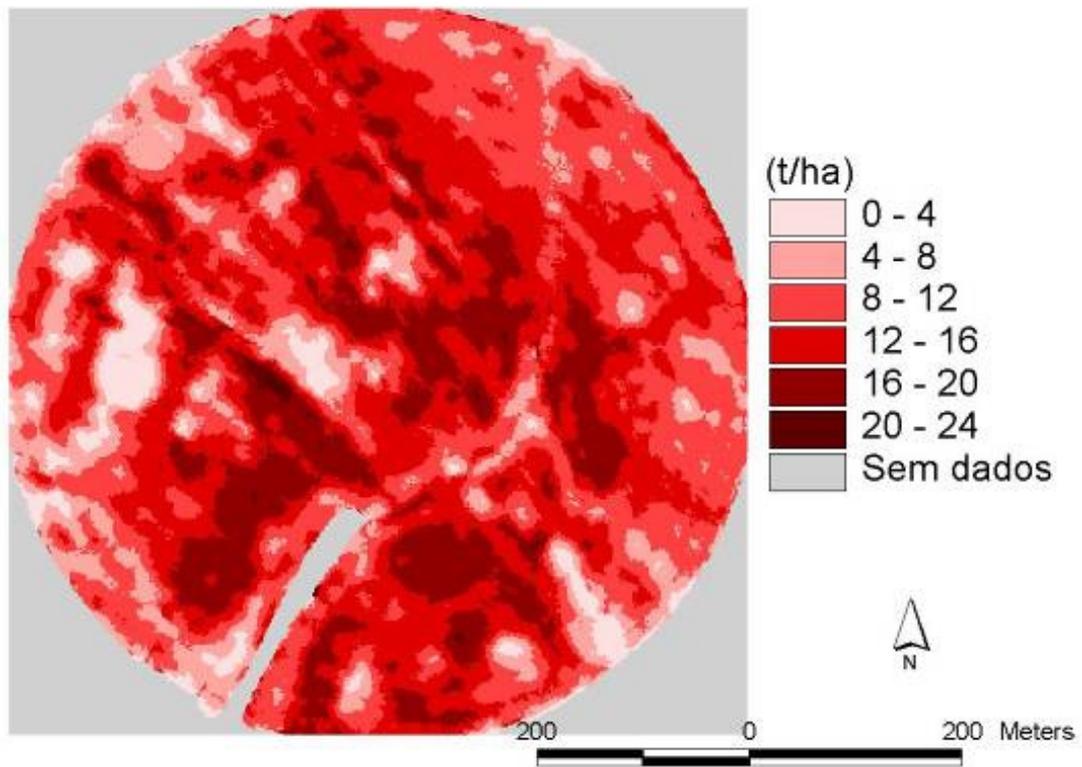


Figura 49 - Mapa de produtividade em 2002

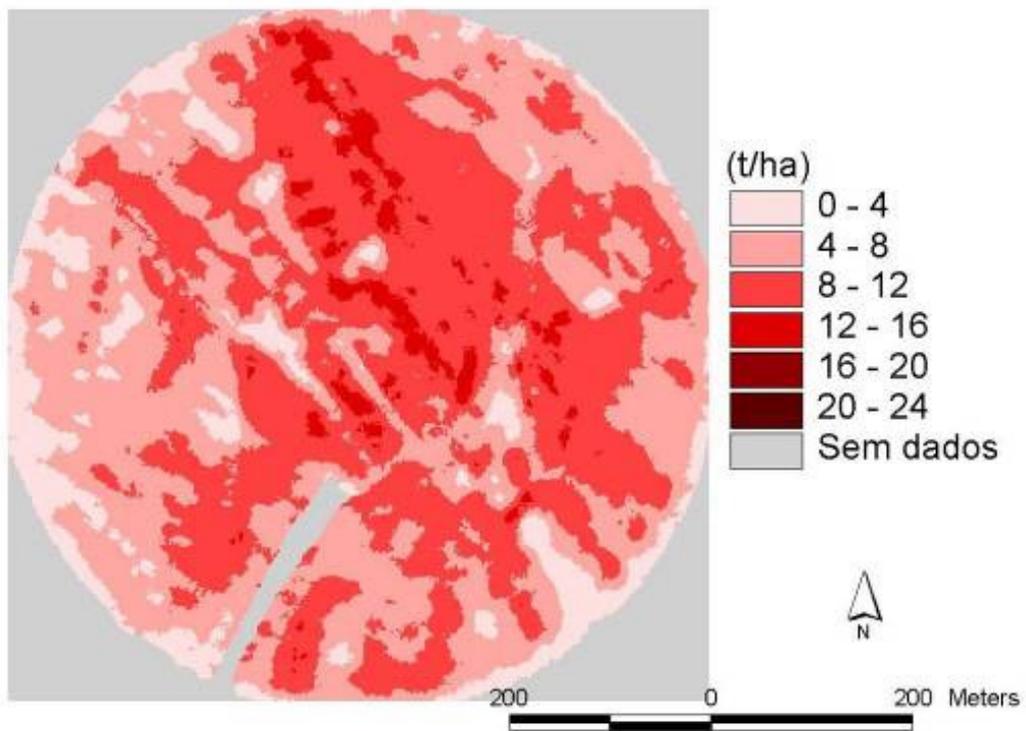


Figura 50 - Mapa de produtividade em 2003

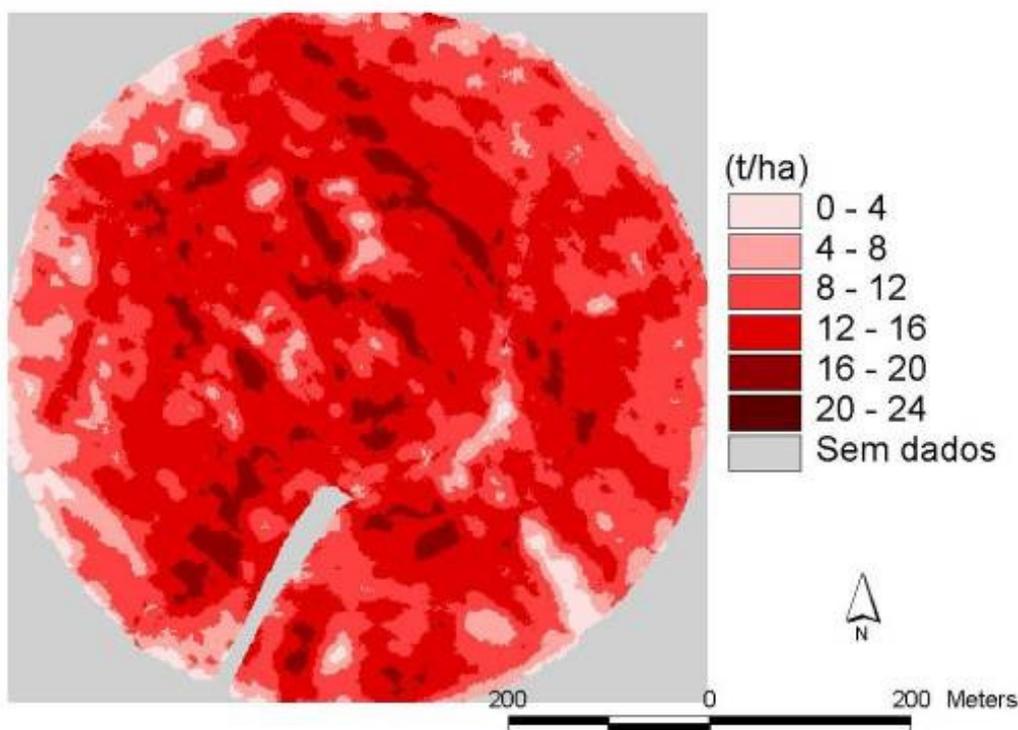


Figura 51 – Mapa de produtividade em 2004

As necessidades de rega do milho para a região onde se situa esta parcela andam à volta dos 550 a 650 mm/ano, dependendo, entre outros factores, da eficiência de aplicação da água pelo sistema de rega, da duração do ciclo da cultura, da capacidade de armazenamento da água no solo e da gestão da rega. Nos dois primeiros anos o empresário agrícola regou cerca de 550 mm de água, ou seja, muito no limite das necessidades de água da cultura. No ano de 2003 registaram-se temperaturas muito elevadas, geralmente acima dos 40°C no fim de Julho e princípio de Agosto, o que dificultou a gestão da rega e fez aumentar as necessidades de água da cultura, que sofreu alguns períodos de défice hídrico, com conseqüente efeito na produção. Em face dos maus resultados do ano anterior o agricultor aumentou a quantidade de água aplicada para cerca de 600 mm em 2004, o que lhe permitiu obter melhores resultados.

Verifica-se também pela observação destas Figuras e comparando com a Figura 48, que as zonas mais altas tiveram geralmente menores produções do que as zonas mais baixas do terreno. Isto pode ser explicado pela maior

disponibilidade de água nas zonas mais baixas que acumulam o excesso de água aplicada na rega e que não se infiltrou no solo logo após a sua aplicação, ou seja, a água proveniente do escoamento superficial. Por outro lado, as zonas mais baixas do terreno também costumam apresentar maiores teores de matéria orgânica e solos mais profundos. O arrastamento das partículas finas do solo através do escoamento da água em excesso, faz com que as zonas mais baixas do terreno tenham texturas mais finas e por isso maior capacidade de armazenamento da água, o que é muito importante para o crescimento das plantas, principalmente quando a rega é deficitária.

A variabilidade inter-anual da produção é também ilustrada pela Figura 52 e pela Tabela 2. Através destas, constatamos que o ano de 2004 tem uma média de produtividade ligeiramente superior à do ano de 2002, que se poderia explicar pela maior quantidade de água aplicada. Para além da variabilidade inter-anual da produtividade, poderemos constatar que no mesmo ano a variabilidade espacial da produtividade, expressa pelo coeficiente de variação da média (CV), é geralmente sempre muito elevada, tendo sido especialmente elevada no ano de 2002, tendo-se verificado o valor mais baixo em 2004 (Tabela 2). Pode assim concluir-se que o aumento da quantidade de água aplicada na rega teve um efeito positivo não só no aumento da produtividade média da parcela como também numa maior uniformidade da produção dentro da parcela.

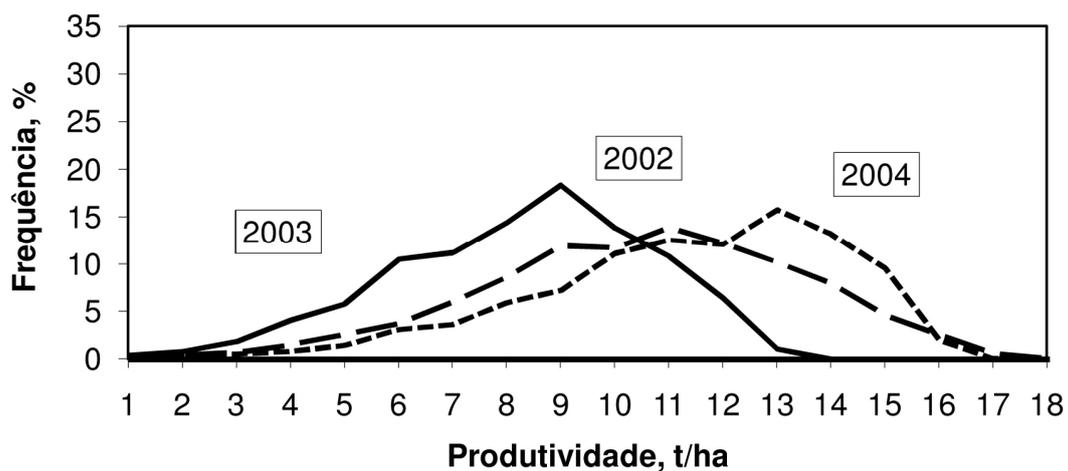


Figura 52 - Histograma da produtividade relativo aos três anos estudados

6.1.1. Resultados da análise da produção

Pela observação das Figuras 49, 50 e 51, o empresário agrícola fica desde logo com uma informação preciosa que não tinha anteriormente:

- Pode identificar zonas dentro da parcela que apresentam sempre maus resultados, quer em anos de boa quer em anos de má produção;
- Comparando os resultados obtidos em diferentes zonas da parcela pode analisar os factores que nessas zonas são iguais e os que são diferentes (tipo de solo, topografia, etc), o que lhe poderá permitir identificar eventuais problemas a ser corrigidos;
- Comparando as produções obtidas em diferentes anos, pode verificar se na mesma zona da parcela houve alterações na produção obtida em cada ano e quais os factores que influenciaram essa variação (rega, fertilização, um ataque de uma praga, uma doença, etc.)

Após a análise das variações ocorridas e dos factores que as influenciaram, o empresário agrícola pode tomar decisões que ajudem a melhorar a sua actividade, por exemplo:

- Alterar o nível de aplicação de factores de produção em determinadas zonas ou em toda a parcela, caso verifique que essa solução é economicamente interessante;
- No caso de falta de água para a rega que impossibilite regar toda a área do center-pivot, pode seleccionar uma parte da área que em anos anteriores tenha demonstrado ser mais produtiva e deste modo maximizar os factores de produção e diminuir o risco.

Estas Figuras fornecem ao empresário agrícola o risco de investimento por metro quadrado, da parcela em causa, ou seja, cada metro quadrado da parcela apresenta um retorno de investimento variável no espaço. Conhecer esse retorno é fundamental para a tomada de decisão do empresário agrícola.

6.2. Análise de Viabilidade do Sistema de Produção Utilizado

Para além das questões ligadas à gestão anual da parcela, a informação obtida permite ainda tirar outras conclusões. A observação de valores de produção inferiores em determinadas zonas da parcela poderá questionar a viabilidade da utilização do sistema de rega escolhido para esta situação. Por exemplo, a observação de produções baixas na extremidade da parcela, onde existe um solo igual a outras zonas com melhores produções, permite verificar que o solo está a ter problemas em infiltrar a água aplicada na extremidade da máquina, por esta ser muito elevada, o que se reflecte num menor teor de água no solo nestas zonas e por conseguinte menores produções. Deste modo pode concluir-se que a utilização de outro tipo de aspersores que apliquem a água com menor intensidade, mais compatível com as características de infiltração do solo, poderia ser benéfica.

A observação de diferentes produções nas zonas mais altas e baixas do terreno pode permitir verificar se os problemas de escoamento, observados no campo, estão a afectar ou não a produção, uma vez que o excesso de água acumulada nas zonas mais baixas poderia levar a problemas de drenagem e à morte das plantas, com consequentes quebras de produção.

Neste caso, e dado que o empresário agrícola suspeitava ter alguns problemas por excesso de escoamento, fez-se uma análise da produtividade por zonas, em função da proximidade das linhas de escoamento. Definiram-se 9 zonas (classes) dentro da parcela, definidas em função da distância à linha de escoamento. As nove classes foram então divididas considerando os seguintes intervalos de distância linear às linhas de escoamento: 0-5 m, 5-10 m, 10-15 m, 15-20 m, 20-25 m, 25-30 m, 30-35 m, 35-40 m e mais de que 40 m (Figura 53).

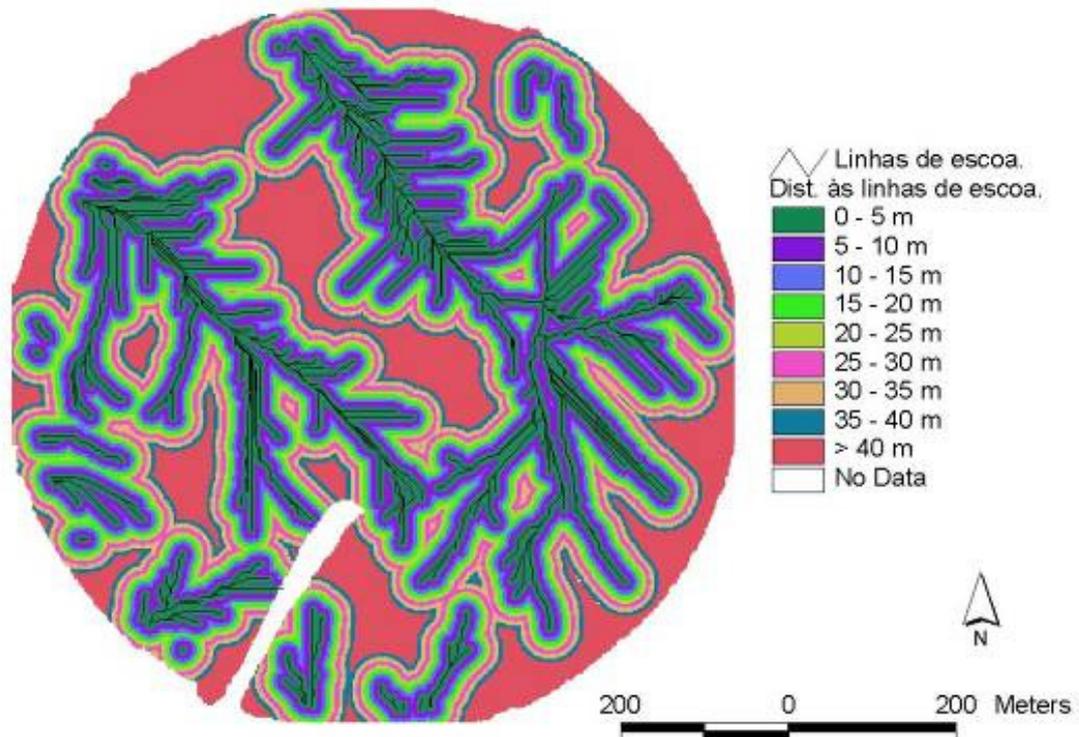


Figura 53 - Classes de distância às linhas de escoamento

Considerando esta divisão em 9 zonas de produtividade, foi obtida a Figura 54. Pela sua análise podemos verificar que, em todos os anos estudados, a produtividade média diminui à medida que a distância linear à linha de escoamento aumenta, ou seja, as zonas mais perto das linhas de escoamento apresentaram melhores produções.

Além disso, uma análise da variabilidade anual da produção (Figura 55) pode ainda permitir verificar a existência de uma menor variação da produção nas zonas mais perto das linhas de água relativamente à produtividade média.

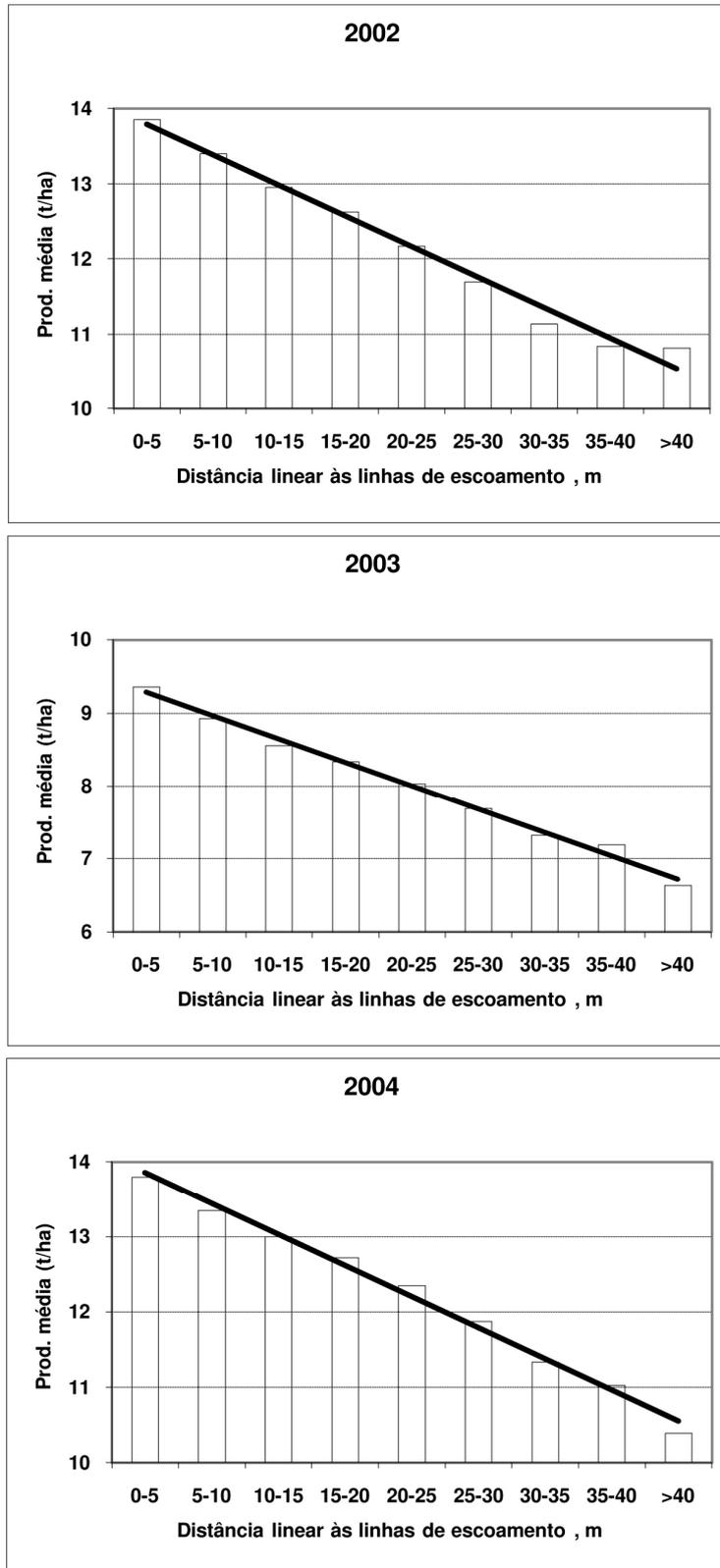


Figura 54 – Histogramas da produtividade média em função da distância às linhas de escoamento

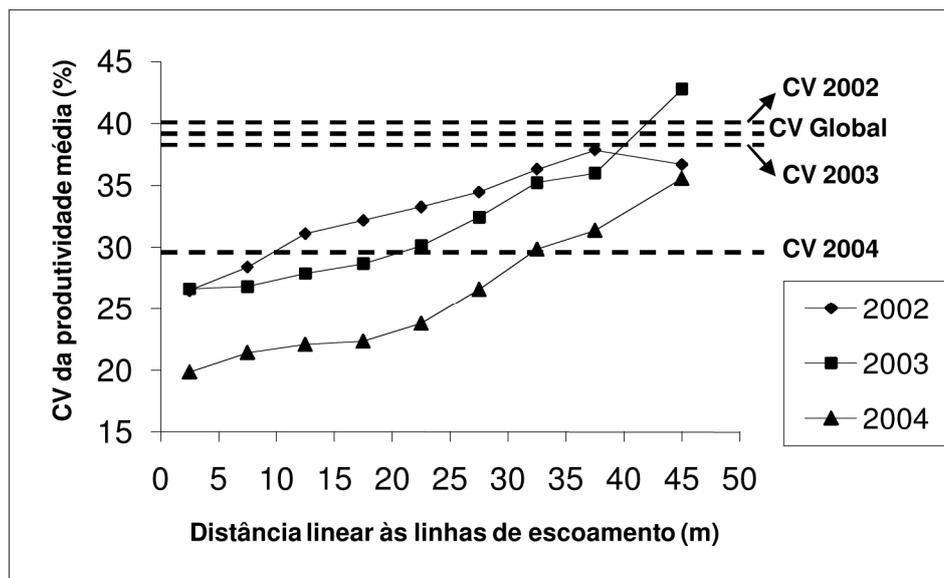


Figura 55 - Coeficientes de variação: a) da produtividade média global, b) da produtividade média anual e c) da produtividade média em função da distância às linhas de escoamento

Desta análise o empresário agrícola pode retirar três conclusões importantes:

- na maioria dos anos regou aquém das necessidades de água da cultura, o que se confirma pela maior produção obtida nas zonas de maior disponibilidade de água (as zonas baixas) e na maior produção média da parcela obtida no ano em que aplicou mais água, i.e., 2004;
- a maior disponibilidade da água ajuda a uniformizar a produção;
- a existência de zonas com escoamento significativo, confirmadas pelas observações feitas no campo durante as três campanhas de rega analisadas, implicam que existem zonas do terreno que não são capazes de infiltrar toda a água aplicada.

6.3. Estratégias a Adotar

Depois de fazer a análise da informação obtida o empresário agrícola poderá pensar em estratégias a adotar no futuro, que sejam técnica e economicamente viáveis e que ajudem a melhorar o seu sistema produtivo.

Em relação ao facto da rega ter sido deficitária em pelo menos alguns anos, facilmente se compreende que é necessário que o empresário agrícola faça uma estimativa mais adequada das necessidades de água da cultura. Existem hoje em dia diversas ferramentas informáticas que podem ajudar os empresários agrícolas nesta determinação.

No que se refere ao facto do sistema de rega não ser suficientemente compatível com a totalidade dos solos e topografia existentes na área a regar, e assumindo que não será economicamente viável estar a introduzir modificações no sistema propriamente dito, então a opção poderá passar pela escolha de sistemas de mobilização do terreno que permitam minimizar a ocorrência de escorrimentos da água da rega. Algumas destas técnicas, já muito divulgadas, são, por exemplo, a sementeira directa, a mobilização mínima ou a técnica dos covachos.

Outra opção, que se encontra hoje ainda numa fase mais experimental do que comercial, seria a utilização de sistemas de rega de precisão. Estes sistemas têm a possibilidade de aplicar a água de rega de modo diferenciado sobre a parcela, em função do tipo de solo, da topografia, etc.

Apesar da água ser um, senão o, factor mais importante, é de realçar que outros factores poderão também estar associados às variações de produção dentro da parcela. Por exemplo, o transporte de nutrientes das zonas mais altas da parcela para as zonas mais baixas através dos escorrimentos existentes, o que é mais evidente quando a fertilização é feita por ferti-irrigação. Neste caso concreto, ter-se-ia que efectuar uma nutrição diferenciada da cultura aplicando mais nutrientes nas zonas mais afastadas das linhas de escoamento, pois alguns destes nutrientes, por escorrimento, irão parar junto das linhas de escoamento. Para além da gestão diferenciada da nutrição em função da topografia, numa perspectiva de tentar aproveitar ao máximo as condições mais favoráveis do terreno, que ocorrem geralmente nas zonas baixas, poder-se-ia também optar por gerir a população de plantas, por exemplo, aumentando a densidade de sementeira nestas zonas.

Todo este tipo de gestão diferenciada, seja ela de água, de nutrientes, do número de plantas por unidade de área, da profundidade da semente, de

pesticidas, etc., passa pelos objectivos fundamentais da agricultura de precisão, pois este tipo de agricultura ao reconhecer a variabilidade espacial, reconhece também que teremos que tratar de maneira diferente, aquilo que é diferente, de forma a promover uma maior eficiência económica do sistema e ao mesmo tempo torná-la uma actividade com um menor risco ambiental.

6.4. Conclusão

A utilização de informação geo-referenciada da produção e a possibilidade de fazer mapas de produção são hoje em dia uma ferramenta muito útil para a tomada de decisão dos empresários agrícolas.

Este tipo de análises permite: i) identificar muitos problemas e situações que influenciam negativamente a produção; ii) avaliar o próprio método produtivo utilizado; iii) definir estratégias a adoptar para melhorar a produtividade e iv) recolher informação que permita identificar os aspectos mais importantes a analisar em investimentos futuros.

A utilização da informação geo-referenciada da produção não permite excluir a necessidade de observações no campo. As observações de campo são imprescindíveis para completar a análise da informação recolhida. Permite sim ajudar o empresário agrícola a definir as zonas do terreno onde terá que efectuar com mais rigor ou frequência essas mesmas observações. E ao mesmo tempo definir áreas com idêntico potencial produtivo, limitando assim a necessidade de amostragens para determinação de parâmetros que influenciem a produção, como é o caso de análises de solo, ou ainda de observações ou medições de parâmetros fisiológicos das plantas para avaliação do seu estado vegetativo.

7. NOVAS TECNOLOGIAS NA DISTRIBUIÇÃO DIFERENCIADA DE FERTILIZANTES EM PASTAGENS: O FECHAR DE UM CICLO EM AGRICULTURA DE PRECISÃO

João Manuel Serrano (1) e José Oliveira Peça (2)

(1) e (2) Universidade de Évora, ICAAM, Departamento de Engenharia Rural, jmrs@uevora.pt

A aplicação de fertilizantes pode considerar-se como um dos principais impulsionadores do conceito de Agricultura de Precisão, em termos económicos e, principalmente, ambientais. Por maiores desenvolvimentos que possam ocorrer quer nas tecnologias quer nos sistemas de apoio à decisão, são as máquinas de aplicação de sementes, fertilizantes e produtos fitossanitários que em última instância os concretiza, que fecha um ciclo. O conceito geral de racionalidade de gestão que se exige não se compadece com o fraco rigor que na maioria das vezes se encontra associado, por exemplo, com a distribuição de adubo. A imprecisão reflecte-se na prática na falta de correspondência entre as densidades de adubo pretendida e aplicada numa determinada parcela. O desenvolvimento ocorrido na tecnologia acarreta, naturalmente, maior responsabilização tanto dos fabricantes do equipamento como dos agricultores, competindo-lhes quer a avaliação dos seus equipamentos quer o acompanhamento prático dos mesmos.

Este trabalho de divulgação insere-se no âmbito de um projecto de Desenvolvimento Experimental e Demonstração (DE&D) financiado pelo programa AGRO (AGRO-390) e intitulado "Demonstração de tecnologias de aplicação diferenciada de fertilizantes e de sementes no melhoramento de pastagens no Alentejo".

7.1. A Inovação em Distribuidores de Adubo

As máquinas agrícolas sofreram uma evolução muito marcada nos últimos anos, resultante em grande medida da incorporação de sensores e unidades de cálculo electrónicos. Os modernos distribuidores centrífugos de adubo apresentam células de carga (sensores de força) na base do depósito do adubo (tremonha), as quais medem a massa deste presente em cada instante na tremonha e informam uma unidade electrónica de gestão (Figura 56).



Figura 56 – “Ferticontrol” sistema de comando do distribuidor centrífugo de adubo "Vicon RS -EDW"

Esta tem também possibilidade de receber as informações da velocidade de trabalho, fornecida por um sensor magnético de proximidade ou por um radar montado no tractor, e da largura efectiva de trabalho, introduzida na consola pelo operador. Para além de informar, a unidade electrónica efectua a regulação automática da densidade de adubação aplicada (Figura 57), uma vez que permite a programação da densidade de adubação pretendida e se encontra ligado a um sistema eléctrico ou electro-hidráulico de comando da abertura das placas de dosagem do adubo (Figura 58). Estes distribuidores têm assim capacidade para se auto regularem perante variações na velocidade de deslocamento do tractor (Figura 59), as quais acontecem inevitavelmente e que, de outra forma, produziriam erros importantes de aplicação.

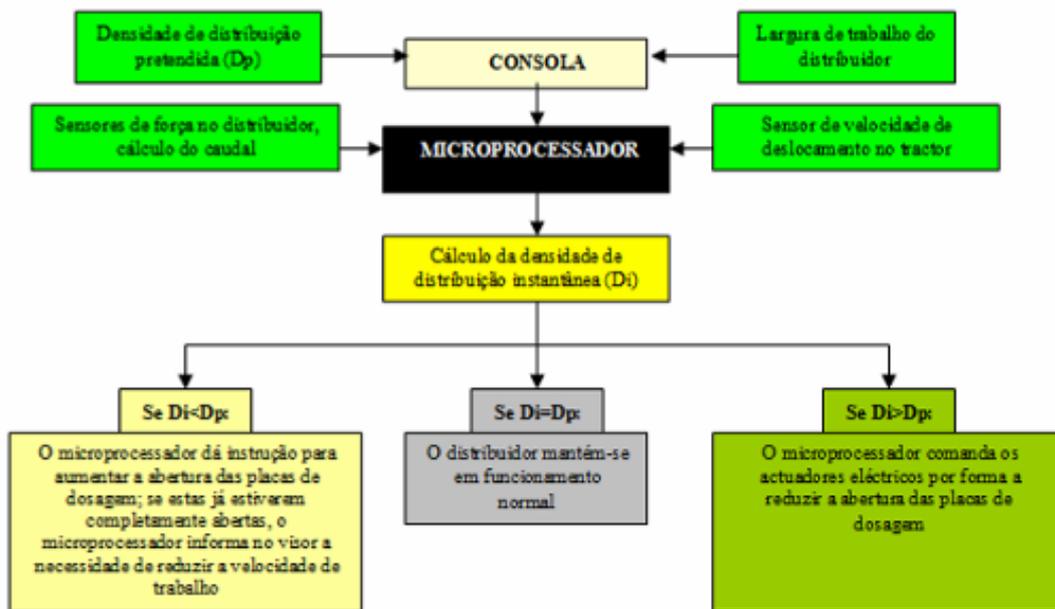


Figura 57 - Diagrama representativo da regulação da densidade de distribuição em distribuidores com comando electrónico



Figura 58 - À esquerda, actuador eléctrico; à direita, abertura das placas de dosagem do adubo

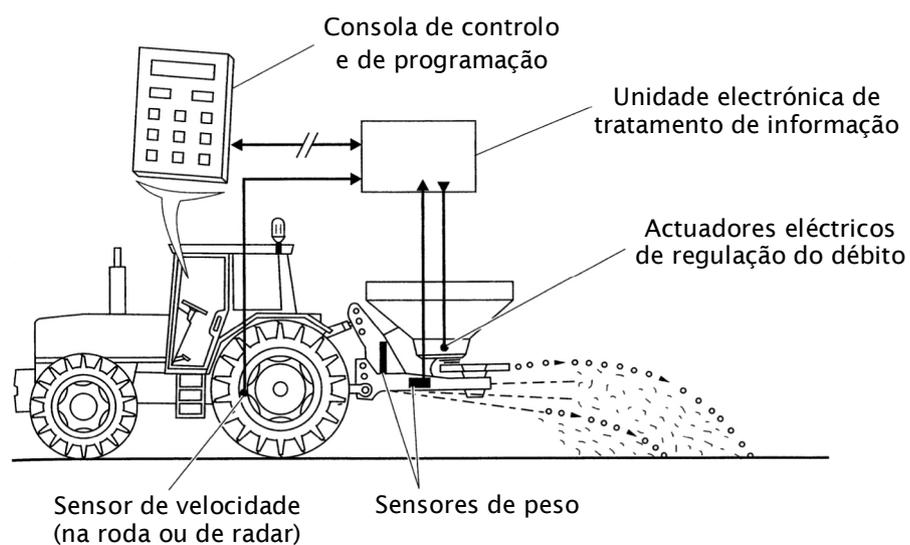


Figura 59 - Princípio de regulação do débito proporcional à velocidade de avanço

Fonte: Cemagref, 1997

Actualmente, a sofisticação atingida permite já a ligação a interfaces (Figura 60) e a sistemas de localização das máquina no terreno, normalmente o sistema DGPS (Differential Global Positioning System), permitindo a gestão diferenciada da aplicação em função das características da parcela e com base numa programação prévia assente em conhecimentos agronómicos (Figura 61).



Figura 60 – Sistemas “Ferticontrol” (em baixo, à esquerda), “Fieldstar” (ao centro) e “Datatronic 2” (à direita), instalados na cabina do tractor MF 6130

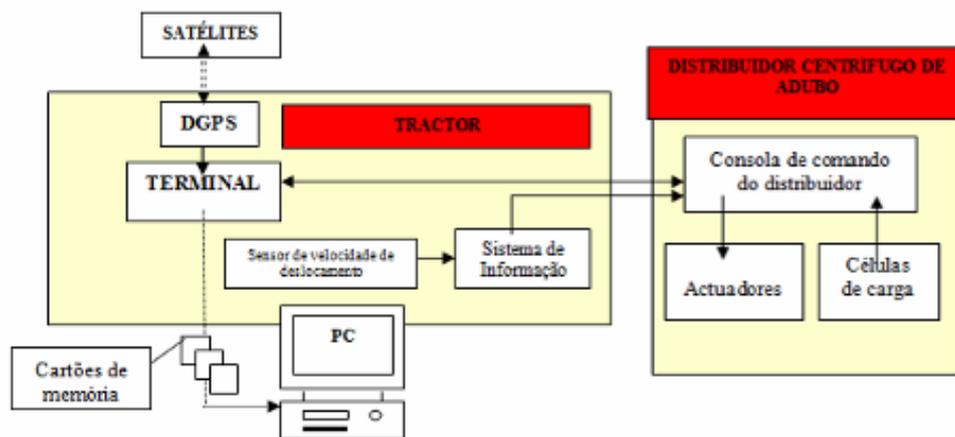


Figura 61 – Diagrama esquemático de um sistema de aplicação diferenciada de fertilizantes

Do anteriormente exposto pode perceber-se que a intervenção do operador tem lugar apenas a dois níveis: na programação da densidade a aplicar e na

indicação da largura efectiva de trabalho. Em relação à primeira, inúmeras equipas em todo o mundo procuram desenvolver, a partir de bases de dados, ferramentas de apoio à tomada de decisão, assentes em algoritmos mais ou menos complexos ou em informação da variabilidade, quer das culturas quer do solo, obtida em processos expeditos. No que respeita à segunda, a prática mostra que são frequentes os erros cometidos, naturalmente com implicações económicas e ambientais.

Ao nível do contacto com o agricultor - a importância está em regular o distribuidor para que este conduza a uma distribuição o mais uniforme possível para uma determinada largura de trabalho, largura essa que é determinada por outros aspectos relevantes como por exemplo a necessidade de seguir linhas de tráfego.

Ao nível do contacto com o construtor - As entidades certificadoras deverão emitir documentos que indiquem o máximo de uniformidade conseguida para um conjunto de larguras de trabalho mais comuns e que estão dentro do espectro de larguras que o construtor menciona. Para qualquer dos casos acima indicados, o processo de avaliação experimental baseia-se na recolha em tabuleiros, podendo ser mais ou menos assistido por sofisticação experimental.

7.2. Principais Erros Cometidos na Utilização de Distribuidores de Adubo

As inovações tecnológicas têm como primeiro objectivo melhorar o desempenho das máquinas. Este objectivo implica um natural acréscimo de custo de aquisição, o que não é compatível com a utilização empírica das máquinas.

No que respeita à utilização de distribuidores de adubo, a divergência entre a densidade de aplicação de fertilizante pretendida e a densidade efectiva tem normalmente uma das seguintes origens (Serrano *et al.*, 2005):

1) Fraca qualidade do adubo (granulometria heterogénea)

A maioria dos fabricantes de distribuidores fornece com o equipamento um medidor das fracções granulométricas do adubo (Figura 62). O resultado desta avaliação é fundamental para estabelecer as regulações na máquina

(especialmente do ponto de queda do adubo nos discos) de acordo com o manual da mesma e com vista a obter a densidade de aplicação pretendida.

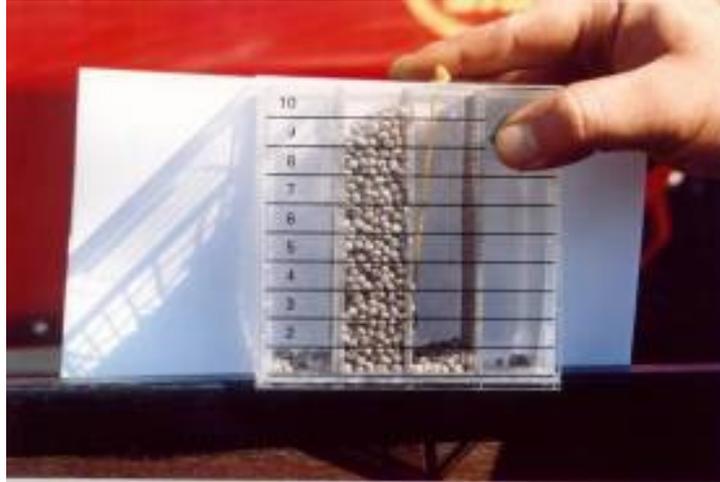


Figura 62 – Avaliação da granulometria do adubo

2) Deficiente calibração de débito do distribuidor

O distribuidor não se encontra bem calibrado para dosear o caudal pretendido. A equação seguinte relaciona a densidade de adubo distribuída (D , em kg/ha), com o caudal (q , em kg/minuto), com a largura de trabalho (l , em m) e com a velocidade de deslocamento (v , em km/h).

$$D = q * 600 / (l * v)$$

3) Desigual regulação entre discos

O distribuidor de dois discos não se encontra correctamente regulado para fazer uma distribuição igual para ambos os lados. À partida, um distribuidor com dois discos, regulados de igual forma de fábrica, não apresenta diferenças no caudal entre discos. Todavia, podem ocorrer diferenças importantes de caudal entre discos, o que só poderá ser detectado em ensaios com a utilização simultânea de dois recipientes de calibração. A Universidade de Évora, para este efeito desenvolveu um depósito, dividido em dois compartimentos, que permite a recolha simultânea de adubo de ambos os discos (Figura 63). As causas inerentes à divergência de caudal entre discos poderão ter a ver com a deficiente regulação da

horizontalidade do distribuidor ou com deficiente regulação dos actuadores responsáveis pela abertura/fecho das placas de dosagem do adubo, levando à desigual abertura das placas de um e outro disco.



Figura 63 – Depósito de recolha de adubo simultânea de ambos os discos de um distribuidor centrífugo

4) Não realização de ensaios prévios em condições reais

- Ensaios de avaliação da distribuição longitudinal

A transição longitudinal entre diferentes densidades de aplicação assume particular importância na implementação da gestão intra-parcelar. Se a avaliação de uma parcela do terreno conduz a variabilidade que justifica uma aplicação de fertilizante heterogénea, é fundamental que o distribuidor, em andamento, tenha mecanismos capazes de proporcionar uma resposta rápida e adequada a cada zona específica do terreno. A instrução é dada, nos sistemas actuais, a partir de informação geo-referenciada lida em cartões de registo (Figura 64) programados previamente com base no conhecimento das características do solo. O “software” associado a esta gestão permite normalmente definir, de forma mais suave ou mais brusca, a transição entre diferentes densidades de aplicação. A Figura 65 ilustra a realização de ensaios de avaliação da zona de transição entre diferentes densidades de aplicação,

utilizando recipientes de coleta de adubo (Figura 66) colocados longitudinalmente à passagem do conjunto tractor-distribuidor.

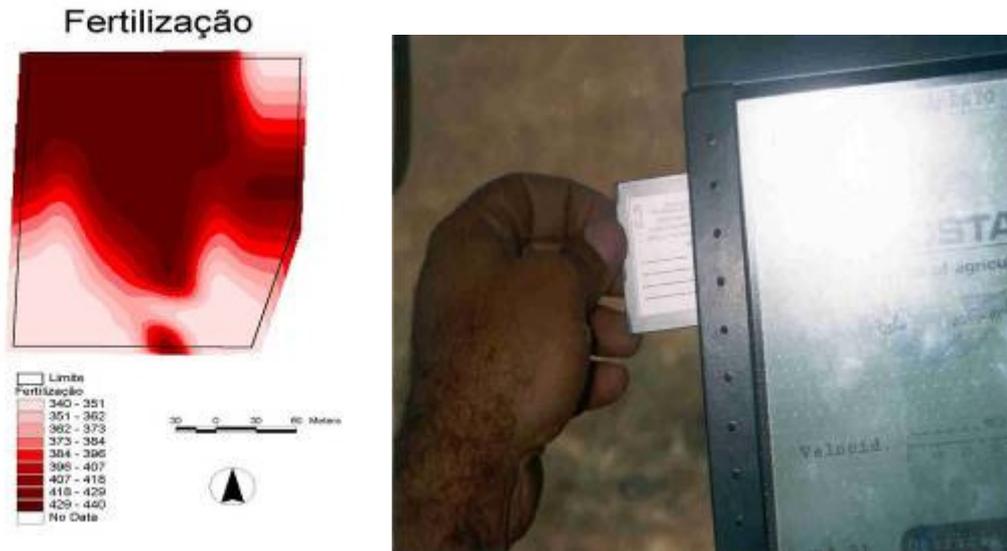


Figura 64 – Transferência do mapa de aplicação de Superfosfato 18% para o terminal de comando via cartão de registro



Figura 65 – Ensaios de distribuição longitudinal do adubo

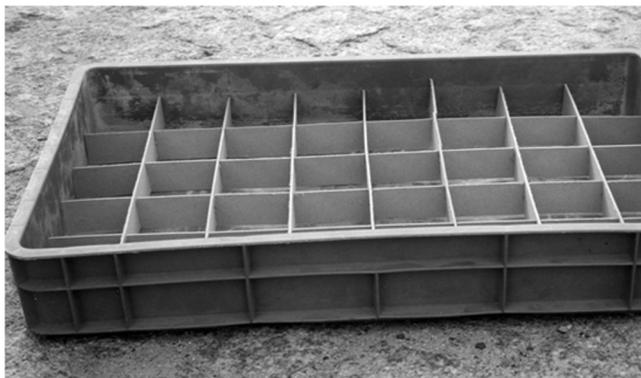


Figura 66 – Recipientes de recolha do adubo no campo;
pormenor do dispositivo “anti-salpico”

- Ensaio de avaliação da distribuição transversal

Para que a aplicação de fertilizantes corresponda ao rigor inerente ao conceito de Agricultura de Precisão, é necessário que todos os factores sejam devidamente controlados. Um desses factores prende-se com a distância entre passagens do conjunto tractor-distribuidor, a qual deve corresponder à efectiva largura de trabalho do distribuidor (Figura 67).

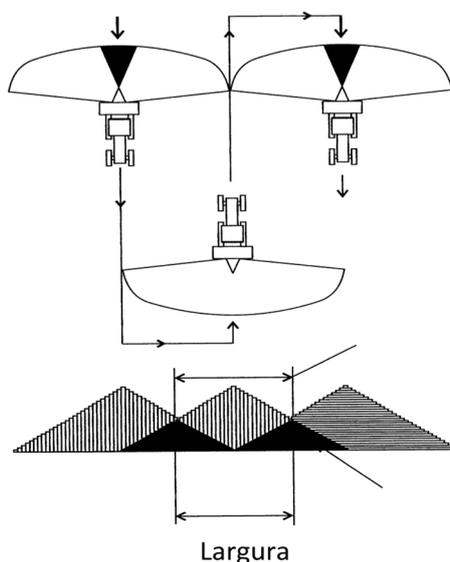


Figura 67 – Passagens sucessivas de ida e volta do
conjunto tractor-distribuidor

Fonte: Cemagref, 1997

Na utilização destes equipamentos, o agricultor habitualmente toma uma das seguintes decisões:

- Segue a indicação da largura de trabalho fornecida pelo manual do fabricante; esta, por mais completa que possa ser, não é exaustiva atendendo à grande variedade de adubos existentes e respectivas características (granulometria, teor de humidade, etc.) e ao elevado número de regulações específicas; por outro lado, são indicações obtidas em condições de ensaio controladas, que fazem com que a adaptação a condições reais se torne susceptível de erros importantes;
- Realiza passagens operativas com o conjunto tractor-distribuidor e verifica no solo a largura total de distribuição, adaptando para largura efectiva de trabalho o valor de 60 a 70% da largura total de distribuição (DGHEA, 1989); todavia, este é apenas um valor indicativo, só admissível quando não for possível a determinação com precisão.

7.3. Importância da Determinação da Largura Efectiva de Trabalho

A determinação da largura efectiva de trabalho tem uma grande importância uma vez que pode resultar na aplicação heterogénea do adubo ao longo da largura de trabalho, produzindo zonas de sobredosagem em alternância com zonas de subdosagem. Para além do aspecto económico, de desperdício de fertilizante, podem despoletar-se situações de risco de poluição ambiental, especialmente associadas com a utilização incorrecta dos adubos azotados. Este aspecto é agravado nos distribuidores centrífugos de adubo de disco duplo, os quais permitem, em muitos casos, larguras de distribuição da ordem dos 40 a 50 m. Qualquer erro de sobreposição é, nestas condições, muito ampliado. Justifica-se, por isso, que o agricultor seja rigoroso nesta determinação, em face das circunstâncias de trabalho pretendidas (fundamentalmente, tipo e quantidade de adubo a aplicar e regulação do ponto de queda do adubo nos discos distribuidores).

Instituições acreditadas em todo o mundo (Divisão de Mecanização do IHERA em Portugal; Cemagref em França; DLG na Alemanha; ASAE nos EUA,...) realizam testes em bancos de ensaio, em condições standard, regulamentadas

por normas internacionais (por exemplo, ASAE S341.3 FEB99 ou NF EN 13739-2). Os próprios fabricantes de distribuidores realizam testes, cujos resultados reproduzem nos manuais destes equipamentos como forma de orientação dos operadores. Estas instituições reconhecem, contudo, que a aplicação de adubo em condições reais de trabalho não reflecte normalmente os resultados obtidos em condições controladas. Aspectos como a intensidade e direcção do vento, o declive do terreno, a humidade atmosférica, a velocidade de trabalho, as características específicas de determinado adubo e outras condicionam o comportamento do distribuidor e interferem no perfil transversal de distribuição de adubo.

A regularidade da distribuição deve traduzir num fornecimento constante da quantidade pretendida em todos os pontos da largura de trabalho do distribuidor, supostamente homogénea em termos de fertilidade. No sentido longitudinal (de avanço do tractor), a variação da quantidade fornecida só depende da variação do regime do motor e da velocidade de avanço do tractor. Nos distribuidores em que o débito é proporcional ao avanço, a variação longitudinal é praticamente nula. Pelo contrário, no sentido transversal, a variação da quantidade distribuída pode ser muito mais importante, estando dependente da repartição transversal e da sobreposição nas passagens de ida e volta (Cemagref, 1997).

A projecção do adubo aplicado por um distribuidor centrífugo depende de um conjunto muito diverso de factores, como o número de discos, o tipo de rotação, a regulação do ponto de queda do adubo no disco distribuidor, as características do adubo, etc., tendo como resultado diferentes curvas de aplicação. É habitual que maiores quantidades de adubo sejam distribuídas na zona central, mais próximas do distribuidor, do que nas extremidades. Para obter uma distribuição uniforme em toda a largura de trabalho é necessário fornecer na volta (passagem seguinte) a densidade complementar, sobrepondo parcialmente a passagem de ida, numa largura variável. A apreciação da regularidade é indispensável para determinar a sobreposição óptima. A medição da regularidade transversal pode ser realizada numa parcela, recolhendo o adubo distribuído em recipientes colocados sobre uma linha perpendicular ao eixo de avanço (Figura 68). A pesagem do conteúdo de cada

recipiente permite traçar um diagrama com o perfil transversal de distribuição (Figura 69). O tratamento informatizado desta informação, por exemplo, através de uma simples folha de cálculo do Excel, com a simulação de diferentes larguras de trabalho e de sobreposição, permitirá o estabelecimento da largura efectiva de trabalho, a qual deverá garantir a aplicação da densidade pretendida com o menor coeficiente de variação transversal possível. Na prática, a boa distribuição de adubo sobre o terreno depende da boa simetria direita-esquerda e do adequado paralelismo das passagens. Sobreposição correcta é aquela que conduz a uma distância entre passagens igual à largura efectiva de trabalho, traduzindo-se por uma curva de sobreposição praticamente linear. Sobreposição excessiva é aquela em que a distância de passagem é inferior à largura efectiva de trabalho, tendo como resultado a sobredosagem nas zonas de sobreposição. Sobreposição insuficiente é aquela em que a distância de passagem é superior à largura efectiva de trabalho, resultando em subdosagem nas zonas de sobreposição.



Figura 68 – Ensaios de campo para avaliação da largura efectiva de trabalho de distribuidores de adubo

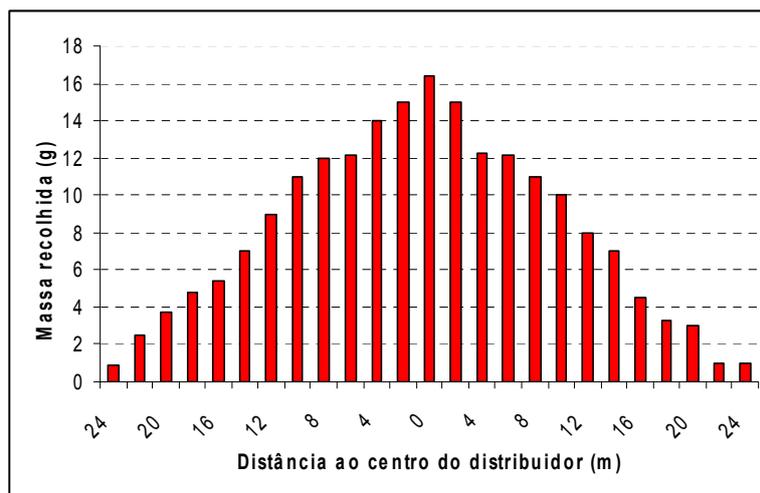


Figura 69 – Curva transversal de distribuição de adubo

Para os equipamentos que já se encontram no agricultor é possível realizar ensaios no campo, muitas vezes como formas de demonstração, utilizando recipientes de recolha em toda a largura de trabalho dos distribuidores ou não, de forma simplificada e indicativa. Estes ensaios não visam comprovar as indicações dos fabricantes, antes permitem ajustar a largura efectiva de trabalho à distância entre passagens sucessivas, em função do tipo de adubo, e comprovar a simetria de distribuição esquerda-direita. Devem ser realizados estes ensaios sempre que mudar a natureza do adubo e a regulação do distribuidor. Em alguns países da Europa existem já pequenas empresas de prestação de serviços que se deslocam às explorações agrícolas a pedido dos agricultores e que realizam testes de avaliação de distribuidores, facultando os resultados e fornecendo sugestões que garantem uma correcta utilização destes equipamentos.

Depois de realizados os diferentes ensaios de calibração de um distribuidor, os quais têm como objectivo final a obtenção da largura efectiva de trabalho, há necessidade de garantir no campo que as passagens sucessivas do conjunto tractor-distribuidor são efectuadas paralelamente umas às outras e afastadas a distância correcta. A observação da prática no campo mostra que este é, provavelmente, um dos aspectos ao qual os operadores dão menor importância. Apesar de nalguns casos serem utilizados, por exemplo, marcadores de espuma ou mesmo sistemas artesanais de sinalização, com

operadores auxiliares portadores de bandeiras colocados nos extremos das parcelas, é muito frequente o operador realizar as sucessivas passagens sem qualquer referência, daí resultando erros de aplicação que podem assumir proporções consideráveis (Serrano *et al.*, 2005).

Na perspectiva de Agricultura de Precisão existem já sistemas comerciais de apoio à condução em linha recta, normalmente através de barras luminosas (“lightbar”, Figura 70) ou mesmo sistemas de comando automático da direcção.



Figura 70 – Sistema “lightbar” de apoio à condução em linha recta do conjunto tractor-distribuidor

7.4. Utilização da Tecnologia VRT em Pastagens

A adequada regulação do distribuidor centrífugo de adubo equipado com tecnologia de aplicação variável (VRT) é apenas uma das etapas em qualquer projecto de Agricultura de Precisão em pastagens.

O interesse em transpor tecnologias de ponta, tradicionalmente utilizadas nos cereais, para a área das pastagens é um estímulo à pecuária extensiva e ao montado. No Alto Alentejo, uma grande percentagem de solos apresenta limitações à produção agrícola, uma vez que predominam parcelas caracterizadas por terem uma reduzida camada arável, problemas de drenagem, baixos teores de matéria orgânica, elevada acidez e muitos afloramentos rochosos à superfície. Estas parcelas, durante muitas décadas submetidas à produção de cereais, atingiram um estado de degradação que inviabiliza a utilização de sistemas intensivos de produção. Exige-se agora a

adopção de estratégias de recuperação a médio e longo prazo, as quais passam pela comprovada aptidão desta região para a produção pecuária de raças autóctones em regime extensivo, o que contribui para o fomento das pastagens permanentes, como parte integrante de um ecossistema de valor indiscutível que é o montado (Serrano *et al.*, 2006).

O gestor de uma pastagem tem consciência da variabilidade que ocorre, mesmo dentro de cada parcela, nas suas potencialidades produtivas e terá mesmo capacidade para sugerir a aplicação diferenciada de fertilizantes, correctivos e sementes, baseando-se na sua experiência e conhecimento técnico. A biodiversidade nas pastagens sob montado é um exemplo desta variabilidade. O que o gestor não tem normalmente são os meios para poder fazer a aplicação diferenciada dos factores de produção referidos, que a variabilidade lhe sugere, fazendo sim, com a tecnologia que dispõe, uma distribuição uniforme e não criteriosa. Por isso, um círculo vicioso está instalado: a tecnologia não está divulgada porque o agricultor não a solicita; o agricultor não solicita a tecnologia porque a desconhece.

A primeira etapa de qualquer ciclo de Agricultura de Precisão passa pela avaliação da heterogeneidade das parcelas. Quantificar a variabilidade inerente ao meio natural é essencial para decidir sobre a estratégia a implementar na condução das culturas, sobre o interesse ou não de gerir uma parcela de forma diferenciada.

O processo de levantamento levado a cabo na parcela de ensaio visou a construção de mapas de caracterização no ano zero, antes da intervenção da tecnologia de aplicação diferenciada. O tractor Massey-Ferguson 6130, equipado com o sistema "Fieldstar" e guiado pela antena "DGPS-Garmin" foi conduzido ao longo dos extremos de uma parcela de pastagem. Com o seu sistema de localização, foram registados no cartão de memória pontos de referência do contorno e a presença de árvores, afloramentos rochosos e outros obstáculos naturais existentes. Os dados foram transferidos através de um cartão de memória, para um computador pessoal (Figura 71) equipado com "software" adequado, o qual mostra o contorno da parcela e identifica os obstáculos registados. Criou-se desta forma o mapa da parcela. O mesmo contorno foi efectuado com uma antena "DGPS-Trimble", tendo instalado o "rover" sobre uma moto 4, permitindo o levantamento topográfico da parcela.

Com base na largura de trabalho do distribuidor, foram geo-referenciados pontos da grelha de levantamento da parcela e criado um plano de amostras.



Figura 71 - Tratamento dos dados no *software* instalado no computador pessoal

Fonte: adaptado de <http://www.masseyferguson.com/>

A análise de terra é o método mais antigo, mas também o mais seguro, de caracterizar um solo agrícola. Foram, por isso, recolhidas amostras geo-referenciadas (Figura 72) para avaliação de composição física e química do solo (azoto total; fósforo e potássio extraíveis; pH e matéria orgânica). Por outro lado, e uma vez que a avaliação da produção é incontornavelmente o único método de comprovação da heterogeneidade das parcelas que tem em conta o resultado final da cultura, procedeu-se também à recolha de amostras geo-referenciadas de pastagem (Figura 72) com vista à análise da composição florística (relação entre gramíneas e leguminosas, produção de matéria seca, etc.).



Figura 72 – Recolha de amostras georeferenciadas, de solo (à esquerda) e de pastagem (à direita)

Os resultados das análises e das observações permitiram construir o mapa da capacidade produtiva do solo ou mapa da variação do potencial produtivo do solo, o qual serviu para o gestor tomar decisões no que respeita à aplicação dos factores necessários à instalação e manutenção da pastagem. A Figura 73 ilustra, a título de exemplo, à esquerda, o mapa de distribuição de fósforo extraível na parcela, ao centro, a matéria orgânica em percentagem e, à direita, a produção de matéria seca total na parcela.

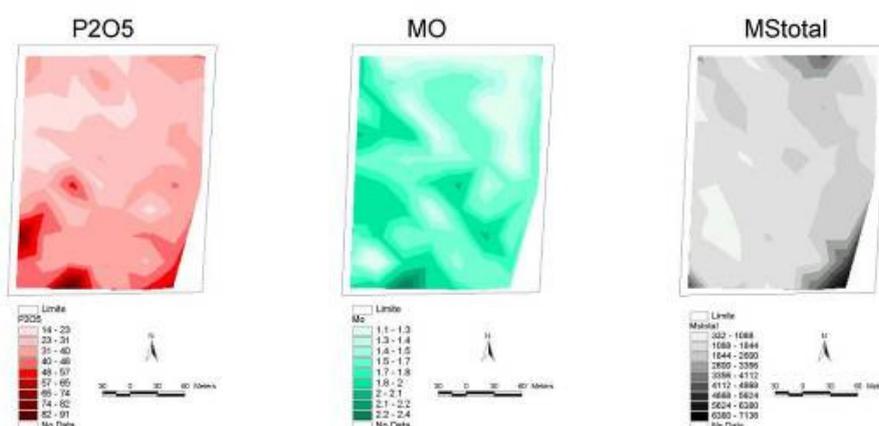


Figura 73 – À esquerda, mapa de distribuição do fósforo extraível na parcela (em p.p.m.); ao centro, mapa de distribuição da matéria orgânica na parcela (em percentagem); à direita, mapa de produção de matéria seca da pastagem (em kg/ha)

A gestão intra-parcelar é um processo em que o nível de conhecimento é cumulativo. São necessários vários anos de observações para identificar os principais factores explicativos da variabilidade constatada. As informações recolhidas (características topográficas; aspectos físicos e químicos do solo; composição florística da pastagem) foram organizadas em Sistemas de Informação Geográfica (SIG's; Figura 74) e disponibilizadas aos especialistas da equipa e a consultores externos para efeitos de tomada de decisão no que respeita à aplicação dos factores necessários à instalação e manutenção da pastagem. Esta é, seguramente, a fase mais complexa de todo o ciclo de Agricultura de Precisão. Informação mais detalhada sobre a metodologia utilizada no desenvolvimento do projecto de Agricultura de Precisão em pastagens pode ser encontrada em diferentes publicações da equipa do projecto, nomeadamente: Serrano *et al.* (2006) e Marques da Silva *et al.* (2008).

7.5. Novas Perspectivas em Pastagens

A evolução tecnológica proporciona actualmente um grande volume de informação e cria ao gestor um grau de dificuldade acrescido. Exige-se agora o correspondente desenvolvimento ao nível das ferramentas de apoio à tomada de decisão agronómica, adaptadas à Agricultura de Precisão, para interpretação dos mapas de capacidade produtiva dos solos e susceptíveis de tomar em conta os objectivos específicos de cada exploração. A decisão final deverá combinar os critérios económicos, ambientais e de qualidade da produção, o que vai exigir um esforço muito importante nos próximos anos, nomeadamente para a produção de referências regionais e locais.

A investigação actual encontra-se vocacionada essencialmente para o levantamento expedito das parcelas, surgindo a determinação da condutividade eléctrica do solo como um dos parâmetros de eleição das equipas de investigação em todo o mundo, como resultado da comprovada ligação entre este parâmetro e algumas características do solo com influência na produtividade (teor em água; teor em argila; teor em matéria orgânica; pH; etc.). A Figura 75 ilustra a utilização do sensor "DUALEM" para medição da condutividade eléctrica na parcela de pastagem da Herdade da Revilheira. Especificamente para as pastagens e forragens, a equipa do

projecto adquiriu um sensor de capacitância (“Grassmaster II”, Figura 75) para avaliação expedita e não destrutiva da quantidade de matéria seca da pastagem, utilizado com sucesso na Nova Zelândia e na Austrália e que se encontra em fase de calibração para as pastagens típicas do Alentejo.

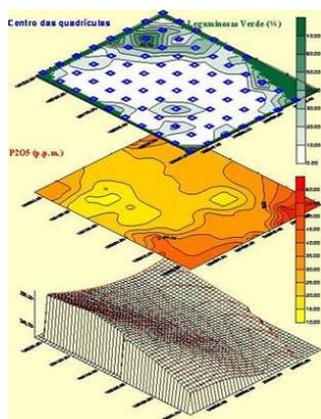


Figura 74 – Organização num Sistema de Informação Geográfica da informação relevante na tomada de decisão



Figura 75 – Medidor de condutividade eléctrica do solo “DUALEM” (à esquerda) e medidor da massa de matéria seca da pastagem “Grassmaster II” (à direita)

7.6. Referências

- ASAE Standards** (2003)- Procedure for Measuring Distribution Uniformity and Calibrating Granular Broadcast Spreaders. ASAE S341.3 FEB99, 198-201.
- CEMAGREF** (1997)- Les Matériels de Fertilisation et Traitement des Cultures: Technologies de l'agriculture. Collection Formagri, 51-102.
- DGHEA** (1989)- Distribuidores centrífugos de adubo: Regulações e Manutenção. Direcção Geral de Hidráulica e Engenharia Agrícola, Boletim Técnico, Ano 2, Nº 6, Maio de 1989.
- Marques da Silva, J. R., Peça, J. O., Serrano, J. M.; Carvalho, M. J.; Palma, P. M.** (2008). Evaluation of Spatial and Temporal Variability of Pasture Based on Topography and the Quality of the Rainy Season. Precision Agriculture 9: 209-229. (10.1007/s11119-008-9066-0).
- Serrano, João M.; Peça, José O.; Mendes, Jorge; Serrazina, Hugo** (2005). Novas perspectivas na utilização de distribuidores de adubo: inovação e avaliação. Revista da Associação Portuguesa de Mecanização Agrária, Nº2, Setembro, p. 40-44, 46.
- Serrano, João M.; Peça, J. O.; Palma, P. M.; Silva, J. R.; Roma, J. S.; Carvalho, M.; Crespo, D.; Mendes, J.; Casas A.** (2006). Variable application of fertiliser in permanent pastures. Grassland Science in Europe, Vol. 11, ISBN 84 689 6711 4, p. 688-690.

A sustentabilidade da produção agrícola passa, cada vez mais, pela capacidade do país incorporar de forma contínua inovações tecnológicas. A concepção de novos produtos, processos e tecnologias terão que proporcionar avanços na produtividade, segurança e qualidade dos alimentos e proporcionar a sustentabilidade futura desta actividade estratégica.

As novas tecnologias permitem, hoje em dia, encarar a actividade agrícola de forma diferente, surgindo assim uma “nova” forma de fazer agricultura baseada no conhecimento intensivo.

Esta é vulgarmente denominada por “AGRICULTURA DE PRECISÃO”.

Com este pequeno manual e a partir de exemplos onde esta técnica já é aplicada a nível nacional, esperamos contribuir para um maior esclarecimento dos benefícios, mas ao mesmo tempo dos desafios, que esta “nova” forma de fazer agricultura apresenta.



Ministério da
Agricultura,
do Desenvolvimento
Rural e das Pescas



UNIÃO EUROPEIA
Fundo Social Europeu