

Agricultura de Precisão em Pastagens

Alberto C. de Campos Bernardi¹ & Naylor B. Perez²

¹Embrapa Pecuária Sudeste São Carlos, SP; ²Embrapa Pecuária Sul, Bagé, RS

E-mail: alberto.bernardi@embrapa.br; naylor.perez@embrapa.br

Resumo: A quantificação da variabilidade espacial da produção da biomassa de forrageira, de índices de vegetação e propriedades do solo podem auxiliar nas práticas de manejo de pastagens como na rotação, manejo de nutrientes e previsão de rendimento. Porém, a determinação manual da biomassa de forragem é trabalhosa. São apresentadas algumas novas ferramentas que podem ser muito úteis nestas determinações. O sucesso das tecnologias de Agricultura de Precisão em pastagem está ligado à integração das informações fornecidas pelos vários sensores de monitoramento de planta, com sensores para solo e o entendimento da dinâmica do pastejo. Estas medidas, juntamente com medidas mais tradicionais (de fertilidade do solo, por exemplo) permitirá que o produtor tenha uma compreensão muito melhor do sistema pecuário e possa formular uma estratégia de manejo mais adequada. Também são apresentados os aspectos da Pecuária de Precisão como sendo o manejo da produção animal usando os princípios e tecnologias da engenharia de processo, com uso de sensores “inteligentes”.

Palavras-chave: Pecuária de precisão, variabilidade espacial, sensor.

Precision agriculture for pastures

Abstract: Quantifying spatial variation of forage biomass yield, vegetation index and soil properties can help on pasture management practices as grazing rotations, nutrient management and yield prediction. Manually forage harvesting determination of biomass is laborious. Some new tools that can be very useful in these determinations are shown. The success of Precision Agriculture technologies in pasture is linked to the information integration provided by multiple sensors for monitoring plant, soil and cattle grazing dynamics. These measures along with more traditional measures (soil fertility, for example) allow the farmer has a much better understanding of the livestock system and formulate the most appropriate management strategy. The standpoint of Precision Livestock are also presented as the management of livestock guided by the principles and technologies the of process engineering with the “smart” sensors use.

Keywords: Precision livestock, spatial variation, Sensor.

1. Introdução

As ferramentas de AP têm sido utilizadas com maior frequência nas culturas de grãos, hortícolas, fruteiras e silvicultura, mas há uma grande potencial para uso nos sistemas de produção animal baseados no uso de pastagens tropicais para ruminantes. O potencial, benefícios e limitações do uso da AP em sistemas de pastagens foi apresentado e discutido por Schellberg et al (2008). Assim como os marcos conceituais para a pecuária de precisão, para os sistemas de pastagem e, para sistemas integrados considerando os componentes animal e forragem foram apresentados por Hacker et al. (2008), Schellberg et al. (2008), Wathes et al. (2008), Laca (2009), Banhazi et al. (2012).

Neste capítulo aborda-se a agricultura como um conjunto de procedimentos que incluem as atividades agrícolas e pecuárias sendo que, em muitos sistemas, tais atividades possuem uma elevada relação de dependência. Para a Rede de Agricultura de Precisão, a atividade pecuária se insere dentro da perspectiva de planejamento e intervenção sítio-específica com base na variabilidade existente.

2. Intervenção sítio-específica em Sistemas de produção animal

As oportunidades para a intervenção sítio-específica em pastagens dependem do grau de intensificação existente no sistema de produção. Normalmente, a intensificação da produção animal incorre na simplificação da variabilidade do ambiente e na própria expressão do comportamento animal. Um exemplo extremo de intensificação são os sistemas que utilizam o confinamento, suprimindo a necessidade de busca e apreensão da forragem na pastagem. Nesse tipo de sistema, onde o alimento é coletado e oferecido em cochos, em quantidades pré-determinadas, adequadas aos requerimentos fisiológicos dos animais, a possibilidade de intervenção sítio-específica se divide em dois componentes distintos. O primeiro, relativo à produção de alimentos, incorpora os procedimentos de AP normalmente utilizados nos sistemas de produção de grãos. O segundo, dentro do sistema de produção animal propriamente dito, permite ofertar em tempo real,

uma alimentação ajustada quanto à composição e quantidade, de forma individual e automática, para cada animal do rebanho (Pomar et al., 2011).

Por outro lado, sistemas de produção animal baseados no uso de pastagens incorporam outros tipos de interação, desafiando os animais à superar restrições ambientais de difícil controle. Restrição à sombra e à água para dessedentação, relevo declivoso, são fatores que se somam às observações de Serrano et al. (2013) sobre os efeitos da variação espacial da profundidade e umidade do solo na produção de forragem. Nessas circunstâncias, a heterogeneidade espacial e temporal se ampliam, dificultando a aferição do resultado econômico de práticas de manejo sítio-específicas e, por conseguinte, sua adoção. Estudos efetuados com herbívoros domésticos tem evidenciado a capacidade dos animais reconhecerem e memorizarem as zonas com maior oferta de alimento (Edwards et al., 1996; Bailey, 2005). Isso faz com que os animais gastem um tempo maior de pastejo nos sítios com maior oferta, extraíndo mais nutrientes do que é ofertado em média em uma pastagem, explorando o ambiente de acordo com a variabilidade existente. Não obstante, mesmo quando pastejam parados um mesmo local, os herbívoros também conseguem imprimir uma desfolha seletiva nas plantas, colhendo as partes mais nutritivas da forragem disponível, obtendo assim uma dieta de melhor qualidade (Laca et al., 1992). Diante disso, o conhecimento, monitoramento e gerenciamento dessas relações constituem um campo importante para a pesquisa em AP em pastagens, sobretudo quando se considera a amplitude de ambientes e sistemas de produção à base de pasto presentes no Brasil.

3. Manejo de pastagens e estimativa da produção

O manejo da pastagem e o planejamento dos sistemas de produção animal são essencialmente baseados na estimativa de produção e acúmulo de biomassa. De acordo com Gomide & Gomide (2001), o desempenho animal sob pastejo é condicionado por diferentes fatores, como: genética animal e sua história prévia, consumo de forragem, valor nutritivo da forragem e

eficiência na conversão da forragem consumida. Ainda, segundo esses autores, os fatores que condicionam o consumo de forragem são: valor nutritivo (composição química e digestibilidade), a estrutura da forrageira e oferta de forragem. Dessa forma, o manejo de pastagens consiste em encontrar a maior eficiência entre o crescimento da forrageira, o seu consumo e sua conversão em produção animal, visando manter estável o sistema de produção (Hodgson, 1990). Nesse contexto, Gomide & Gomide (2001) sugeriram que o manejo de pastagens deve visar a otimização da produção forrageira e o uso eficiente de uso da forragem produzida, associado ao adequado desempenho animal e à produção animal por hectare.

O método padrão para estimativa da massa de forragem, baseado no corte da forragem contida numa determinada área (Penatti et al., 2005), é um método trabalhoso e demorado, dificultando muito a utilização pelos pecuaristas (Sanderson et al., 2001). Nessas circunstâncias, torna-se necessária a automação das técnicas de avaliação, de modo a otimizar o tempo e mão-de-obra, e manter a confiabilidade da estimativa. De maneira geral, a eficácia do mapeamento da produtividade e qualidade dos produtos agropecuários é determinada, inicialmente, pelo sensor utilizado e pelo método de tomada de medida. As decisões para intervenção na área, fazendo o manejo diferenciado e a aplicação de insumos a taxas variadas, por exemplo, necessita de mapas que delimitem com acurácia atributos ou propriedades seja do solo ou das culturas. Atualmente, várias tecnologias já estão disponíveis para culturas anuais, embora sejam raros os relatos de uso em pastagens. Schellberg et al. (2008) reuniu em extensa revisão as principais tecnologias disponíveis para pastagens.

4. Estimativas da produção de forragem

Na tentativa de facilitar a mensuração de massa de forragem, foram desenvolvidos e testados vários métodos indiretos de amostragem, desde os mais simples até métodos eletrônicos mais sofisticados (Serrano et al., 2009). Entre os métodos indiretos de avaliação de massa de forragem estão o disco

medidor de forragem, o bastão graduado e o medidor de capacitância.

De acordo com Serrano et al. (2009), a sonda de capacitância relaciona as diferenças entre as constantes dielétricas da forragem e do ar. A teoria e operação da sonda é explicada em detalhe por Currie et al. (1987). Sanderson et al. (2001); Silva & Cunha (2003) e Cauduro et al. (2006) comprovaram a utilidade da sonda de capacitância como método indireto de estimativa da produção de matéria seca em pastagens.

Alguns sensores ultrasônicos e óticos têm sido avaliados em sistemas de pastagens para estimar a altura das plantas (Awty, 2009; Yule et al 2006). No entanto, estes sensores são predominantemente baseados nas correlações entre altura das plantas e produção de biomassa e não possuem a capacidade de diferenciar o material verde do senescente.

5. Sensores de solo

Assim como as tecnologias para monitoramento e mapeamento da produtividade, as tecnologias de mapeamento da variabilidade espacial das propriedades do solo são ferramentas muito utilizadas na AP. Para as medidas de condutividade elétrica do solo (CE), geralmente são utilizados o sistema de indução eletromagnética e o de contato direto (Adamchuk et al., 2004). No método da indução eletromagnética é possível medir a condutividade elétrica dos solos sem contato. Estas medidas podem ser obtidas com o equipamento comercial EM 38® (Geonics Limited, Mississauga, Ontario, Canadá). Já o sistema por contato direto utiliza discos de corte com eletrodos de fluxo de corrente elétrica. O equipamento comercial Veris® (Veris Thecnologies, Salina, KS, EUA) é o mais utilizado para este tipo de medida. Sudduth et al. (2005) compararam as duas tecnologias e concluíram que ambos os equipamentos fornecem dados similares.

Os sensores de contato direto com o solo, que utilizam disco com eletrodos, são mais utilizados em solos preparados para o plantio ou mesmo aqueles com alguma cobertura vegetal. No entanto, o sensor tem que romper a cobertura vegetal e penetrar fisicamente no solo da pastagem, o que, dependendo da espécie forrageira e da quantidade de biomassa acumulada pode ser difícil.

Como a resposta do sensor é influenciada pela cobertura do solo, é preciso ter atenção redobrada na calibragem dos dados a partir desses sistemas de contato. Há trabalhos relatando as medidas de CE em pastagens demonstraram relações com as espécies de forrageiras, características do solo e produtividade das pastagens (Guretzky et al., 2004; Serrano et al., 2010).

A compactação do solo é comumente causada pelo tráfego de máquinas e pelo pisoteio de animais em áreas de pastejo, afetando as propriedades físicas, químicas e biológicas, com redução severa da macroporosidade, aumento da densidade do solo e redução da infiltração de água. Por isso, os sensores de compactação (Gardner e Howard 2009) também podem ser muito úteis em sistemas de pastagens.

Existem ainda outros tipos de sensores como radar de penetração no solo (ground penetrating radar - GPR) e espectrometria de raio gama (gamma ray spectrometry - GRS) que podem ser utilizados através da vegetação de cobertura do solo (Doolittle & Collins, 1998). Dados de GPR foram correlacionados com parâmetros de hidrologia do solo, e os de GRS relacionou-se com alguns nutrientes do solo e de outras características de textura do solo (Trotter et al., 2010b). Sensores com base em refletância óptica (Bricklemeyer e Brown 2010), e também sensores multi-espectrais e hiperespectrais (Reeves 2010), também apresentam boa correlação com propriedades do solo.

6. Sensores de plantas

As ferramentas de monitoramento de índices vegetação provavelmente são as mais comumente utilizadas e comercialmente disponíveis para uso no manejo de pastagens. Desde a década de 1980 já se reconhecia o valor do sensoriamento remoto para o manejo de pastagens (Vickery et al., 1980). Existem inclusive alguns produtos comerciais de sensoriamento remoto desenvolvidos para pastagens, como por exemplo, o *Pastures From Space* - PFS (Hill et al., 2004), que fornece estimativas de disponibilidade de forragem e da taxa de crescimento diretamente para produtores australianos. As imagens multiespectrais e

hiperespectrais têm sido muito utilizadas como ferramentas da AP para as culturas anuais (Haboudane et al., 2004). Porém, para que esta ferramenta seja utilizada em pastagens será necessário reduzir o custo da tecnologia, o que pode ser obtido através de veículos aéreos não tripulados - VANT que poderão fazer o transporte das câmeras (Trotter et al., 2010a). Outras possibilidades referem-se ao uso do sensoriamento remoto por satélite com base, principalmente, em imagem multiespectral e hiperespectral de baixa resolução (Boschetti et al., 2007; Numata et al., 2007; Schellberg et al., 2008).

Os índices de vegetação obtidos por sensoriamento remoto têm sido amplamente utilizados para estimar a biomassa de culturas e pastagens, uma vez que fornecem padrões temporais e espaciais das mudanças nos ecossistemas pastoris e tem sido úteis na estimativa de parâmetros biofísicos (Moges et al., 2004; Numata et al., 2007). Entre eles, o índice de diferença de vegetação normalizado (NDVI), por ser uma ferramenta rápida e eficiente de detecção de variações na vegetação (Rouse et al., 1973), tem sido comumente usado para avaliar a sanidade, a biomassa e o teor de nutrientes das plantas. Este índice também se correlaciona com rendimentos agrícolas (Mochheim & Barber, 1998).

Outros sensores ativos também têm sido utilizados para medições da refletância da biomassa de forrageiras de áreas extensas, de forma rápida e com baixo custo. Os sensores ativos ópticos comerciais, como Greenseeker e Crop Circle, foram utilizados para estimativas de produção de forrageiras (Flynn et al 2008;. Trotter et al 2010). A análise da imagem digital, gerada por meio desses sensores, também pode ser utilizada como um meio de identificação de plantas daninhas (Schellberg et al. 2008).

O trabalho de Starks et al. (2006) é um exemplo de como a produtividade pode ser melhorada por meio do uso de ferramentas de AP na tomada de decisões de manejo de pastagens em sistemas rotacionados, com base na biomassa disponível, uso da tecnologia de aplicações em taxa variável (VRT) e estimativas da produção.

7. Monitoramento animal

Para aumentar ainda mais os conhecimentos da interação entre animais e forrageiras, é necessária a integração das tecnologias de monitoramento de solo e plantas com o conhecimento do comportamento animal. Para que isso fosse possível, foi essencial o desenvolvimento das tecnologias de rastreamento de baixo custo, como base nos sistemas de navegação global por satélite (Global Navigation Satellite Systems - GNSS) (Trotter et al., 2010a). O monitoramento conjunto das diferentes atividades (pastejo, ruminação, descanso, etc) e de sua posição pode ser muito útil na identificação e delimitação de áreas de preferência, fornecer informações para o manejo sanitário e também sobre o bem-estar. Com este conhecimento é possível, por exemplo, ajustar mais adequadamente a pressão de pastejo (Laca, 2009). Além disso, a identificação eletrônica dos animais permite também a rastreabilidade das informações referentes àquele indivíduo, fornecendo informações para a tomada de decisão do mais rápidas e adequadas sobre o manejo. Existem várias alternativas de identificadores animais que estão sendo utilizados tanto na pesquisa como comercialmente (Trotter et al., 2010; Schleppe et al. 2010). Outras tecnologias importantes de monitoramento animal serão discutidas a seguir.

8. Pecuária de Precisão

A Pecuária de Precisão (PP) foi definida por Wathes et al. (2008) como sendo o manejo da produção animal usando os princípios e tecnologias da engenharia de processo, com o uso de sensores “inteligentes”. Segundo esses autores, a inclusão de animais vivos no sistema distingue a PP de outras aplicações da teoria de controle, especialmente a utilizada na Agricultura de Precisão voltada para a produção agrícola, requerendo a medição contínua dos sinais relativos à atividade fisiológica, comportamento e outros indicadores de produção, como o peso vivo, o consumo de alimentos e o movimento. Uma maneira de implementar a PP é mostrado na Figura 1, que tem como base o uso do modelo de controle preditivo. Isso não determinar uma

estratégia de controle específico, mas sim uma gama de métodos de controle, que utilizam feedback contínuo do resultado do processo (como em outras estratégias de controle), e fazem o de um modelo dinâmico do processo para prever a resposta do processo, e usar esse modelo para calcular o sinal de controle, minimizando uma função objetivo. Nesta abordagem também fica claro que o uso dos sensores é uma ferramenta do processo, no qual o processo de aquisição e processamento dos dados e estabelecimento de rotinas são as etapas realmente importantes.

De acordo com Banhazi et al. (2012) a Pecuária de Precisão, devidamente implementada tem o potencial para: i) melhorar e documentar objetivamente os parâmetros de bem-estar animal nas propriedades; ii) reduzir a emissão de gases de efeito estufa (GEE) e melhorar os aspectos ambientais das diferentes sistemas de produção agropecuários; iii) melhor comercialização e facilitar a segmentação dos produtos de origem animal; iv) reduzir o comércio ilegal de produtos de origem animal; e v) melhorar o retorno econômico das atividades agropecuárias.

A revisão de Wathes et al. (2008) considera promissora a utilização da Pecuária de Precisão, traçando um paralelo com as práticas de AP adotadas na atividade agrícola há algum tempo.

Outras aplicações estão relacionadas ao monitoramento do indivíduo quanto à sanidade, desempenho produtivo e comportamento social, fatores diretamente ligados à qualidade do produto final, também podem ser monitorados por meio de sistemas e modelos preditivos. Há vários exemplos descritos na literatura e apresentados por Wates et al. (2008) e Banhazi et al. (2012) que são resumidamente descritos a seguir. Há entre eles, por exemplo, os sistemas computacionais utilizando rede de sensores sem fio e células de pesagem, permitem, em tempo real, a detecção individual da conversão alimentar, peso corporal entre outros fatores produtivos. Ou câmeras de baixo custo que, em combinação aplicativos para a análise de imagens, podem monitorar o comportamento, o tamanho, a forma e o peso de um animal dentro do rebanho. O monitoramento de sons emitidos pelos animais e a análise de suas frequências também tem sido utilizados para avaliar o estado de saúde e quantificar remotamente comportamento alimentar e o consumo de matéria

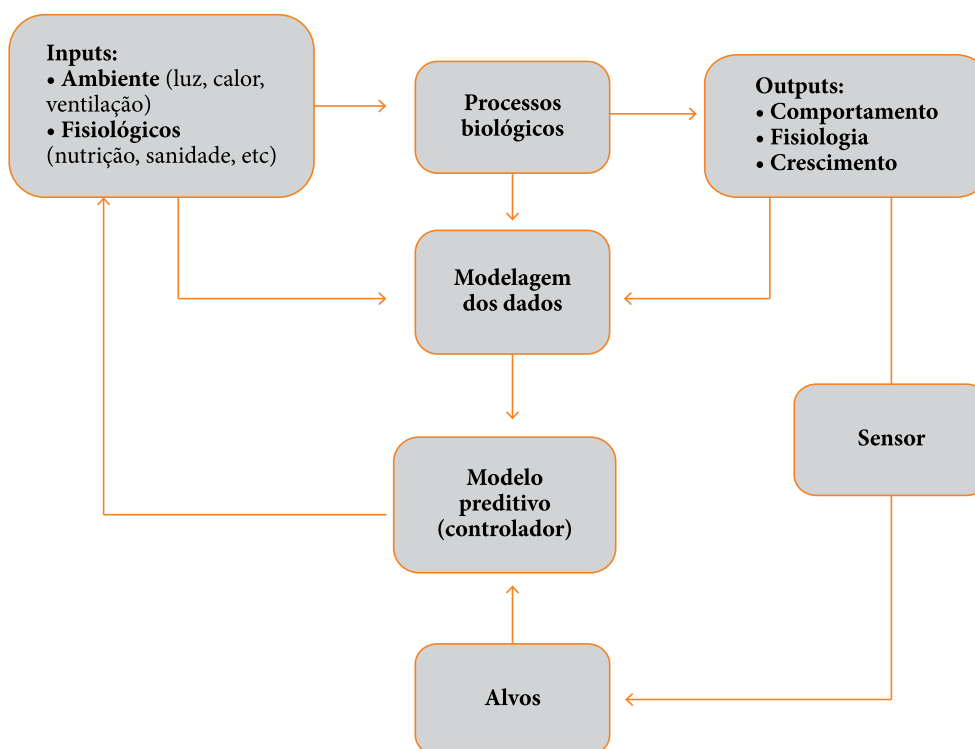


Figura 1. Esquema dos componentes do Pecuária de Precisão para controle de processos biológicos. (Adaptada de Wathes et al., 2008)

seca de ruminantes em pastejo. Há sensores que também podem ser ligados diretamente ao animal, tais como pedômetros para monitorar o comportamento de cio em vacas leiteiras. E outros ainda para quantificar a condutividade do leite e produção de vacas leiteiras. As vantagens evidentes destes sistemas de monitoramento é que muita informação pode ser recolhida sem provocar estresse nos animais.

A despeito da amplitude de sistemas apresentados na literatura Whathes et al. (2008) e Banhazi et al. (2012) consideram que, via de regra, os custos de identificação individual eletrônica impedem aplicações generalizadas, exceto para aqueles animais com alto valor agregado. Além disso, as oficinas de engenharia que trabalham no com produção animal estão repletas de invenções que falharam na tentativa de comercialização das tecnologias. Um exemplo de tecnologia promissora, que tem sido utilizada comercialmente em pequenos animais é a cerca virtual. Com esta tecnologia é possível utilizar

informações georreferenciadas da pastagem e estímulos sensoriais nos animais, de forma a estabelecer padrões de posicionamento em áreas definidas, sem a utilização de cercas e aramados (Umstatter, 2011). Banhazi et al. (2012) alertam que ainda há apenas alguns exemplos de sucesso no repasse de tecnologias da PP, que estão sendo introduzidas por um pequeno número de empresas comerciais envolvidas no processo de inovação da Pecuária de Precisão. Para assegurar que o potencial de PP seja adotado pelo setor produtivo é necessário: i) estabelecer uma nova indústria de serviços; ii) avaliar, demonstrar e divulgar os benefícios da PP; iii) coordenar esforços do setor privado e órgãos públicos de pesquisa e transferência interessados no desenvolvimento e implementação de tecnologias de PP nas propriedades; e iv) incentivar o setor de prestação de serviços no desenvolvimento de produtos de gestão profissional das propriedades.

Referências

- ADAMCHUK, V. I.; HUMMEL, J. W.; MORGAN, M. T.; UPADHYAYA, S. K. On-the go soil sensors for precision agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 44, p. 71-91, 2004.
- AWTY, I. Taking the guess work out of feeding cows. In: TROTTER, M. G.; GARRAWAY, E. B.; LAMB, D. W. (Ed.). ANNUAL SYMPOSIUM ON PRECISION AGRICULTURE IN AUSTRALASIA, 13., 2009, Armidale, Australia. **Proceedings...** Precision Agriculture Research Group, The University of New England, 2009. p. 73.
- BANHAZI, T. M.; LEHR, H.; BLACK, J. L.; CRABTREE, H.; SCHOFIELD, P.; TSCHARKE, M.; BERCKMANS, D. Precision Livestock Farming: An international review of scientific and commercial aspects. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 5, n. 3, p. 1-9, 2012.
- BAILEY, D. W. Identification and creation of optimum habitat conditions for livestock. **Rangeland Ecology and Management**, v. 58, p. 109-118, 2005.
- BOSCHETTI, M.; BOCCHI, S.; BRIVIO, P. A. Assessment of pasture production in the Italian Alps using spectrometric and remote sensing information. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v. 118, p. 267-272, 2007.
- BRICKLEMYER, R. S.; BROWN, D. J. On-the-go VisNIR: Potential and limitations for mapping soil clay and organic carbon. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 70, p. 209-216. 2010.
- CAUDURO, G. F.; CARVALHO, P.; BARBOSA, C.; LUNARDI, R.; PILAU, A.; FREITAS, F.; SILVA, J. Comparação de métodos de medida indirecta de massa de forragem em pasto de azevém anual (*Lolium Multiflorum* Lam.). **Ciência Rural**, v. 36, p. 1617-1623, 2006.
- CURRIE, P. O.; HILKEN, T. O.; WHITE, R. S. Evaluation of a single probe capacitance meter for estimating herbage yield. **Journal of Range Management**, v. 40, p. 537-541, 1987.
- DOOLITTLE, J.; COLLINS, M. A comparison of EM induction and GPR methods in areas of karst. **Geoderma**, v. 85, p. 83-102, 1998.
- EDWARDS, G. R.; NEWMAN, J. A.; PARSONS, A. J.; KREBS, J. R. The use of spatial memory by grazing animals to locate food patches in spatially heterogeneous environments: an example with sheep. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 50, n. 2, p. 147-160, 1996.
- FLYNN, E. S.; DOUGHERTY, C. T.; WENDROTH, O. Assessment of pasture biomass with normalised difference vegetation index from active ground-based sensors. **Agronomy Journal**, v. 100, p. 114-121, 2008.
- GARDNER, W.; HOWARD, S. Soil strength G a useful parameter for mapping management zones. In: TROTTER, M. G.; GARRAWAY, E. B.; LAMB, D. W. (Ed.). Symposium on Precision Agriculture in Australasia, 13., 2009, Armidale, Australia. p. 84.
- GOMIDE, J. A.; GOMIDE, C. A. M. Utilização e manejo de pastagens. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., 2001, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2001. CD-ROM.
- GURETZKY, J. A.; MOORE, K. J.; BURRAS, C. L.; BRUMMER, E. C. Distribution of Legumes along Gradients of Slope and Soil Electrical Conductivity in Pastures. **Agronomy Journal**, v. 96, p. 547-555, 2004.
- HABOUDANE, D.; MILLER, J. R.; PATTEY, E.; ZARCO-TEJADA, P. J.; STRACHAN, I. B. Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: Modelling and validation in the context of precision agriculture. **Remote Sensing of Environment**, v. 90, p. 337-352, 2004.
- HILL, M. J.; DONALD, G. E.; HYDER, M. W.; SMITH, R. C. G. Estimation of pasture growth rate in the south west of Western Australia from AVHRR NDVI and climate data. **Remote Sensing of the Environment**, v. 93, p. 528-545, 2004.
- HODGSON, J. Grazing management: science into practice. New York: John Wiley & Sons, 1990. 203 p.
- LACA, E. A.; UNGAR, E. D.; SELIGMAN, N. G.; DEMMENT, M. W. Effects of sward height and bulk density on bite dimensions of cattle grazing homogeneous swards. **Grass and Forage Science**, v. 47, p. 91-102, 1992.
- MOCHHEIM, K. P.; BARBER, D. G. Canada's using NOAA NDVI data. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v. 24, p. 17-27, 1998.
- MOGES, S. M.; RAUN, W. R.; MULLEN, R. W.; FREEMAN, K. W.; JOHNSON, G. V.; SOLIE, J. B. Evaluation of green, red and near infrared bands for predicting winter wheat biomass, nitrogen uptake and final grain yield. **Journal of Plant Nutrition**, v. 27, p. 1431-1441, 2004.
- NUMATA, I.; ROBERTS, D. A.; CHADWICK, O. A.; SCHIMEL, J.; SAMPAIO, F. R.; LEONIDAS, F. C.; SOARES, J. V. Characterization of pasture biophysical properties and the impact of grazing intensity using remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, v. 109, p. 314-327, 2007.
- POMAR, C.; HAUSCHILD, L.; ZHANG, G.; POMAR, J.; LOVATTO, P. Precision feeding can significantly reduce feeding cost and nutrient excretion in growing animals. In: SAUVANT, D.; VAN MILGEN, J.; FAVERDIN, P.; FRIGGENS, N. (Ed.). **Modelling nutrient digestion and utilisation in farm animals**. Wageningen: Academic Publishers. 2011. p. 327-334.
- REEVES III, J.B. Near-versus mid-infrared diffuse reflectance spectroscopy for soil analysis emphasizing carbon and laboratory versus on-site analysis: where are we and what needs to be done? **Geoderma**, v. 158, p. 3-14, 2010.

- ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE - 1 SYMPOSIUM, 3., 1973, Washington. **Anais...** Washington: NASA: Goddard Space Flight Center 1, 1973. p. 309-317.
- SANDERSON, M. A.; ROTZ, C. A.; FULTZ, S. W.; RAYBURN E. B. Estimating forage ass with a commercial capacitance meter, rising plate meter, and pasture ruler. **Agronomy Journal**, v. 93, p. 1281-1286, 2001.
- SCHELLBERG, J.; HILL, M. J.; GERHARDS, R.; ROTHMUND, M.; BRAUN, M. Precision agriculture on grassland: Applications, perspectives and constraints. **European Journal of Agronomy**, v. 29, p. 59-71, 2008.
- SCHLEPPE, J. B.; LACHAPELLE, G.; BOOKER, C. W.; PITTMAN, T. Challenges in the design of a GNSS ear tag for feedlot cattle. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 70, n. 1, p. 84-95, 2010.
- SERRANO, J. M.; PEÇA, J.; PALMA, P. E.; CARVALHO, M. Calibração de um medidor de capacitância num projecto de agricultura de precisão. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 32, p. 85-96, 2009.
- SERRANO, J. M.; PEÇA, J.; SILVA, J. M.; SHAIHIDIAN, S. Mapping soil and pasture variability with an electromagnetic induction sensor. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 73, p. 7-16, 2010.
- SERRANO, J. M.; SHAIHIDIAN, S.; SILVA, J. M. Small scale soil variation and its effect on pasture yield in southern Portugal. **Geoderma**, v. 195-196, p. 173-183, 2013.
- SILVA, S. C.; CUNHA, W. F. Métodos indiretos para estimar a massa de forragem em pastos de *Cynodon* spp. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 981-989, 2003.
- STARKS, P. J.; ZHAO, D.; PHILLIPS, W. A.; COLEMAN, S. W. Development of canopy reflectance algorithms for real-time prediction of Bermudagrass pasture biomass and nutritive values. **Crop Science**, v. 46, p. 27-34, 2006.
- SUDDUTH, K. A.; KITCHEN, N. R.; WIEBOLD, W. J.; BATCHELOR, W. D.; BOLLERO, G. A.; BULLOCK, D. G.; CLAY, D. E.; PALM, H. L.; PIERCEE, F. J.; SCHULER, R. T.; THELEN, K. D. Relating apparent electrical conductivity to soil properties across the north-central USA. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 46, p. 263-283, 2005.
- TROTTER, M. G. Precision agriculture for pasture, rangeland and livestock systems. In: Food Security from Sustainable Agriculture. In: AGRONOMY CONFERENCE, 15., 2010, Lincoln, New Zealand. **Proceedings...** Australian Society of Agronomy, 2010a. Disponível em: <http://regional.org.au/au/asa/2010/crop-production/precision-agriculture/7130_trotter.htm#TopOfPage>. Acesso em: 5 dez. 2011.
- TROTTER, M. G.; LAMB, D. W.; DONALD, G. E.; SCHNEIDER, D. A. Evaluating an active optical sensor for quantifying and mapping green herbage mass and growth in a perennial grass pasture. **Crop and Pasture Science**, v. 61, p. 389-398, 2010b.
- UMSTATTER, C. The evolution of virtual fences: a review. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 75, p. 10-22, 2011.
- VICKERY, P. J.; HEDGES, D. A.; DUGGIN, M. J. Assessment of the fertilizer requirement of improved pasture from remote sensing information. **Remote Sensing of Environment**, v. 9, p. 131-148, 1980.
- WATHES, C. M.; KRISTENSEN, H. H.; AERTS, J. M.; BERCKMANS, D. Is precision livestock farming an engineer's daydream or nightmare, an animal's friend or foe, and a farmer's panacea or pitfall? **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 64, p. 2-10, 2008.
- YULE, I. J.; FULKERSON, W. J.; LAWRENCE, H. G.; MURRAY, R. Pasture measurement: the first step towards precision dairying. In: ANNUAL SYMPOSIUM ON PRECISION AGRICULTURE RESEARCH AND APPLICATION IN AUSTRALASIA, 10., 2006, Eveleigh, Sydney. The Australian Technology Park, Australian Centre for Precision Agriculture, University of Sydney. p. 6.