SÉRIE PRODUTOR RURAL
EDIÇÃO ESPECIAL

Série Produtor Rural

APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES VIA PIVÔ CENTRAL: UM EXEMPLO DIRECIONADO À PRODUÇÃO DE PASTAGENS

Euro Roberto Detomini
Durval Dourado Neto

0
85
07 ed.esp. e.1
110

Universidade de São Paulo/USP
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/ESALQ
Divisão de Biblioteca e Documentação/DIBD

ISSN – 1414-4530

Universidade de São Paulo – **USP**
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" – **ESALQ**
Divisão de Biblioteca e Documentação – **DIBD**

Euro Roberto Detomini
Durval Dourado Neto

APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES VIA PIVÔ CENTRAL: UM EXEMPLO DIRECIONADO À PRODUÇÃO DE PASTAGENS

Série Produtor Rural
Número Especial

USP/ESALQ
Divisão de Biblioteca
PROJETO 100 MIL LIVROS
Comemoração aos 110 anos da ESALQ
2011

Piracicaba
2007

Série Produtor Rural
Edição Especial

Divisão de Biblioteca e Documentação – DIBD
Av. Pádua Dias, 11 – Caixa Postal, 9
13418-900 Piracicaba – SP
e-mail: biblio@esalq.usp.br
http://dibd.esalq.usp.br

Revisão e Edição:
Eliana Maria Garcia

Editoração Eletrônica:
Serviço de Produções Gráficas – USP/ESALQ

Tiragem:
300 exemplares

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Divisão de Biblioteca e Documentação – ESALQ/USP

Detomini, Euro Roberto
Aplicação de fertilizantes via pivô central: um exemplo direcionado à produção de pastagens / Euro Roberto Detomini e Durval Dourado Neto. - - Piracicaba: ESALQ – Divisão de Biblioteca e Documentação, 2007.
77 p. : il. (Série Produtor Rural, nº especial)

ISSN 1414-4530
Bibliografia.

1. Fertilizantes - Aplicação 2. Irrigação por pivô central 3. Pastagens 4. Produção vegetal I. Dourado Neto, D. II. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" – Divisão de Biblioteca e Documentação III. Título. IV Série

CDD 633.34

Euro Roberto Detomini [1]
Durval Dourado Neto [2]

[1] Doutorando - Departamento de Engenharia Rural - ESALQ/USP
[2] Prof. Titular - Departamento de Produção Vegetal - ESALQ/USP

APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES VIA PIVÔ CENTRAL: UM EXEMPLO DIRECIONADO À PRODUÇÃO DE PASTAGENS

Série Produtor Rural
Número Especial

Piracicaba
2007

PREFÁCIO

A irrigação e a aplicação de fertilizantes merece atenção especial em sistemas intensificados de produção animal ou em sistemas de produção exclusiva de forragem, principalmente para os casos onde há equipamentos como o pivô central.

Com base na experiência prática de assistência técnica a agropecuaristas e na condução de experimentos a campo, bem como na fundamentação teórica e nos princípios de irrigação, nutrição de plantas, ecofisiologia de pastagens e manejo da desfolha; buscou-se nessa edição uma abordagem de cunho prático em todos os seus capítulos, visando trazer a si um grande número de interessados que atuam em sistemas intensificados agropecuários (técnicos, extensionistas, pecuaristas e acadêmicos de graduação em Engenharia Agronômica).

Certamente não se pretende apresentar soluções padronizadas ou ultra-inovadoras para as diversas situações e momentos econômicos, mas sim expressar uma visão alicerçada no sistema de produção (*atmosfera-planta-solo-animal* e *gerenciamento da água no sistema*), que tem como uma de suas ferramentas, a irrigação e a adubação sendo realizadas de maneira conjugada, quando possível.

Embora tenha sido necessário levantar e explorar alguns conceitos teóricos dentro dos diversos tópicos sugeridos, os esforços de incorporar e tornar familiar, pouco a pouco, algumas nomenclaturas e termos constantemente utilizados no contexto agrícola moderno justificam a tal iniciativa.

E. R. Detomini

SUMÁRIO

Página

1 INTRODUÇÃO 9

2 FUNDAMENTOS DE MANEJO 10

2.1 A água no sistema solo-planta-atmosfera 15

2.2 Premissas básicas à fertigação / fertirrigação 17

2.3 Correção e condicioanamento do solo: calagem, gessagem, fosfatagem e potassagem 18

2.4 Fertigação e fertirrigação 24

2.5 Princípios teóricos voltados para o manejo da água no sistema 25

3 PROCEDIMENTO PARA FERTIGAÇÃO / FERTIRRIGAÇÃO 29

3.1 Calcular a quantidade de nutriente a ser aplicado (quanto) 30

3.2 Determinar a(s) época (s) de fertigação em função da fenologia (quando) 31

3.3 Definir o fertilizante a ser plicado (qual) 32

3.4 Definir o volume de calda fertilizante a ser aplicado 37

3.5 Determinar o tempo de giro 38

3.6 Determinar a vazão de injeção (da bomba injetora no pivô) 39

3.7 Calcular a razão de diluição 42

3.8 Calcular o tempo de lavagem do pivô e da bomba injetora 49

3.9 Calcular o custo de energia 51

4 AVALIAÇÃO DA UNIFORMIDADE DE IRRIGAÇÃO 54

5 PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO DA FERTIGAÇÃO 58

6 CONTROLE DA LÂMINA A SER APLICADA 60

7 APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES FOLIARES 62

8 SALINIDADE E SODICIDADE 67

9 VIABILIDADE DA APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES VIA PIVÔ CENTRAL 69

10 CONSIDERAÇÕES FINAIS 71

AGRADECIMENTOS 71

REFERÊNCIAS 72

ANEXOS 75

1 INTRODUÇÃO

A bovinocultura de corte brasileira está alicerçada em pastagens, que ocupam aproximadamente 200 milhões de hectares no território nacional. A importância da irrigação e da aplicação de fertilizantes em pastagens advém das situações onde se almeja obter incrementos economicamente viáveis na produtividade final animal através de um aumento no rendimento (kg de pasto utilizável / hectare / tempo) dos materiais genéticos forrageiros empregados, nos casos onde as pastagens são bem estabelecidas, homogêneas em população e bem conduzidas pela ação do gerenciamento e do pastejo (ou do corte mecânico da vegetação).

Estima-se que seja irrisória a proporção de áreas de pastagens irrigadas em relação à área total existente, mesmo quando são consideradas apenas as pastagens cultivadas. Em face de um cenário de aumento de consumo doméstico e estrangeiro de carne bovina, que ocorrerá principalmente se houver um aumento no poder aquisitivo dos consumidores, o produtor nacional de carne poderá supostamente ser beneficiado pelo aumento do valor da arroba, permitindo que os sistemas de produção de proteína de alto valor biológico ao consumo humano não permaneçam à mercê apenas da eficiência econômica, já que, infelizmente, essa eficiência muitas vezes está vinculada a um errôneo e exacerbado desmatamento, e também à uma expansão da fronteira agrícola sem critérios ecológicos e nem mesmo agronômicos.

Diante desse cenário e da fiscalização rigorosa das derrubadas (as quais devem ser submetidas a critérios coerentes de permissão, se for o caso), o Brasil viria a produzir então uma proteína animal "ecologicamente correta", supostamente de alto valor agregado, o que possibilitaria inclusive melhorar as condições de suprimento hídrico e de nutrientes, fazendo verticalizar a produção vegetal. Para que se efetive uma melhoria na eficiência global do segmento pecuário, faz-se necessário melhorar o discernimento concernente às diversas interações do agroecossistema pastoril e das possibilidades de intervenção no mesmo.

A aplicação de fertilizantes via pivô central pode assumir um importante papel para o pecuarista intensificado (ou eventualmente de um produtor de forragem especializado, apenas). Com base em fundamentos teóricos e na experiência prática profissional (assistência técnica a produtores, condução de experimentos a campo, etc.), buscou-se nessa abordagem elucidar, com um enfoque prático, os principais tópicos referentes à fertirrigação / fertigação (alvo: solo) com o uso do pivô central, bem como as principais particularidades e situações relacionadas ao assunto, a exemplo do próprio manejo da irrigação e da desfolha, além de outros tópicos.

2 FUNDAMENTOS DE MANEJO

Primeiramente, as pastagens devem ser encaradas como uma cultura qualquer (feijão, milho, soja, cana-de-açúcar, laranja), pois os princípios fisiológicos de suas interações com o solo e com o clima obedecem a fundamentos semelhantes. Algumas particularidades das pastagens deverão ser encaradas diferentemente devido ao fato dessas culturas perenes, tropicais C4, apresentarem plasticidade fenotípica e perfilhamento acentuado, e de normalmente serem manejadas no sentido de contemplarem a colheita apenas da fase vegetativa (com exceção às unidades produtoras de sementes forrageiras), objetivando especialmente as folhas (LOOMIS; CONNOR, 1996). É por causa disso que as pastagens são uma das culturas mais exigentes quanto aos critérios de manejo, ou seja, as folhas das pastagens, que são os órgãos que produzem todo o material que será translocado para as raízes, hastes e grãos (sementes), e que resultam na produção de biomassa, são constantemente "agredidas" pela ação dos animais em pastejo.

Além disso, quando o pasto não é colhido com máquinas, mas sim pelo bovino, a presença do animal promove algumas modificações substanciais e características no agroecossistema em questão, principalmente na morfologia do pasto e na compactação do solo (que diminui a aeração, provavelmente o atributo mais importante dos solos em relação às raízes, que respiram oxigênio). Sob pastejo, vários componentes da rebrota são afetados também devido à seleção que os animais exercem quando buscam forragem de melhor qualidade.

A propósito, a fertilidade do solo deveria ser sempre adequada em função da disponibilidade de oxigênio nesse solo, pois onde há água e nutrientes, pode-se não ter sistema radicular em abundância se não houver oxigênio. Essa filosofia foi infelizmente esquecida por muitas linhas de pesquisa. A partir da semente, ou de um sistema radicular já pronto (no caso de pastos já formados), as raízes não se desenvolvem para onde há mais água e nutrientes, mas se desenvolvem aleatoriamente até encontrarem "pontos" férteis no subsolo (desde que haja oxigênio) e, quando isso acontece, elas investirão ali maior proporção de carboidratos produzidos pela parte aérea, e formarão, portanto, um novelo de raízes naqueles pontos.

Conforme Hodgson (1990), o sistema de produção animal a pasto apresenta praticamente três etapas de produção, as quais ocorrem simultaneamente. Cada uma delas apresenta uma magnitude de eficiência, mas, juntas, elas definirão a eficiência global do sistema (Figura 1). A primeira etapa se refere à eficiência com que a população de plantas converte a energia do sol em energia de biomassa; desta energia formada, apenas uma parte será utilizada pelo consumo animal (segunda etapa). A partir deste consumo, apenas uma fração será convertida em produto animal (terceira etapa). Deve-se salientar que a segunda etapa (utilização) apresenta uma magnitude de eficiência substancialmente maior que as demais.

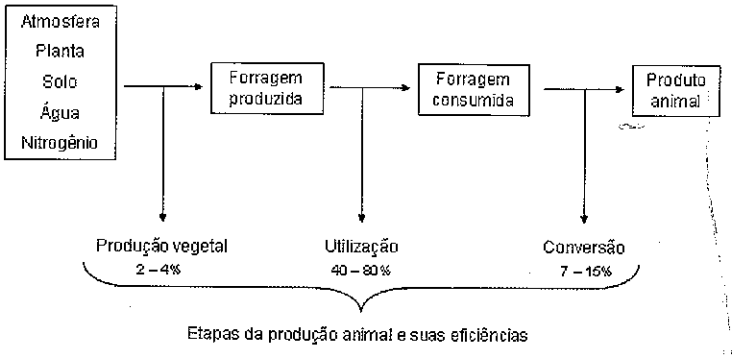


Figura 1 - *Em condições de pastejo, as etapas da produção animal ocorrem de forma simultânea, embora cada uma apresente uma magnitude de eficiência específica. Juntas, elas definem a eficiência global do sistema. Adaptado de Hodgson (1990)*

Nos agroecossistemas pastoris, existem praticamente dois métodos de utilização das pastagens. São eles a desfolha intermitente (pastejo sob lotação rotacionada e corte de forrageiras com máquinas, por exemplo) e o pastejo sob lotação contínua (pastejo contínuo), os quais serão discutidos suscintamente nos tópicos adiante.

Algumas frentes de raciocínio se apóiam nas hipóteses de o pastejo contínuo favorecer o ganho por animal (já que este método possibilita melhor seletividade do pasto pelos animais), e de o pastejo rotacionado favorecer o ganho por área (já que as plantas são colhidas de maneira mais uniforme no tempo, embora com menos seleção de forragem), para justificarem as diferenças existentes. Porém, não existem conclusões definitivas sobre o assunto (RODRIGUES; REIS, 1997), cabendo discutir não qual o melhor método (pois não há), mas sim a adequação de cada um a cada sistema de produção, que por sua vez contempla um determinado material genético forrageiro, o qual será condicionado pela ação do corte ou pastejo.

Independente do mérito de cada método de desfolha, não é usual, na prática, a adoção de sistemas de irrigação em pastejo contínuo, pois este não contempla o chamado "crescimento livre" das pastagens em relação aos animais. Já no caso de pastagens submetidas a desfolha intermitente (corte ou pastejo rotacionado), o fato de o crescimento da vegetação ser acompanhado com o tempo permite que se defina um ponto de entrada para a colheita.

Do ponto de vista de quantidade e qualidade da pastagem, um melhor aproveitamento do pasto é verificado antes do ponto de máxima produção de forragem. A propósito, hastes e materiais mortos são estruturas que apresentam menor valor nutritivo e alimentício, variáveis associadas à composição e ao consumo, respectivamente. A Figura 2 mostra uma pastagem de capim Xaraés (fertirrigada) em plena condição de colheita (feita a 20 cm do solo).

Figura 2 - *Pastagem fertirrigada de capim Xaraés colhida a 20 cm do solo. Piracicaba, mês de Outubro*

Cabe ressaltar que a velocidade com que o pasto atinge o então "ponto ideal" de desfolha irá depender principalmente das condições climáticas e de solo. Em épocas quentes e chuvosas, esse ponto de entrada irá acontecer mais rapidamente que em épocas frias (chuvosas ou não), embora possa acontecer em um tempo menor se, por exemplo, a adubação nitrogenada for também menor, dentro da mesma época quente e chuvosa considerada. Sob boas condições de adubação nitrogenada, um pasto (bem formado) que leva 20 dias para o ponto de entrada no período quente e chuvoso poderá levar, por exemplo, 60 dias no período menos quente (se houver suprimento hídrico). Em um caso mais extremo, ele poderá levar mais tempo ainda, caso esteja frio e sem água, ou seja, ele poderá praticamente estagnar em termos de crescimento vegetativo, que é o que acontece na maioria dos casos no Brasil, nas áreas não irrigadas.

Portanto, em condições de pastejo rotacionado ou corte mecanizado para silagem, o que deverá existir na propriedade é uma possibilidade de haver flexibilidade de manejo através de um planejamento capacitado, já que as variáveis de atmosfera (radiação solar, temperatura e precipitação), que governam todos os processos da interação solo *versus* planta, não são constantes. Apenas como referências práticas de manejo, para pastagens

de Mombaça e Tanzânia bem estabelecidas e homogêneas em termos de população de plantas e de uniformidade de pastejo, este pode ser realizado sempre que o dossel atingir por volta de 90 e 70 cm de altura, respectivamente, e encerrado quando o pasto for rebaixado a 30 cm. Em pastagens de capim Xaraés manejados com desfolha mecânica, valores próximos a 75 cm (no mínimo) de altura (Figura 3) podem ser considerados para manejo de entrada, ao passo que valores próximos a 20 cm (no mínimo) podem ser considerados adequados à altura de corte.

Figura 3 - *Capim Xaraés no ponto de colheita, manejado sob corte. Cada material genético apresenta um ponto específico de colheita, o qual deve ser gerado pela pesquisa*

Na prática, embora não seja usual quantificar a população de plantas, o monitoramento criterioso da condição desse atributo no agroecossistema pastoril é, certamente, um dos principais fatores relacionados à produção vegetal. A população em pastagens é contabilizada através do número de perfilhos, os quais são muito numerosos (da ordem de milhões), fazendo com que o acompanhamento dessa população seja feito com base em "aspectos visuais", na prática ("áreas falhas", etc.).

Se considerarmos vários níveis populacionais (de plantas), a população ideal seria aquela correspondente à máxima produção de forragem por área, mesmo com a produção individual de cada perfilho sendo prejudicado. Como as gramíneas apresentam uma certa capacidade de compensação de "espaços vagos" por suas estruturas de parte aérea (dentro de um certo

limite desses espaços), não existirá então um ponto ótimo populacional (como ocorre para a cultura do milho), mas sim uma faixa ótima de população que confira uma máxima produção por área, o que depende principalmente do grau de plasticidade do material genético forrageiro empregado.

Quanto maior essa capacidade de compensação, maior será a tolerância ao erro populacional cometido na fase de estabelecimento. Mesmo diante dessa premissa, cabe ressaltar que a adoção de populações mais elevadas no estabelecimento faz com que a vegetação seja mais competitiva ao longo das rebrotas iniciais. Assim, recomenda-se não abrir mão do aumento na quantidade de sementes necessárias na semeadura, principalmente quando se tratar de um sistema de produção que contemple um elevado suprimento hídrico e de nutrientes (ex.: pastagens sob pivô, e ainda quando este é utilizado freqüentemente para fertigação).

O Anexo C ilustra uma elevada população, homogênea e bem estabelecida em fases iniciais. Para a manutenção de um bom estande de plantas, é fundamental que haja um estabelecimento inicial criterioso, com uma alta taxa de semeadura e com o correto manejo da água, do nitrogênio e da desfolha. Se necessário, o uso de herbicidas (por exemplo, à base de 2,4-D; para o caso do controle de folha larga como praga de gramíneas forrageiras) pode ser adotado nas etapas iniciais, pois ajudará a população a "brigar" com as invasoras, até um momento (a partir do 3º corte ou pastejo, em relação a data de estabelecimento) onde praticamente a população pode se tornar menos dependente dessa "ajuda". Após esse momento, é fundamental que o manejo da desfolha contemple o momento ideal de entrada e de saída da máquina (ou dos animais), o que favorecerá a dinâmica populacional do estande e a produção deste. Para o correto uso de herbicidas, deve-se observar a recomendação específica ao consultar um Eng. Agrônomo.

Cada material genético forrageiro apresenta um nível populacional ótimo particular, o que é determinado por suas características intrínsecas e pelo ambiente (sistema de produção) no qual é inserido. Genótipos hábeis em produzir parte aérea devem ser necessariamente inseridos em sistema de produção intensivos, já que genótipos hábeis em produzir sistema radicular (mais rústicos) podem não corresponder, em produção de parte aérea, aos insumos fornecidos (tais como água e N, por exemplo). Logo, genótipos hábeis em produzir parte aérea são mais favoráveis a adoção de populações mais densas (pode-se entrar com uma maior taxa de semeadura), e também por isso podem produzir mais, desde que adequados à oferta ambiental.

Por outro lado, é válido ressaltar que genótipos mais rústicos são, em geral, mais adequados a sistemas extensivos, não só porque produzem mais como também porque se perenizam por mais tempo nestas condições. O fundamento disso reside na partição de fotoassimilados em resposta ao ambiente em que um determinado genótipo é inserido. Aspectos básicos relacionados à escolha do material genético forrageiro e ao estabelecimento de pastagens, principalmente para sistemas intensivos, podem ser encontrados e melhor detalhados em Detomini e Dourado Neto (2004).

2.1 A água no sistema solo-planta-atmosfera

A água tem a função de manter a temperatura adequada à atividade enzimática (24 a 30 ºC) e fornecer a quantidade de nutrientes necessária para o metabolismo da cultura. Na planta, a oscilação térmica é baixa devido ao alto calor específico da água. Por outro lado, todas as reações metabólicas ocorrem em solução. Também, a água ("solvente universal") participa do transporte (redistribuição de metabólitos) de fotoassimilados na planta. Portanto, a água absorvida tem a função de carregar os solutos, e é por isso que a planta absorve e transpira grandes quantidades durante seu ciclo; pequena parte da água absorvida é realmente assimilada.

A água se move no sistema solo-planta-atmosfera em qualquer uma de suas fases (sólida, líquida ou gasosa). No solo e na planta, os principais movimentos ocorrem pela fase líquida, apesar de os fluxos de vapor poderem assumir grande importância quando o solo se encontra "mais seco" e em certas partes da planta, como é o caso das câmaras estomatais na folha. Na atmosfera, o principal movimento ocorre na fase gasosa (vapor d'água), mas também podem ocorrer nas fases líquidas (chuva) e sólida (granizo ou neve, por exemplo), podendo assumir proporções importantes em algumas ocasiões (REICHARDT; TIMM, 2004).

Havendo permissividade do meio, de forma que as moléculas de água sejam menores que os poros por onde irão atravessar, a água se move sempre dos pontos de maior potencial total para pontos de menor potencial. Como ordem de grandeza, o potencial de água no solo é normalmente maior, e varia de -0,1 a -2 atm; o potencial de água na rizosfera varia de -1 a -10 atm; nas folhas, -5 a -40 atm; e na atmosfera, -100 a -1000 atm. É por isso que a água se movimenta, geralmente, do solo para a atmosfera, tendo que passar, muitas vezes, pela planta (como se fosse um conduto). Uma representação esquemática do fluxo de água no sistema agrícola é apresentada na Figura 4.

Darcy (1856)[1] foi o primeiro a estabelecer uma equação que possibilitasse a quantificação do movimento de água em materiais porosos (mas saturados), e verificou que a densidade de fluxo de água é proporcional ao gradiente de potencial hidráulico no solo. Sua equação foi melhorada por Buckingham (1907)[2], o qual manteve o fator de proporcionalidade proposto por Darcy, mas de forma variável em função da umidade do solo. Embora apresente algumas limitações, a equação de Darcy-Buckingham é a que melhor descreve o fluxo de água no solo:

$$\vec{q} = -\mathrm{K}(\theta) \cdot \vec{\nabla}\psi_{\mathrm{T}}$$

em que $\vec{q}$ se refere ao vetor de densidade de fluxo (mm.dia^{-1}) de água no solo; $-\mathrm{K}(\theta)$ à condutividade hidráulica do solo (variável em função da umidade θ do solo; e representada

[1] DARCY, H. **Les fontaines publique de la Ville de Dijon**. Paris: Victor Dalmont, 1856.
[2] BUCKINGHAM, E. **Studies of movement of soil moisture.** United States Department Bureau, 1907. (Soil Bulletin, 38).

pelo sinal negativo devido ao caminho inverso da água); $\vec{\nabla}\psi_T$ ao potencial total (expresso em energia por volume – atm, para os fisiologistas; e em energia por massa – cm, para os físicos de solos).

Aproximadamente 99% da água (a rigor, água mais solutos) absorvida pelas raízes é liberada pela planta para a atmosfera como vapor d'água, processo conhecido como transpiração, a qual ocorre predominantemente através das folhas via abertura dos estômatos. A taxa de transpiração é afetada por fatores como: concentração de CO_2 nos espaços intercelulares, luz, temperatura, umidade atmosférica, ventos e disponibilidade de água nos solos.

A propósito, os nutrientes minerais podem se apresentar, como solutos, conforme as seguintes formas de disponibilidade no solo:

1) Nitrogênio: NH_4^+, NO_3^- e NO_2^-

2) Fósforo: $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} e PO_4^{3-},

3) Potássio: K^+,

4) Cálcio: Ca^{2+}

5) Magnésio: Mg^{2+}

6) Enxofre: SO_4^{2-}

7) Boro: BO_3^{3-}

8) Cobre: Cu^+, Cu^{2+}

9) Cloro: Cl^-

10) Ferro: Fe^{2+} e Fe^{3+},

11) Manganês: Mn^{2+}

12) Molibdênio: $Mo_2O_4^{2-}$

13) Zinco: Zn^{2+}

14) Íons Silício (mais recentemente adotado como micronutriente essencial).

Com um funcionamento bastante complexo, os estômatos são os orifícios pelos quais se dão as principais trocas gasosas (saída de vapor d'água e entrada de CO_2) entre planta e atmosfera, e são sensíveis à luz, à temperatura e à presença de potássio – nutriente altamente móvel na planta, e que deve existir em boa disponibilidade na solução do solo. A manutenção ou perda de turgor deve-se ao fluxo osmótico da água para dentro ou para fora das células-guarda dos estômatos ao longo de um gradiente de potencial hídrico. O íon potássio (K^+) é o principal responsável por estes gradientes (RAVEN et al., 1999).

Já a atmosfera, através dos raios solares, governa praticamente todos os processos inerentes a solo e planta, e atua como um dreno sumidouro para vapor d'água, pois apresenta

potencial de água bem mais negativo (-100 a -1000 atm). Quanto mais seco estiver o ar, ou seja, quanto mais baixa for a umidade relativa, maior (mais negativa) será a força desse dreno.

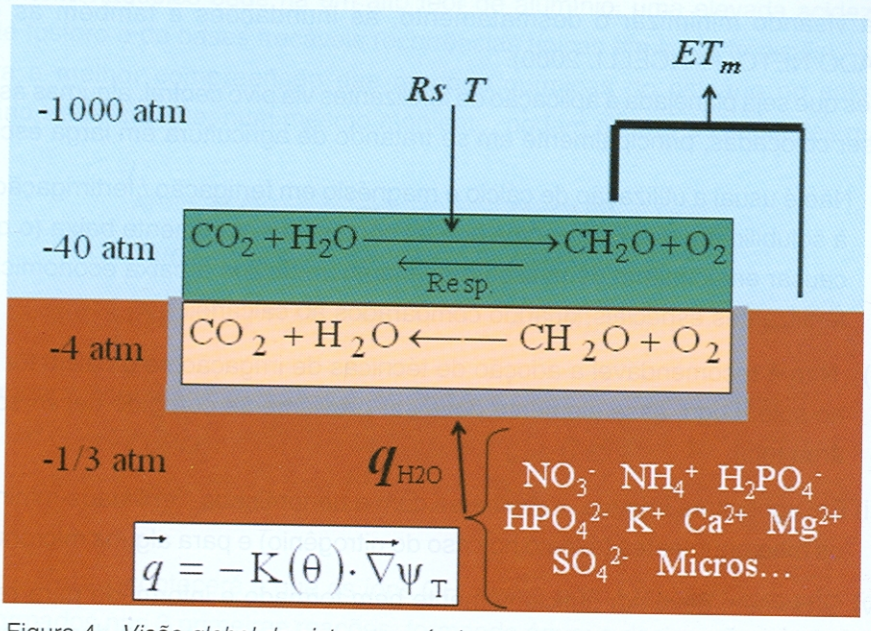


Figura 4 - *Visão global do sistema agrícola, representando o fluxo ascendente de água e solutos em função da demanda evapotranspiratória*

Desta forma, sob a ótica física, considera-se que as plantas encontram-se em déficе hídrico quando a evapotranspiração (que também é expressa em $mm.dia^{-1}$) é inferior à densidade de fluxo de água no solo. Porém, pode haver situações em que, mesmo havendo água em suficiência no solo, as plantas venham, por motivos fisiológicos, a fechar seus estômatos devido à alta demanda evapotranspiratória. Neste caso, teríamos também, teoricamente, uma deficiência hídrica devido à não absorção do CO_2 atmosférico e, conseqüentemente, uma redução na taxa de fotossíntese, resultando em queda na produção vegetal.

2.2 Premissas básicas à fertigação / fertirrigação

Atualmente, existe uma tendência mundial de se melhorar a eficiência de uso da água visando incrementos na produção de alimentos em função da tecnologia utilizada. Foram estabelecidos objetivos globais para serem atingidos até o ano de 2010, tais como aumentar a eficiência de uso da água em pelo menos 20%; implantar 40 milhões de hectares de

áreas irrigadas; e recuperar 10 milhões de hectares salinizados. A partir daí, sugeriu-se avaliar o potencial de terras e de recursos hídricos para verticalizar a produção de alimentos; fomentar o uso sustentável, eficiente e socialmente eqüitativo da água; desenvolver tecnologia em pequena escala com enfoque de integração social; e investir em infra-estrutura de água visando minimizar o desmatamento, as inundações e também as erosões (DOURADO NETO; FANCELLI, 2000).

Antes que seja planejada a aplicação de fertilizantes via pivô central, algumas assunções devem ser colocadas, principalmente em se tratando de agricultura em larga escala:

i) Não é usual a utilização de cálcio e magnésio em fertigação / fertirrigação, devido à solubilidade dos fertilizantes que os contém ser geralmente baixa (o que pode causar entupimento de emissores); e também devido à baixa economicidade de fertilizantes especiais, quando comparados ao calcário;

ii) Não é recomendável a adoção de técnicas de irrigação se o cálcio for limitante no solo. Logo, esse elemento deve ser previamente corrigido nesse solo, e em área total;

iii) Em agricultura irrigada, trabalha-se com a denominada "fertilidade mínima", para os macronutrientes (exceto no caso do nitrogênio) e para alguns micronutrientes;

iv) O Homem deve ser suficientemente bem formado e informado para realizar os ajustes referentes aos seguintes aspectos: acerto dos teores desejados no solo (em função dos teores críticos e da profundidade efetiva do sistema radicular); ajuste de população e de distribuição de plantas (no intuito de otimizar o uso dos recursos); e a verificação, caso a caso, do "agronomicamente recomendável" e do "economicamente utilizável";

v) O teor crítico (informação gerada pela pesquisa) é determinado para uma profundidade do solo fixa (na prática, adota-se geralmente 20 cm);

vi) Essa conceituação é válida para qualquer espécie, qualquer solo, e qualquer ambiente; porque, em princípio, informa apenas a ordem de grandeza dos atributos. Os valores específicos dos atributos para as diversas circunstâncias específicas devem ser provenientes do conhecimento daqueles que os adotam.

2.3 Correção e condicionamento do solo: calagem, gessagem, fosfatagem e potassagem

A disponibilidade dos nutrientes no solo é função do pH da solução do solo. Entretanto, cada elemento apresenta uma curva característica de disponibilização. Como todo o alumínio precipita na forma de hidróxido de alumínio quando em valores de pH acima de 5,5 e a maioria dos nutrientes encontra-se em disponibilidades consideradas satisfatórias entre 6,0 a 6,5 (pH em água), essa seria uma faixa almejável para qualquer sistema de produção, de forma geral.

Atualmente, ainda não se verificou nenhuma forma mais barata que a aplicação de calcário (calagem via trator) visando a correção do solo, mesmo porque a adição desse produto irá fornecer cálcio e magnésio ao sistema. Para que se verifique o uso eficiente de fertilizantes, torna-se indispensável que sejam feitas algumas correções no solo, principalmente naqueles onde há um alto teor de alumínio, uma elevada acidez, baixos teores de fósforo e de bases trocáveis (ocorrências típicas em solos tropicais).

Para a melhor compreensão das reações químicas do calcário no solo, faz-se necessário visualizar que, num mesmo momento, podem ocorrer as seguintes reações:

$$Al^{3+} + H_2O \leftrightarrow [Al(OH)]^{2+} + H^+$$

$$[Al(OH)]^{2+} + H_2O \leftrightarrow [Al(OH)]^{+} + H^+$$

$$[Al(OH)]^{+} + H_2O \leftrightarrow \mathbf{Al(OH)_3} + H^+$$

E também, com a adição do calcário ($CaCO_3$):

$$CaCO_3 \leftrightarrow Ca^{2+} + CO_3^{2-}$$

$$CO_3^{2-} + H_2O \leftrightarrow HCO_3^{-} + OH^{-}$$

Assim, o que acontecerá é que os íons OH^- dessa última reação "roubarão" todos os íons H^+ formados nas 3 primeiras reações, formando água; e deslocarão as três primeiras reações para a direita, o que implicará na formação final do alumínio precipitado [$\mathbf{Al(OH)_3}$] da terceira equação, que é um composto "morto", sem atividade na solução do solo. O íon alumínio (Al^{3+}), quando presente na solução do solo, é tóxico nas plantas devido a reduzir a permeabilidade das membranas das células das raízes, que estarão, dessa forma, submetidas à menor absorção de outros nutrientes e a uma menor troca com o com o solo, ficando sujeitas ao nanismo.

Esse é um dos grandes motivos pelo qual se deve obrigatoriamente fazer a calagem, quando se preconizam adubações em solos com alto teor de alumínio. Por exemplo, se nestas circunstâncias aplicarmos fertilizante potássicos sem a calagem, o potássio irá "trocar" com o alumínio adsorvido no solo, fazendo com que este alumínio fique disponível na solução do solo, se tornando então tóxico. Por outro lado, se houver a calagem, esta fará precipitar esse alumínio (boa parte dele), e este não irá então "trocar" com o potássio.

Portanto, em solos levemente ácidos que não contenham alumínio ($Al^{3+} = 0$) e com a soma de Ca^{2+} e Mg^{2+} apresentando-se maior que 2 $cmol_c\ dm^{-3}$, pode-se optar pela NÃO realização da calagem, já que o principal motivo desta intervenção é, primeiramente, a precipitação do alumínio, e depois a correção do pH e a adição de nutrientes.

Para que se obtenha sucesso na calagem, deve-se levar em consideração os seguintes fatores (VITTI; LUZ, 1997): i) uniformidade de aplicação; ii) incorporação (no caso do estabelecimento); iii) antecedência de aplicação; e iv) tipo e qualidade do calcário.

A necessidade de calcário para a obtenção de uma saturação de bases desejada, em uma determinada profundidade de correção (geralmente se adota 0 a 20 cm de profundidade), pode ser assim estimada:

$$NC = \frac{(V_d - V_a) \cdot T}{10 \cdot PRNT}$$

em que *Nc* se refere à necessidade de calcário (ton / ha); V_d à saturação de bases desejada (em %) para uma determinada pastagem em um determinado local, o que é norteado por informação de pesquisa e aferido por observações práticas locais (em nível de propriedade); V_a à saturação de bases atual (em %) na camada de 0-20 cm de profundidade, o que é determinado através de análise química de solo; *T* à capacidade de troca catiônica ($mmol_c.dm^{-3}$); e *PRNT* ao poder relativo de neutralização total do calcário (em %), o qual é de cada produto.

A saturação de bases desejada é função da profundidade de raízes que a cultura é capaz de apresentar e do material de origem do solo em que ela for implantada. Logo, em solos de origem caulinítica (SP, PR; por exemplo), pode-se trabalhar com V_d mais elevadas do que quando se trabalha em solos de origem oxídica (latossolos dos cerrados; por exemplo). Isso deve ser considerado por que em solos oxídicos, o PCZ (ponto de carga zero) ocorre em valores de pH mais altos que em solos de origem caulinítica, que por sua vez apresentam PCZ em valores de pH mais elevados que aqueles cuja origem é a montmorilonita, que por sua vez apresentam PCZ em valores de pH mais elevados que os solos orgânicos.

Dessa forma, assume-se normalmente uma V_d maior para uma cultura que tenha um sistema radicular mais "frágil", como alguns cultivares de feijão, e maior ainda se estes forem cultivados no estado de SP, em relação aos solos do cerrado. Analogamente, para pastagens já estabelecidas e cujo sistema radicular já apresenta um desenvolvimento satisfatório, pode-se trabalhar com valores de V_d relativamente menores, principalmente nos cerrados, desde que o solo seja proveniente de um material de origem comprovadamente oxídico.

A exemplo (genericamente), se a pretensão é a correção de solo para o capim Mombaça no Estado de São Paulo; caso utilizamos um calcário com *PRNT* igual a 85%; se a análise de solo mostra uma V_a igual a 55% e uma *T* igual a 80 $mmol_c.dm^{-3}$; e se a V_d é considerada satisfatória com 65%; pode-se proceder o seguinte cálculo:

$$Q_{FP} = \frac{(65 - 55) \cdot 80}{10 \cdot 85}$$

$$Nc = 0{,}942 \text{ ton calcário / ha } (\text{ou } 942 \text{ kg / ha})$$

Com relação ao uso do gesso agrícola ($CaSO_4$), após diagnosticado a necessidade de sua aplicação como condicionador de sub-solo (20 a 50 cm; por exemplo), e não como corretivo, sua quantificação poderá ser definida como sendo 1/3 da necessidade de calagem referente à camada de terra amostrada (que no caso do cálculo anterior, de Nc, foi de 0 a 20 cm), em termos práticos.

Logo, a necessidade de gessagem pode ser obtida através da seguinte expressão:

$$Ng = 0{,}33 \cdot Nc$$

em que *Ng* se refere à quantidade de gessagem (ton / ha); e *Nc* à necessidade de calagem (já visto anteriormente).

Quando se coloca gesso agrícola no solo, na verdade não se tem a neutralização do alumínio tóxico (não há formação do precipitado $Al(OH)_3$), mas sim o "arraste" deste alumínio (Al^{3+}) às camadas mais profundas do solo. É por essa razão que o gesso assume um caráter de condicionador de solo e de fornecedor de Ca e S, ao invés de corretivo.

No solo, o gesso agrícola apresenta o seguinte "comportamento":

$$CaSO_4 \quad \leftrightarrow \quad Ca^{2+} + SO_4^{2-}$$

Ao mesmo tempo, pode estar também ocorrendo a seguinte reação na solução do solo:

$$Al^{3+} + H_2O \quad \leftrightarrow \quad [Al(OH)]^{2+} + H^+$$

O SO_4^{2-} irá então reagir com o Al^{3+} presente na solução do solo, fazendo com que a segunda reação (que ocorre concomitantemente no solo) se desloque para a esquerda, no sentido do H^+ reagir com o $[Al(OH)]^{2+}$ para formar Al^{3+}, que estará cada vez mais reagindo para formar o composto instável $Al_2(SO_4)_3$ (que não é um precipitado), conforme a seguinte reação:

$$2\ Al^{3+} + 3\ SO_4^{2-} \quad \leftrightarrow \quad Al_2(SO_4)_3$$

Portanto, observa-se que, mesmo após a gessagem, pode haver ainda a existência do íon Al^{3+} "solto" na solução do solo, só que agora em uma camada mais profunda. Vale ressaltar que o Al^{3+} poderá retornar das camadas mais profundas para a rizosfera, se houver muita água no solo. Por razões ambientais, esse é um dos motivos pelos quais doses de gesso muito elevadas de gesso recomendadas.

Diante da calagem e da gessagem, observa-se que, além da correção do alumínio e do pH (via calcário) e do condicionamento (via gesso agrícola), os três macronutrientes secundários (Ca, Mg e S) já terão sido analisados, quanto às suas necessidades, restando apenas a preocupação com os macronutrientes primários (P e K – via adubações corretivas; e N e K – via adubações de produção ou de cobertura).

Para o caso do fósforo, para o cálculo da adubação, pode-se utilizar a seguinte expressão:

$$Q_{FP} = \frac{0{,}225 \cdot (P_d - P_a) \cdot \rho \cdot Z}{T_{P_2O_5} \cdot Ef_P}$$

em que Q_{Fp} se refere à quantidade total do fertilizante fosfatado a ser aplicado (kg fertilizante / ha); P_d e P_a aos teores (ppm ou g.cm^{-3}) crítico e atual de P no solo; ρ à densidade do solo (g.cm^{-3}); Z à profundidade (cm) de correção (considerada pela amostragem); $T_{P_2O_{5F}}$ ao teor de P_2O_5 no fertilizante (kg P_2O_5/ kg fertilizante); Ef_P e à eficiência de adubação fosfatada (kg P disponível / kg fertilizante aplicado; valores modais: 0,3 a 0,7; dependendo do fertilizante e do solo).

Analogamente, para eventuais adubações corretivas de alguns micronutrientes (o que atualmente, na prática, é raro) que podem ser aplicados via solo, como é o caso de boro e zinco, pode-se também utilizar a equação de adubação do fósforo, substituindo-se apenas os atributos inerentes aos fertilizantes e às eficiências, bem como aos teores atual e crítico (mínimo). Convém lembrar também que, tratando-se de micronutrientes, existe também um teor crítico máximo, o qual não pode ser ultrapassado para que se evite problemas de toxidez.

A densidade (a rigor, massa específica) é um importante atributo no cálculo das adubações, e não deve ser desconsiderado. Solos argilosos são mais leves que os arenosos, e apresentam, portanto, densidades menores (da ordem de 1,0 a 1,2 g.cm^{-3}). Isso pode ser comprovado se colocarmos separadamente as amostras dos dois solos em dois copos de mesmo volume, e posteriormente pesarmos os copos cheios. Contudo, não devemos confundir que, quando nos referimos a operações agrícolas (gradeação, aração, etc.), costumamos dizer o contrário, ou seja, que os solos argilosos são mais "pesados" para trabalhar.

Em um latossolo de textura média / arenosa, de densidade 1,3 g.cm^{-3}, supondo que se deseja elevar o teor de fósforo de 3 ppm (ou g cm^{-3} – resultado da análise de solo feita a 20 cm) para 10 ppm (teor de fósforo desejado). Supondo que na propriedade existe uma disponibilidade do adubo Supersimples (18% P_2O_5), e considerando que a eficiência de adubação é de 50%, tem-se o seguinte raciocínio:

$$Q_{F_P} = \frac{0{,}225 \cdot (10 - 3) \cdot 1{,}3 \cdot 20}{0{,}18 \cdot 0{,}5} \quad \therefore \quad Q_{F_P} = 455 \ kg \ SupSimples / ha$$

Para pastagens estabelecidas, pode-se trabalhar com aplicação a lanço, em área total, sem que haja necessidade de incorporação do fertilizante ao solo. Em caso de plantio ou reforma de pastagens, pode-se optar pela fosfatagem localizada no sulco, sendo o fertilizante distribuído juntamente com a semente. Quanto às fontes de fósforo, deve-se procurar por

alguma que apresente solubilidade gradual e total no solo, e com efeitos secundários (que forneça também, por exemplo, outros nutrientes).

No caso do potássio, recomenda-se que o teor do elemento no solo esteja entre 3% a 5% da CTC (capacidade de troca catiônica). A quantidade de fertilizante potássico (normalmente o cloreto de potássio – KCl) a ser aplicado na adubação corretiva pode ser expressa pela seguinte expressão (similar à equação de adubação fosfatada):

$$Q_{F_K} = \frac{47 \cdot (K_d - K_a) \cdot \rho \cdot Z \cdot CTC}{T_{K_F} \cdot Ef_K}$$

em que se Q_{FK} refere à quantidade total do fertilizante potássico a ser aplicado (kg fertilizante / ha); K_d e K_a aos teores (meq K / meq CTC) crítico e atual (relativos à CTC) de K no solo; à densidade do solo (g.cm^{-3}); *Z* à profundidade (cm) de correção (considerada pela amostragem); *CTC* à capacidade de troca catiônica (meq CTC / 100 g solo; se $K_d < K_a$); ao teor de K no fertilizante (kg K/ kg fertilizante); e à eficiência de adubação potássica (kg K disponível / kg fertilizante aplicado; valores modais: 0,7).

Para exemplificar, considerando que, diante de uma análise (feita a 20 cm de profundidade) de um latossolo (com densidade 1,2 g.cm^{-3}), constata-se que o teor de potássio atual () é de apenas 2,5% da *CTC* (que é de 5 meq / 100 g de solo), e que pretendemos aplicar cloreto de potássio (60% K_2O, ou aproximadamente 50% de K) para elevar o teor de potássio a, no mínimo, 3% da *CTC*. Logo, procede-se com o seguinte cálculo:

$$Q_{F_K} = \frac{47 \cdot (0{,}03 - 0{,}025) \cdot 20 \cdot 1{,}2 \cdot 5}{0{,}72 \cdot 0{,}5} \quad \therefore \quad Q_{F_K} \cong 78 \ kg \ KCl / ha$$

A extração e a exportação de enxofre (S) pelas gramíneas forrageiras é relativamente pequenas. Mas, sendo o S constituinte de alguns aminoácidos, sua presença é necessária para o bom aproveitamento de nitrogênio pelas plantas. Apesar da análise de solo ser um bom indicador da disponibilidade de S, os teores de S-SO_4^{2-} tendem a ser naturalmente baixos nas camadas de 0 A 20 cm de profundidade, devido à predominância de cargas negativas e à adsorção preferencial de P no solo nessas camadas. Como recomendações gerais, pode-se trabalhar com quantidades equivalentes a 20 kg de S por ha, valor que deverá ser dividido ao longo do ano nas rebrotas, ou então 3 kg S por tonelada de matéria seca colhida (CANTARELLA et al., 2002).

Desta forma, para pastagens intensificadas sob pivô central, sugere-se proceder anualmente com análises de solo, até mesmo fazendo uso de amostragens georeferenciadas (agricultura de precisão), visando mais precisamente que as aplicações diferenciadas (via trator, neste caso específico) sejam feitas em diferentes "manchas" de solo, mas tendo como meta que os teores de fósforo, de potássio e de outros nutrientes no solo estejam no mínimo sempre acima do recomendado, e em equilíbrio adequado.

Novamente, os teores de cálcio e magnésio poderão ser corrigidos através de calagens superficiais em área total (sem incorporação), raciocínio que pode ser empregado em analogia à correção anual de enxofre, via gessagem.

A prévia observação e o diagnóstico das caracterísitcas químicas do solo é essencial para que o uso dos recursos seja racional. Os valores referentes aos custos fixos (valor das instalações, bombas, aduções, emissores, cercas, currais, tratores, impostos, etc.) e operacionais (água, energia, nitrogênio, mão-de-obra, etc.) podem onerar o sistema de produção intensificado e baseado em irrigação e fertirrigação.

Portanto, torna-se fundamental, quando necessário, a correção prévia do solo em termos de alumínio, acidez e macronutrientes (desconsiderando o nitrogênio). Salientamos que todo sistema de produção intensificado requer o acompanhamento constante de um Engenheiro agrônomo especializado no assunto, principalmente para as situações mais peculiares de sistema de produção (solos muito específicos, por exemplo).

2.4 Fertigação e fertirrigação

Os termos fertigação e fertirrigação são utilizáveis em função do objetivo do empresário rural. Ambas as técnicas tem como o alvo o solo (e não a folha). Portanto, os fertilizantes devem ser aplicados verificando-se a marcha de absorção de nutrientes do solo, que aumenta na medida em que a pastagem se desenvolve, até um ponto máximo. Os termos podem ser definidos como:

i) **Fertigação:** Técnica que objetiva apenas a aplicação de fertilizante(s) (via água de irrigação). Em certos períodos de épocas chuvosas de algumas regiões, não se precisa fazer irrigação, e a fertigação se torna conveniente;

ii) **Fertirrigação:** Técnica que tem por objetivos a aplicação de fertilizante(s) e também a de água de irrigação (suprimento hídrico).

Quando se compara a fertirrigação com a fertigação mais uma posterior irrigação, não deve haver vantagens de um método em relação ao outro no quanto aos custos de operação (consumo de água, energia e fertilizantes), pois os tempos de funcionamento e as quantidades de água e de fertilizantes aplicados deverão ser os mesmos. Conseqüentemente, a fertigação implicará em menores gastos com energia se o objetivo for apenas aplicação de fertilizantes.

Porém, no que diz respeito à uniformidade de aplicação de fertilizantes, a opção da fertigação (seguida de uma posterior irrigação atendendo às necessidades hídricas do pasto) é mais vantajosa porque o pivô apresenta menos paralisações. Isso se justifica porque, na fertirrigação (que implica também na irrigação), cada vez que o pivô interrompe seu caminhamento para aplicar a água necessária, o equipamento acaba aplicando mais fertilizante em um mesmo lugar (nos locais em que pára). Se isso acontecer freqüentemente, haverá maiores possibilidades de formação das pequenas "pizzas" em toda a área.

Vale lembrar que, toda vez que se trabalha com fertigação, recomenda-se que o relê percentímetro (*RT* – localizado no painel operações do pivô) seja ajustado sempre a 100%. Essa porcentagem se refere a quanto tempo o pivô permanece parado, a cada um minuto considerado. Logo, quando se ajusta o pivô a 50%, o equipamento irá caminhar 30 segundos e parar outros 30. Analogamente, quando ajustamos a 10%, o caminhamento será 10% de cada minuto, ou seja, o equipamento irá se deslocar durante 6 segundos (10% de 60 segundos) e irá permanecer parado, aplicando água em um mesmo local, durante 54 segundos. Entretanto, quando se ajusta o relê percentímetro a 100%, o pivô sofre pequenas (e desprezíveis) paralisações, o que pode ser notado apenas quando nos aproximamos do equipamento.

2.5 Princípios teóricos básicos voltados para o manejo da água no sistema

Segundo uma clássica definição didática, o solo (na média, na natureza) apresenta a seguinte composição volumétrica:

	% do volume total
Volume de sólidos (V_s)	50
Volume de gases (V_g)	25
Volume de líquidos	25
Volume total (V_T)	100

Entretanto, aproximadamente 50% do volume de água (V_w, que é 25% de V_T) é ocupado por água higroscópica (indisponível); e o restante dos 50% corresponde ao volume que está realmente disponível (V_{w_d}) ao uso das plantas, ou seja, entre os pontos de umidade correspondente à "capacidade de campo" (θ_{cc}) e ao de "murcha permanente" (θ_{pmp}). Entretanto, apenas 50% deste volume compreendido entre os dois "pontos" de umidade do solo seria capaz de não afetar a evapotranspiração, o que nos leva, em termos físicos, à idéia da existência de uma "umidade crítica" no solo - θ_c, de tal forma que exista um volume realmente útil (V_u) de água que não diminui a produção de forragem.

Assim, podemos deduzir as seguintes equações:

$$V_w = 0{,}25 \cdot V_T \quad \text{e} \quad V_{w_d} = 0{,}5 \cdot V_w \quad \text{e} \quad V_u = 0{,}5 \cdot V_{w_d}$$

Portanto, temos:

$$\frac{V_{w_d}}{0{,}5} = 0{,}25 \cdot V_T \;\therefore\; \frac{V_u / 0{,}5}{0{,}5} = 0{,}25 \cdot V_T \;\therefore\; V_u = 0{,}0625 \cdot V_T$$

Ou seja, em um solo não compactado e preenchido em água, uma ordem de grandeza de apenas 6,25% do volume total desse solo seria reservado para o acúmulo de água que irá ser destinada à produtividade de uma população de plantas. Logo, quando se fala em agricultura irrigada, deve-se assumir um valor norteador de água no solo para essa população opere em uma "faixa ótima" de umidade, população a qual deverá ser a máxima que a parte aérea puder permitir, sem que haja perda de produtividade por área. De forma abstrata, essa faixa de umidade no solo deveria estar compreendida entre 100% e 93,75% (ou seja, 100 menos o valor norteador – 6,25). Valores de umidade menores que 93,75% indicariam que a população viria a entrar na zona de deficiência hídrica, onde se verificam perdas de produtividade por área.

Em situações onde a incidência de pragas e doenças não é empecilho, o controle da irrigação visa manter o conteúdo de água no solo em um nível ótimo, de tal forma que a evapotranspiração (que é dependente do IAF) não fique limitada. No controle de irrigação baseada em métodos climatológicos (posto meteorológico automatizado ou tanque classe A, por exemplo), pode-se estimar o armazenamento crítico em função do fator de depleção de água no solo (RIJTEMA; ABOUCKALED, 1975) e da evapotranspiração máxima da cultura, através da equação de Penman-Montheith e do coeficiente de cultura – *Kc*.

Através do balanço hídrico, preconizado por Thorntwaithe e Matter (1955), a irrigação pode ser acionada toda vez que a evapotranspiração máxima estimada for equivalente à estimativa da disponibilidade de água existente na profundidade efetiva considerada, o que depende também de uma umidade crítica do solo, para que os processos de evapotranspiração não sejam limitados.

A máxima evapotranspiração máxima que a pastagem pode ter em um dia varia conforme o estádio de desenvolvimento, e pode ser estimada a partir da seguinte equação:

$$ET_m = Kc.ET_0$$

em que ET_m se refere à evapotranspiração máxima no dia (mm.dia^{-1}); *Kc* ao coeficiente da cultura, que varia conforme o desenvolvimento da mesma (Pereira et al., 2002); e ET_0 à evapotranspiração (mm.dia^{-1}) de referência do dia, estimável pelo método de Penman-Monteith, o qual foi adaptado por Allen et al. (1989), em função de variáveis climáticas (tais como radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do vento), as quais

são possíveis de serem coletadas (manualmente ou via rádio) em estações meteorológicas automáticas instaladas na propriedade.

A equação que estima a ET_0 pode ser assim escrita (atual padrão da FAO):

$$ET_0 = \frac{0{,}408.S.(Rn - G) + \frac{900.\gamma.V_2.(e_s - e_a)}{T + 273}}{S + \gamma.(1 + 0{,}34.V_2)}$$

em que *Rn* se refere à radiação líquida média no dia (MJ.m^{-2}.dia^{-1}); *T* à temperatura média do ar no dia (ºC); e_s à pressão de saturação de vapor no dia (kPa) – dependente das temperaturas máxima e mínima do dia; e_a à pressão parcial de vapor d'água do dia (kPa) – dependente da umidade relativa do ar média no dia (*UR*) e de e_s; à constante psicrométrica da água (0,063 kPa.ºC^{-1}); *G* ao fluxo de calor no solo no dia (MJ.m^{-2}.dia^{-1}) – dependente da média das temperaturas médias do ar dos 3 dias anteriores, e de *T*; *S* à declividade da curva de pressão de vapor (kPa.ºC^{-1}) – dependente de e_s e de *T*; e V_2 à velocidade do vento média no dia (m/s).

O subsídio teórico que nos fornece condição para propor o momento de irrigação, e que não acontece na prática, pode ser descrito através da seguinte equação:

$$\theta_c = \theta_{cc} \cdot (1 - p) + p \cdot \theta_{pmp}$$

em que θ_c se refere à umidade crítica (cm^3.cm^{-3}); θ_{cc} à umidade do solo (cm^3.cm^{-3}) correspondente à capacidade de campo; θ_{pmp} à umidade (cm^3.cm^{-3}) correspondente ao ponto de murcha permanente; e *p* ao fator de depleção de água no solo, ocorrente quando a densidade de fluxo de água no solo é menor que a evapotranspiração demandada.

Diante do conhecimento da umidade atual (θ, cm^3 água / cm^3 solo) de um determinado solo, em um determinado momento, a lâmina de irrigação (*I*, mm) pode ser calculada de acordo com a seguinte expressão:

$$I = 10 \cdot (\theta_{cc} - \theta) \cdot Ze$$

em que à umidade (cm^3 água / cm^3 solo) correspondente à capacidade de campo; e à profundidade (cm) efetiva do sistema radicular da pastagem, que é aquela equivalente à profundidade em que se localiza a fitomassa de raízes que responde por 95% da evapotranspiração do dossel. Também, convém lembrar que:

1 mm = 1 litro / m^2 = 10 m^3 / ha

Para pastagens de capim Tanzânia e Mombaça, estabelecidas e bem homogêneas em população, pode-se considerar, para efeitos de cálculo, igual à 40. Valores de próximos a

0,35 podem ser considerados aceitáveis para solos argilosos (não compactados) e, analogamente, próximos a 0,25 para solos arenosos.

Pode-se considerar também que a umidade atual (θ) seja mantida sempre acima de 0,20 (valor que pode ser considerado crítico, para a maioria dos casos), o que pode ser feito através do monitoramento da umidade através de tensiômetros ou sensores instalados no campo (os quais enviam os sinais para a estação meteorológica).

O uso de tensiômetros tende a ser menos adotado devido à falta de praticidade e à grande variabilidade de valores de tensão diagnosticados, o que exige grande número de equipamentos instalados no campo. Tensiômetros com manômetro de mercúrio tendem a ser banidos do uso comercial, devido ao risco de contaminação ambiental.

Em todo caso, os valores de tensão obtidos no campo devem ser convertidos para umidade, de acordo com a curva de retenção característica, o que pode ser feito utilizando-se o ajuste através do modelo de Van Genuchten (1980) ou de modelos específicos, conforme o conhecimento matemático e as variáveis inerentes a cada solo.

A propósito, o termo TENSÃO se refere ao trabalho necessário para trazer ao interior de um sistema, contra a pressão molecular, um número de moléculas que irão criar uma área unitária com energia diferente.

Outro fator importante para o desenvolvimento do sistema radicular é a disponibilidade de oxigênio abaixo do solo. Manejar água significa automaticamente manejar oxigênio; pois, quanto mais úmido é o solo, menos O_2 será dirigido para as camadas mais profundas. Também, na medida em que se aumenta a profundidade do solo, diminui-se a capacidade do sistema renovar o O_2. Em solos compactados, existe normalmente uma menor fitomassa de raízes porque há, nessas condições, geralmente uma menor disponibilidade de O_2. Até chegar à rizosfera, os nutrientes caminham de forma combinada (fluxo de massa e difusão).

Portanto, não é conveniente nem muita água no sistema, porque diminui a difusividade de oxigênio no solo; muito menos pouca água. Diariamente, em função do sistema contábil do balanço hídrico, é necessário apenas que haja água suficiente para suprir a demanda evapotranspiratória (REICHARDT; TIMM, 2004) da vegetação forrageira. É por esse motivo que é fundamental o conhecimento e o discernimento sobre a magnitude dos diversos atributos envolvidos (de solo, planta e atmosfera) nos diversos processos dinâmicos existentes.

Em suma, quando a umidade do solo estiver abaixo da crítica, a planta precisa fechar os estômatos no intuito de equilibrar a perda de água com a quantidade de água absorvida. Logo, haverá perda de rendimento devido à absorção de nutrientes e à assimilação de dióxido de carbono serem reduzidas. Por outro lado, quando a umidade do solo se encontra na faixa ótima (entre a crítica e a capacidade de campo), a planta apresenta boa abertura dos estômatos, fazendo com que haja uma máxima taxa de absorção de dióxido de carbono da atmosfera e de água do solo (com nutrientes minerais). Não havendo depleção de água no solo, o rendimento esperado não é reduzido, e será equivalente à produtividade da cultura (DOORENBOS; KASSAM, 1994), se as condições bióticas, de população e de fertilidade do solo forem favoráveis.

3 PROCEDIMENTO PARA FERTIGAÇÃO / FERTIRRIGAÇÃO

Os equipamentos para injeção de solução fertilizante podem ser subdivididos em três grupos: (i) sucção pela bomba; (ii) bombas injetoras (tipo pistão e centrífuga); e (iii) pressão diferencial (princípio do *venturi*).

Não se recomenda a injeção de fertilizantes (e de outros produtos químicos) na sucção da bomba do sistema de irrigação devido aos riscos de poluição ambiental e de diminuição da vida útil da bomba e da rede adutora, que ocorrem devido à corrosão. O sistema de pressão diferencial é aplicável a sistemas de baixa vazão. Como os pivôs normalmente correspondem a vazões elevadas, recomenda-se a injeção de fertilizantes na tubulação do cano central (centro da área do pivô) utilizando bombas injetoras, com uma calda previamente homogeneizada.

A regulagem da bomba injetora é feita em função da informação do fabricante ou de um ajuste feito pelo operador em condições reais de funcionamento no campo. Esta última opção é sempre recomendável, devido à normal variação de vazão da diferença de fabricação dos equipamentos, e deve, obviamente, ser realizada apenas com água (sem o fertilizante).

Como recomendações gerais para efeitos de planejamento, pode-se trabalhar em fertigação e/ou fertirrigação (ambas as técnicas correspondem ao solo como alvo) principalmente com fertilizantes que contenham nitrogênio, enxofre, potássio, zinco e boro. O fósforo pode ser utilizado também em caso em que haja o cuidado da lavagem do sistema de irrigação após a aplicação do produto, pois os adubos fosforados apresentam geralmente um alto poder corrosivo.

Normalmente, os produtos que contêm cálcio apresentam baixa solubilidade, o que provoca entupimento de emissores. Portanto, o cálcio não deve ser incluído nas práticas rotineiras de aplicação de nutrientes via água de irrigação, a não ser que se trate de adubos especiais (foliares) à culturas também mais específicas. Neste caso, porém, a técnica a ser utilizada não será mais a fertirrigação e/ou fertigação, mas sim a aplicação através de uma barra acoplada no pivô (e não através deste, propriamente dito), ou então via avião ou pulverizador.

Também, o mesmo raciocínio poderia ser utilizado para a aplicação de micronutrientes foliares. Entretanto, seria extremamente necessário que a pesquisa voltada à nutrição de forrageiras concentrasse mais esforços na determinação da ordem de grandeza dos níveis críticos mínimos e máximos de concentração de um determinado nutriente nas folhas, para que houvesse uma possibilidade real de aferição de manejo, baseada em critérios técnicos.

3.1 Calcular a quantidade de nutriente a ser aplicado (quanto)

Considerando rebrotas de pastos já estabelecidos e homogêneos em população, tomemos como exemplo a aplicação de nitrogênio (N) em fertigação. A quantidade de N a ser aplicada pode ser obtida através da seguinte equação (DETOMINI; DOURADO NETO, 2005):

$$Q_N = \frac{Ra_{pe} \cdot \left[\left(T_{N_{pe}} \cdot IC\right) + T_{N_{op}} \cdot \left(1 - IC\right)\right] \cdot \left(1 - N_s\right)}{IC \cdot Ef}$$

em que Q_N (kg / ha) se refere à quantidade de N necessária para se obter o rendimento almejado da parte exportável (Ra_{pe}, kg parte exportável / ha); $T_{N_{pe}}$ ao teor médio de N nessa parte exportável (kg N / kg parte exportável); *IC* ao índice de colheita (kg de parte exportável / kg fitomassa total); $T_{N_{op}}$ ao teor de N nas outras partes (kg N / kg outras partes); N_s à quantidade relativa de N fornecida pelo solo (kg N / kg N); e *Ef* à eficiência de adubação.

Exemplificando, para um pasto de capim Mombaça em que se almeja produzir 7000 kg de fitomassa seca por hectare em uma rebrota (no seu ponto ideal de colheita, não importando ainda o quanto tempo isso leva); supondo que o desse pasto é 1,4% (o que deve ser proveniente de análise bromatológica para aferição prática), que o *IC* é 35% (o restante dos 75% é fitomassa de resíduo pós-desfolha somada à fitomassa de raízes – informação esta que deve ser constantemente gerada pela pesquisa), que o é 0,3% (informação que também deve ser gerada pela pesquisa), que o N_s é 62% (informação de pesquisa), e que a *Ef* de adubação é de 75%, tem-se que:

$$Q_N = \frac{7000 \cdot \left[\left(0{,}014 \cdot 0{,}35\right) + 0{,}003 \cdot \left(1 - 0{,}35\right)\right] \cdot \left(1 - 0{,}62\right)}{0{,}35 \cdot 0{,}75} \quad Q_N = 69{,}41 \quad \text{kg N / ha}$$

O valor de Q_N nos fornecerá, portanto, uma idéia norteadora de adubação nitrogenada total a ser aplicada em cada ciclo de rebrota do pasto. Embora seja extremamente recomendável, o parcelamento desta quantidade será função das possibilidades de se fazê-lo, o que dependerá da capacidade operacional e de gerenciamento de cada propriedade. Esse parcelamento pode ser realizado em função do critério da fenologia, que é "a forma como o Homem enxerga a planta".

Pelo fato do nitrogênio ser um elemento de alto custo energético e financeiro, e de a influência de N sobre o desenvolvimento vegetal ser nítida em vários aspectos da morfologia e fisiologia das forrageiras, cabe portanto uma revisão mais detalhada do assunto. Mais marcante para a parte aérea do que para o sistema radicular, a deficiência de N restringe o número de perfilhos a serem desenvolvidos, bem como restringe o crescimento individual das folhas do perfilho, afetando assim a capacidade fotossintética do dossel (WHITEHEAD, 1995).

A concentração de N nos tecidos tende a declinar à medida que a planta se torna mais madura. Em gramíneas, se o suprimento de nutrientes é adequado e a competição por espaço aéreo não são muito severas, a maioria das gemas irão se desenvolver no sentido de formar perfilhos. Quando o N é limitante, o desenvolvimento de perfilhos fica inibido, e aumentando-se o suprimento de N às plantas individuais, aumenta-se o número de perfilhos por planta. Mas, no campo, os efeitos da adição de N serão menores sobre o número de perfilhos por área, devido à vida útil destes ser reduzida pela competição.

No tocante à taxa de emissão de folhas por perfilhos vegetativos, característica central da morfogênese que é altamente dependente de temperatura, há um intervalo de tempo no qual uma nova folha é produzida em cada perfilho. Conforme o genótipo, os perfilhos apresentam geralmente o mesmo número de folhas verdes em um mesmo momento, e a produção de novas folhas é balanceada pela senescência e queda das velhas. Se a planta não for desfolhada, poderá existir uma equivalência entre as taxas de senescência e de morte de tecidos (PARSONS, 1988).

A adição de N no sistema via fertilizante, por sua vez, pouco influencia a taxa de emissão de folhas, não importando se a distribuição espacial da semeadura do pasto foi implantada em linha ou aleatória. O suprimento de N provoca acréscimos na produção de forragem principalmente através da influência sobre o tamanho final (em comprimento, largura e peso) de folhas, ocorrendo tanto no âmbito individual como populacional (Whitehead, 1995). Apesar disso, o efeito do N sobre o tamanho de folhas sofre mais uma vez as influências do manejo, como por exemplo o intervalo entre cortes sucessivos.

Na prática, o aumento na taxa de crescimento e de desenvolvimento trazida pelo acréscimo de fertilizante nitrogenado no sistema de produção resulta em elevar a produção de forragem aproveitável em tempos menores, para corte ou pastejo rotacionado, implicando no aumento do número de colheitas durante a estação de crescimento, o que para pecuarista brasileiro (em muitas regiões) pode acontecer durante o ano todo.

No caso de adubações potássicas de produção, pode-se trabalhar com o conceito de exportação de nutrientes (1 a 1,5% de K na parte exportável). As adubações com fósforo, enxofre ou micronutrientes assumem geralmente um caráter de correção do solo, o qual deve estar previamente corrigido em termos de cálcio e magnésio, para o procedimento da fertigação.

3.2 Determinar a(s) época(s) de fertigação em função da fenologia (quando)

A fenologia é o estudo dos eventos periódicos da vida vegetal em função da reação destes às condições de oferta ambiental (de solo e clima). Esses eventos podem ser, por exemplo, a germinação, a emissão de uma nova folha, a indução ao florescimento, o aparecimento da inflorescência, a maturidade fisiológica das sementes, etc. É com base em cada um desses eventos que se deve basear a intervenção humana, e não apenas no calendário cronológico.

Com base no conceito de fenologia, na marcha de absorção de nutrientes, e continuando o raciocínio do item anterior (exemplificando a adubação nitrogenada em cobertura, visando produção), podemos parcelar a fertigação em 3 etapas (critério prático):

1ª) 1/3 de logo após o corte (ou a saída dos animais, em pastejo rotacionado), ou seja, 23,14 kg de N / ha;

2ª) 1/3 de logo após a pastagem tiver emitido a 1ª folha nova (já completamente expandida) por perfilho. Uma outra folha poderá apresentar-se em expansão nesse momento.

3ª) 1/3 de após a pastagem apresentar 2 folhas novas (completamente expandidas) por perfilho. Novamente, outra folha poderá apresentar-se em expansão nesse momento.

Nabinger (2002) ressalta que o potencial fotossintético das gramíneas é determinado no início do período de alongamento das folhas, e que deficiências de N neste período podem comprometer a eficiência fotossintética futura. Isso é explicado pelo fato das gramíneas possuírem uma ativa zona de alongamento foliar na porção basal das folhas em expansão, zona a qual possui grande demanda por nutrientes. Nesse local das folhas, encontra-se o maior acúmulo de N e, através do número de células existentes, esse nutriente afeta diretamente a taxa de expansão foliar (o que, na prática, traduz a velocidade com que o pasto irá atingir o ponto de corte ou de entrada dos animais em pastejo rotacionado).

Assim, como as folhas irão iniciar sua expansão em momentos diferentes, e a fitomassa total de folhas da população será cada vez maior a partir do início da rebrota (o que implica em evolução na marcha de absorção de nutrientes), justifica-se o parcelamento da fertigação sempre que possível. Isso poderá melhorar inclusive a eficiência de uso do nitrogênio, já que as perdas por lixiviação e/ou volatilização (no caso da uréia, por exemplo) poderão ser reduzidas. Ressaltamos que, em caso de se optar por 3 fertigações, deve-se ficar atento ao tempo da última aplicação, já que muitas pastagens atingem rapidamente o ponto de colheita no verão.

3.3 Definir o fertilizante a ser aplicado (qual)

Para a escolha dos fertilizantes (Tabela 1) a serem aplicados via água de irrigação, deve-se levar em consideração os seguintes aspectos:

(i) Solubilidade rápida e completa (Tabela 2);

(ii) Elevada pureza;

(iii) Alta concentração;

(iv) Baixo poder corrosivo;

(v) Compatibilidade de mistura;

(vi) Preço (baixo custo);

(vii) Disponibilidade no mercado;

(viii) Facilidade de manuseio;

(ix) Baixa volatilidade;

(x) Facilidade de armazenagem;

(xi) Baixa volatilidade;

(xii) Informação de pesquisa disponível;

(xiii) Índice salino (Tabela 3);

(xiv) Índice de acidez (Tabela 4).

Tabela 1 - Fertilizantes (e seus respectivos nutrientes) mais utilizados em fertirrigação

Fertilizante	Nutriente	Fertilizante	Nutriente
Ácido fosfórico	N, P	Nitrato de amônio	N
Ácido nítrico	N	Nitrato de amônio + Carbonato de cálcio	N, Ca
Bórax	B	Nitrato de amônio + Uréia (URAN)	N
Borato de sódio	B	Nitrato de cálcio	N, Ca
Cloreto de cálcio	Ca, Cl	Nitrato de sódio	N
Cloreto de potássio (KCl)	K, Cl	Nitrato de potássio	N, K
Fosfato Diamônio (DAP)	N, P	Uréia	N
Fosfato Monoamônio (MAP)	N, P	Sulfato de amônio	N, S
Fosfato Monopotássico	P, K	Sulfato de magnésio	S, Mg
MAP + DAP	N, P	Sulfato de manganês	S, Mn
MAP + Nitrato de amônio + KCl	N, P, K	Sulfato de potássio	K, S
MAP + Uréia	N, P	Sulfato de zinco	S, Zn
Molibdato de sódio	Mo	Sulfato ferroso	S, Fe

Fonte: Dourado Neto e Fancelli (2000)

Tabela 2 - Solubilidade de alguns fertilizantes utilizados em fertigação (ou em fertirrigação), para uma determinada temperatura. O aumento desta provoca geralmente um aumento na solubilidade

Produto	Temperatura (ºC)	Solubilidade (g / litro)
Borato de sódio	20	5
Bórax	20	50
Cloreto de cálcio	20	600
Cloreto de potássio	20	340
Cloreto de potássio	27	350
Fosfato Diamônio (DAP)	20	400
Fosfato Monoamônio (MAP)	20	220
Fosfato Monopotássico	20	230
Molibdato de sódio	20	56
Nitrato de amônio	20	1900
Nitrato de cálcio	20	1200
Nitrato de potássio	20	310
Uréia	20	750-100
Uréia	25	1190
Sulfato de amônio	20	730
Sulfato de cobre	20	22
Sulfato de magnésio	20	710
Sulfato de manganês	20	500
Sulfato de potássio	20	11
Sulfato de zinco	20	750
Sulfato ferroso	20	260

Fonte: Dourado Neto e Fancelli (2000)

O Anexo A apresenta uma relação dos fertilizantes mais utilizados (ou possíveis de uso) em fertigação / fertirrigação, bem como a compatibilidade de misturas entre os mesmos; e o Anexo B a solubilidade de diversos fertilizantes em função de diversas temperaturas.

O índice salino é o aumento da pressão osmótica da solução do solo provocada pela salinidade do adubo. Já o termo OSMOSE é o caminhamento de solvente (água) através de membranas semi-permeáveis, no sentido da solução de menor pressão osmótica para a de maior pressão osmótica. Assim, se a pressão osmótica da solução do solo tornar-se superior à da solução celular das raízes, tem-se o caminhamento da água da célula para o solo, com o conseqüente murchamento e, normalmente, acarretando na morte da planta (Alcarde, 1994). O conhecimento do índice salino dos produtos é um aspecto importante no manejo das adubações.

Tabela 3 - Índice salino de diversos fertilizantes, determinado em relação ao nitrato de sódio (tomado como índice 100)

Fertilizante	Índice salino
Nitrato de sódio	100
Nitrato de amônio	105
Sulfato de amônio	69
Fosfato monoamônico	30
Fosfato diamônico	34
Nitrocálcio	61
Uréia	75
Amônia anidra	47
Superfosfato simples	8
Superfosfato triplo	10
Cloreto de potássio	116
Sulfato de potássio	46
Sulfato de potássio e magnésio	43

Fonte: Rader; White; Whittaker (1943)[1], citado por Alcarde (1994)

[1] RADER, L.F.; WHITE, L.M.; WHITTAKER, C.W. The salt index: a measure of the effect of fertilizers on the concentration of the soil. **Soil Science**, New Brunswick, v. 55, p. 201-220, 1943.

Embora a disponibilidade de nitrogênio ao Homem seja teoricamente infinita (78% da atmosfera é N), os adubos nitrogenados costumam ser caros devido ao alto custo energético de sua obtenção. Existem também os fertilizantes nitrogenados provenientes de minas (os "salitres"), cuja fonte é finita. Levando-se em consideração as características desejáveis, a uréia se apresenta normalmente como um dos mais baratos, em termos de preço por unidade de nutriente (N). Mas, como outros fatores devem ser também contemplados no cálculo da quantidade a ser aplicada de um determinado fertilizante, nem sempre ela deverá ser o escolhido para as adubações visando elevadas produções, em cada ciclo de rebrota.

A exemplo, caso o preço de N do sulfato de amônio esteja levemente superior ao preço do N da uréia, mas em uma determinada circunstância se pretende fazer uma correção de enxofre no solo, poderia ser conveniente a aquisição do sulfato de amônio ao invés da uréia, mesmo porque a eficiência de adubação nitrogenada com o sulfato tende a ser levemente superior à da uréia, já que esta é passível de volatilização. Outro exemplo; em solos neutros e/ou levemente alcalinos, pode-se optar pelo uso do sulfato de amônio ao invés da uréia, pois o sulfato apresenta elevado índice de acidez. A propósito, é importante se trabalhar com o pH levemente ácido na rizosfera (pH_{CaCl_2} = 5,5 – 6,0: maior disponibilização da maioria dos nutrientes).

Entretanto, para efeitos de cálculo em nosso raciocínio, tomaremos como exemplo a uréia (adubo mineral com N orgânico), que apresenta 45% de nitrogênio e solubilidade igual a 400 g por litro. A propósito, cada vez que se adiciona uréia na calda, tem-se um abaixamento de temperatura na mesma, fazendo reduzir ainda mais a solubilidade dos adubos a serem adicionados posteriormente.

O equivalente em carbonato de cálcio (Eq_{CaCO_3}) de um fertilizante equivale à quantidade de $CaCO_3$ ("calcário puro") necessária para neutralizar 1 tonelada aplicada do adubo considerado, e está associado ao índice de acidez de um determinado adubo. Portanto, conforme a Tabela 4, o sulfato de amônio necessitaria de 1089 kg de um "calcário puro" para compensar sua adição de 1 tonelada do sulfato. Entretanto, existe também o conceito de poder tampão do solo, que se refere à capacidade do solo manter constante o seu pH (e também outros atributos). Vitti et al. (1994) recordam que a acidificação do solo é potencialmente mais problemática em processos localizados (ex.: gotejamento); e recomendam que o acompanhamento da evolução do pH do solo seja periodicamente realizado, bem como a correção deste, quando necessário.

Tabela 4 - Equivalente em carbonato de cálcio (Eq_{CaCO_3}) de alguns fertilizantes

Fertilizante	Eq_{CaCO_3}	Fertilizante	Eq_{CaCO_3}
Superfosfato simples	0	Fosfato monoamônio	-644
Superfosfato triplo	0	Nitrato de amônio	-584
Nitrato de potássio	+257	Uréia	-832
Cloreto de potássio	0	Sulfato de amônio	-1089

O sinal (-) indica a quantidade necessária para neutralizar os ácidos formados quando se aplica uma tonelada do material ao solo, enquanto que o sinal (+) significa que o material é básico, e o zero (0) é neutro.

Fonte: Dourado Neto e Fancelli, 2000

3.4 Definir o volume de calda fertilizante a ser aplicado

O volume de calda (*C*, litros) a ser aplicado pode ser obtido pela seguinte expressão:

$$C = \frac{Q_n \cdot A_i}{S_F \cdot T_{n_F}}$$

em que Q_n se refere à quantidade do nutriente a ser aplicada (kg nutriente / ha); A_i à área efetivamente irrigada (ha); S_F à solubilidade do fertilizante (kg fertilizante / litro de calda); e T_{n_F} ao teor do nutriente no fertilizante (kg de nutriente / kg fertilizante).

Prosseguindo com raciocínio dos itens anteriores; considerando-se um pivô de 100 ha irrigados, no caso do nitrogênio, e tomando-se a uréia como o fertilizante escolhido (45% de N, e 40% de solubilidade), tem-se o seguinte volume de calda total a ser injetado no pivô, em cada parcelamento (1/3 de Q_N) de adubação nitrogenada:

$$C = \frac{23{,}14 \cdot 100}{0{,}4 \cdot 0{,}45} \quad \therefore \quad C = 12855{,}55 \text{ litros}$$

Tabela 5 - Teor de nutrientes de alguns fertilizantes

Produto	Teor				Propriedade
	N	P_2O_5	K_2O	S	
Sulfato de potássio	50			17,6	Sólido
Cloreto de potássio			60		Sólido
Nitrato de potássio	13		45	0,2	Líquido
Nitrato de potássio	14		45	0,2	Sólido
MAP (Mono-amônio-fosfato)	10 – 12	55		1,7	Líquido
DAP (Di-amônio-fosfato)	18	48		1,7	Líquido
MAP + nitrato de potássio +					Líquido
cloreto de potássio	10	10	5		Líquido
MAP + Uréia	12,5	12,5			Sólido
Nitrato de amônio	34				Granulado
Nitrato de amônio + carbonato					Líquido
de cálcio	21				Sólido
URAN	21 – 32				Sólido
Uréia	45				
Sulfato de amônio	20 – 21			23	

3.5 Determinar o tempo de giro

Como o tempo que o pivô leva para completar 1 giro completo é determinado pela distância que percorre a última torre ($2 \cdot \pi \cdot d_{C-UT}$, em que d_{C-UT} se refere à distância do centro à última torre, em metros), bem como pela velocidade de deslocamento desta (V_{UT}, o que é fornecido pelo fabricante, mas deve ser aferido no campo), tem-se que:

$$V = \frac{\Delta S}{\Delta t} \therefore V = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{t} \therefore t_g = \frac{2 \cdot \pi \cdot d_{C-UT}}{V_{UT}}$$

Para obtermos d_{C-UT}, é só subtrairmos do comprimento do raio total do equipamento (R_p - "braço" do pivô, sem considerar a distância adicional irrigada pelo canhão que pode haver na extremidade final) o comprimento do balanço (C_b - tubulação final do pivô). Supondo que o pivô em análise apresenta um raio de 564 m, e que seu balanço apresenta 27 m, tem-se que:

$$d_{C-UT} = R_p - C_b \therefore d_{C-UT} = 564 - 27 \therefore d_{C-UT} = 537 \text{ m}$$

Supondo ainda que a velocidade de caminhamento da última torre é de 220 m / h (com o rotor - RT - regulado a 100%), tem-se:

$$t_g = \frac{2 \cdot \pi \cdot d_{C-UT}}{V_{UT}} \therefore t_g = \frac{2 \cdot 3{,}141618 \cdot 537}{220} \therefore t_g = 15{,}3 \text{ horas } (= 100\%)$$

Quando se realiza a fertigação ou a fertirrigação, recomenda-se que o canhão ("bomba *booster*" – quando houver) situado na extremidade final da tubulação do pivô seja fechado, visto que sua lâmina de irrigação é bem mais heterogênea que aquela que sai nos emissores. Se a área compreendida pela irrigação do canhão estiver também ocupada por pastagens, esta será penalizada em relação aos demais pontos do pivô. Em contrapartida, excessos ou carências localizadas serão evitados.

3.6 Determinar a vazão de injeção (da bomba injetora no pivô)

O cálculo da vazão de injeção pode ser obtido a partir da seguinte expressão:

$$Q_{inj} = \frac{C}{t_g}$$

em que se refere à vazão de injeção (litros / h) da bomba injetora no pivô; *C* ao volume de calda (litros) – calculado anteriormente; e (h) ao tempo de giro – calculado anteriormente.

Conforme os itens anteriores, como litros; e horas, temos:

$$Q_{inj} = \frac{12855,55}{15,3} \qquad Q_{inj} = 840,23$$ litros de calda / h (ou 0,84023 m3 calda / h)

Conhecendo-se a pressão no ponto de injeção (15 kgf / cm²), faz-se a regulagem da bomba injetora (escala: 40 mm), em função de um catálogo fornecido pelo fabricante, para a obtenção da vazão requerida (840 litros / h, por exemplo). A Tabela 6 ilustra a variação de vazão da bomba injetora (tipo pistão) em função da pressão de serviço no ponto de injeção (quanto maior for a pressão no ponto de injeção, menor será a vazão de injeção) e em função da regulagem do curso do pistão (quanto maior for o curso do pistão, maior será a vazão de injeção).

Cabe ressaltar que o catálogo fornecido pelo fabricante deve ser aferido nas condições reais de trabalho. A limpeza do filtro de sucção deve necessariamente ser feita com freqüência, para que a vazão de injeção não seja afetada. Costuma-se utilizar, na prática, um manômetro de mercúrio para facilitar essa conferência, o que indicará o momento de limpeza.

Tabela 6 - Exemplo extraído de um catálogo fornecido pelo fabricante (caso hipotético)

Pressão (kgf / cm²)		Escala de ajuste da vazão (mm, ajuste manual)					
		15	20	25	30	35	40
5	Vazão (litros / h)	295	420	545	670	795	920
7		270	395	520	645	770	895
10		255	380	505	630	755	880
15		215	340	465	590	715	840

A Figura 5 e a Figura 6 ilustram os caminhos percorridos pela a calda fertilizante após esta ter deixado o tanque, e antes que seja injetada no sistema de tubulação do pivô.

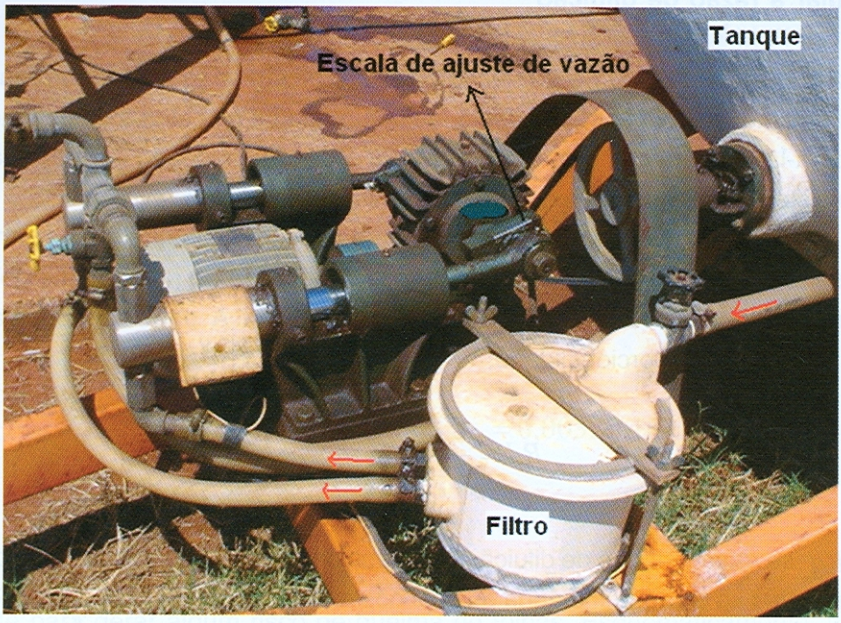


Figura 5 - *Após deixar o tanque e antes de ser injetada, a calda fertilizante deve passar por um filtro, o qual deve ser constantemente limpado*

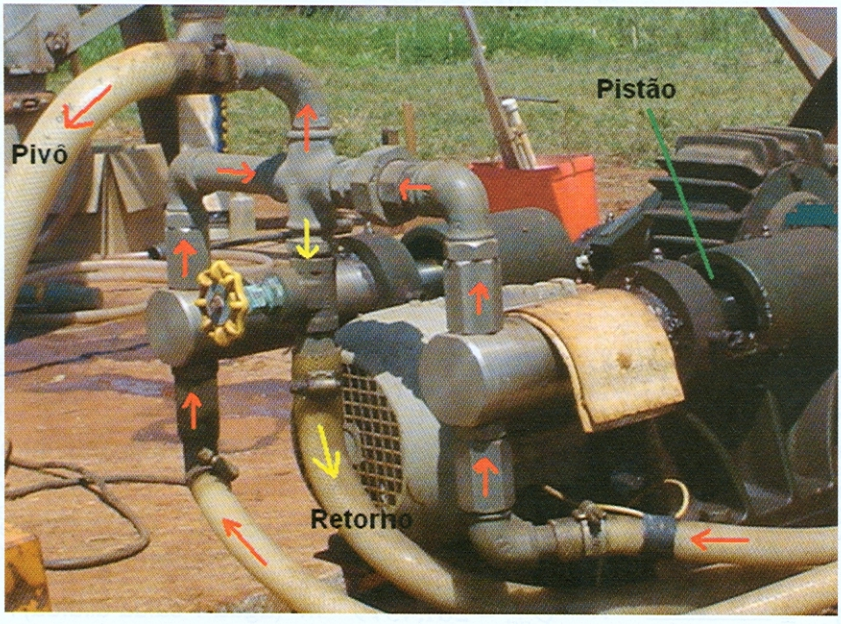


Figura 6 - *Direções seguidas pela calda fertilizante: pivô e/ou retorno para o tanque*

3.7 Calcular a razão de diluição

A razão de diluição (Rd) é a relação entre a concentração final de um nutriente na água de irrigação e a concentração deste mesmo nutriente na calda a ser injetada. Pode-se considerá-la também como a relação entre a vazão de injeção (Q_{inj}) e a vazão total (Q_{sist}) do sistema (de toda água que sai nos emissores do pivô).

Este cálculo é importante para aferirmos se a concentração final (do volume que sai no pivô) será ou não capaz de "queimar" as folhas. No caso do nitrogênio e do potássio, recomenda-se que essa concentração não ultrapasse 1,5%. A pode ser obtida a partir da seguinte relação de proporcionalidade:

$$Rd = \frac{C_{n_w}}{C_{n_C}} = \frac{Q_{jnj}}{Q_{sist}}$$

em que Rd se refere à razão de diluição (adimensional); C_{n_w} à concentração do nutriente (kg de nutriente / kg de água) na água que sai nos emissores do pivô; C_{n_w} à concentração (kg de nutriente / kg de água) deste nutriente na calda a ser injetada no centro do pivô; (Q_{inj}) a vazão de injeção; e (Q_{sist}) a vazão total do sistema.

Dos itens anteriores, tem-se que (caso do nitrogênio):

$$C_{N_C} = \frac{2314\ kg\ N}{12855{,}55\ kg\ água}$$

Para encontrarmos o valor de Rd, devemos calcular primeiramente a vazão do sistema (do pivô), a qual pode ser obtida através da seguinte equação:

$$Q_{sist} = \frac{I \cdot A_i \cdot 10}{t_g}$$

em que Q_{sist} se refere à vazão do sistema (m³ água / h); *I* se refere à lâmina de irrigação (mm) para um determinada posição selecionada pelo operador no relê percentímetro (*RT*, %); A_i à área irrigada pelo pivô (ha); e t_g o tempo de giro (calculado anteriormente).

Logo, para um pivô de 100 ha aplicando 4 mm de lâmina em sua máxima velocidade (RT = 100%), e que leva 15,3 horas para completar uma volta (t_g), tem-se que:

$$Q_{sist} = \frac{4 \cdot 100 \cdot 10}{15{,}3} \quad \therefore \quad Q_{sist} = 261{,}4379 \quad m^3 \text{ (água + calda diluída) / h}$$

Continuando o raciocínio da razão de diluição, segue-se com a seguinte conta:

$$Rd = \frac{Q_{inj}}{Q_{sist}} \quad \therefore \quad Rd = \frac{0{,}84023}{261{,}4379} \quad \therefore \quad Rd = 0{,}00321 \text{ ou } 0{,}321\%$$

Diante dos valores de e de , pode-se calcular :

$$Rd = \frac{C_{N_W}}{C_{N_C}} \quad \therefore \quad C_{N_W} = Rd \cdot C_{N_C} \quad \therefore \quad C_{N_W} = 0{,}00321 \cdot 16{,}6 \quad \therefore \quad C_{N_W} = 0{,}053\%$$

Essa concentração de N (0,053%) é aquela que sairá nos emissores do pivô, e é insuficiente para gerar algum risco de queima de folhas. Esquematicamente, a Figura 9 ilustra os caminhos que percorrem a água e a calda, bem como suas respectivas vazões e com qual concentração de nitrogênio (dos exemplos dos cálculos já expostos). Entre o tanque e o pivô, a conexão por onde é passada a calda fertilizante deve ser feita através de uma válvula de contenção (Figura 7), a qual evitará o refluxo de água do pivô para o tanque.

No ato da mistura do adubo com a água que vem do pivô, o que é feito geralmente de forma manual pelo operador, que segue uma planilha de execução (que deve fornecer quanto de água e quanto de adubo se deve misturar, em cada reabastecimento); devido às possibilidades reais da existência de variação na concentração do nutriente na calda de fertilizante (conforme é explicado na Figura 10), algumas faixas diferentes em forma de "pizza" podem aparecer na pastagem. A Figura 11 ilustra esquematicamente essas "pizzas", as quais são podem refletir em perdas ou até mesmo em aumentos em rendimento (kg pasto / ha) em algumas faixa, principalmente quando se trata de adubação nitrogenada. Essas "pizzas" serão maiores quanto mais tempo se levar para a concentração do nutriente atingir a estabilização da concentração desejada; e se levará mais tempo quanto maior for a heterogeneidade de adição conjunta dos ingredientes (água + adubo(s)).

Convém lembrar que a vazão do sistema deve ser sempre inferior à vazão estipulada para projeto (Q_{proj}) de implantação da bomba de sucção; a qual pode ser calculada de acordo com o critério da "máxima evapotranspiração máxima (ou máxima ETm - $ETm_{máx}$, em mm / dia)" que um determinado genótipo pode ter.

Ao longo de uma rebrota de um genótipo forrageiro, a evapotranspiração máxima será tanto maior quanto maior for o IAF do pasto, mas dependerá principalmente dos atributos atmosféricos (quanto mais quente for o dia, maior a evapotranspiração). A equação que descreve a vazão de projeto (Q_{proj}, m^3/h) é similar à equação da vazão do sistema, sendo necessário apenas substituir *I* por : $ETm_{máx}$

$$Q_{proj} = \frac{ETm_{máx} \cdot A_i \cdot 10}{t_g \cdot Ef_{irr}}$$

Para pastagens consideradas ótimas em população de plantas, pode-se adotar, para critérios de projeto, uma máxima evapotranspiração máxima de 6 mm / dia; portanto:

$$Q_{proj} = \frac{6 \cdot 100 \cdot 10}{15{,}3 \cdot 0{,}85} \quad \therefore \quad Q_{proj} = 461{,}36$$

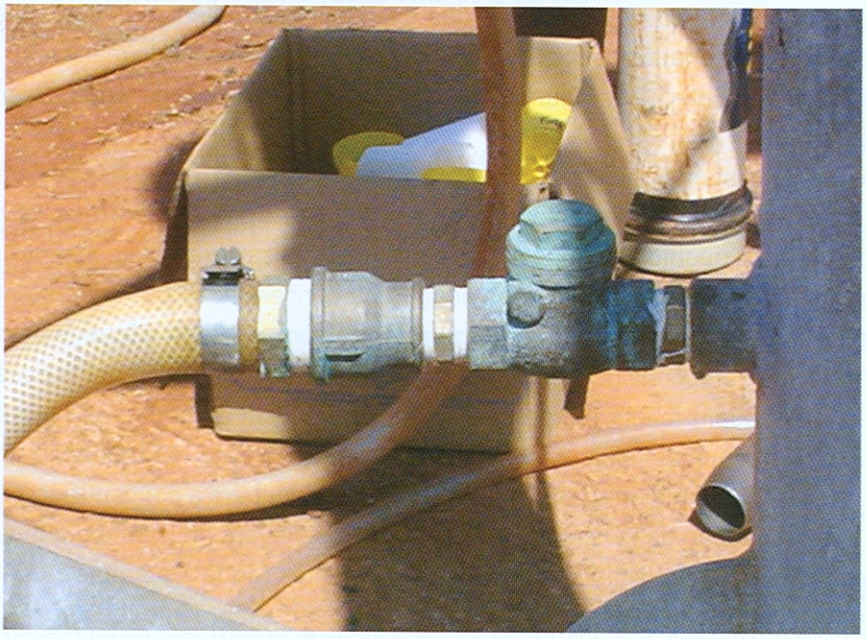


Figura 7 - *Válvula de contenção: acima, um posicionamento equivocado da peça, que deveria trabalhar no sentido vertical, e acoplada a um cotovelo. Quando necessário, deve-se fazer a substituição da peça, que é constantemente submetida à ação corrosiva da calda fertilizante (muito mais concentrada que a água de irrigação contendo fertilizantes, que sai nos emissores)*

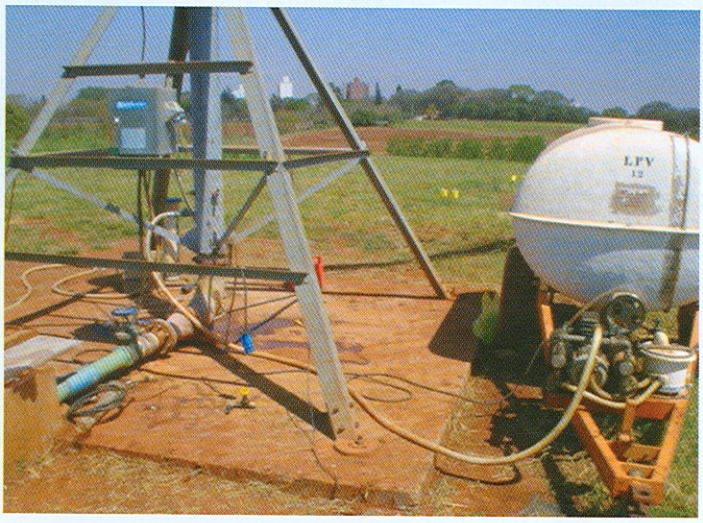


Figura 8 - *Tanque de armazenamento de calda fertilizante com bomba injetora*

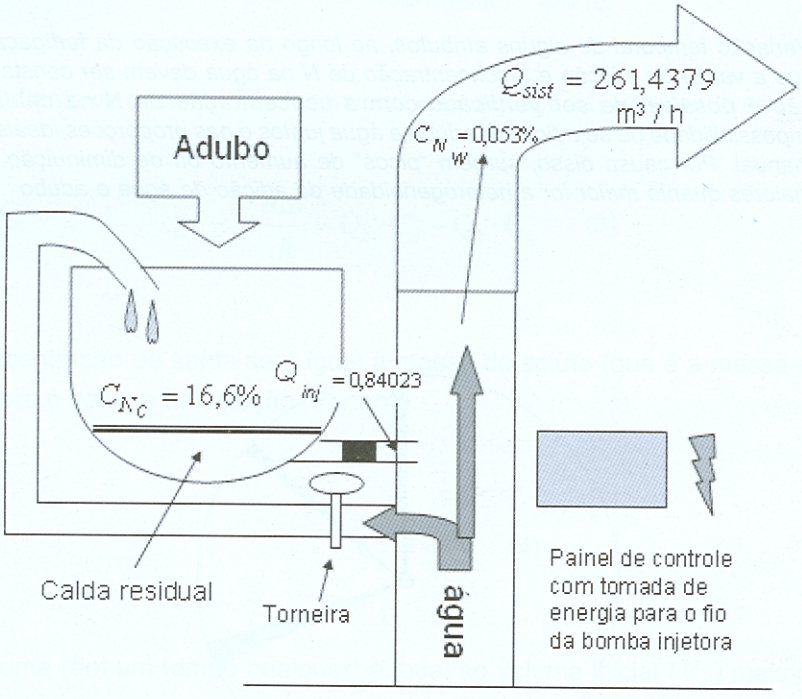


Figura 9 – *Representação esquemática da injeção da calda fertilizante no pivô, bem como das vazões e das concentrações de nitrogênio na calda e na água de irrigação. É fundamental que haja uma calda residual no ato do reabastecimento, o que confere tempo hábil para esta operação*

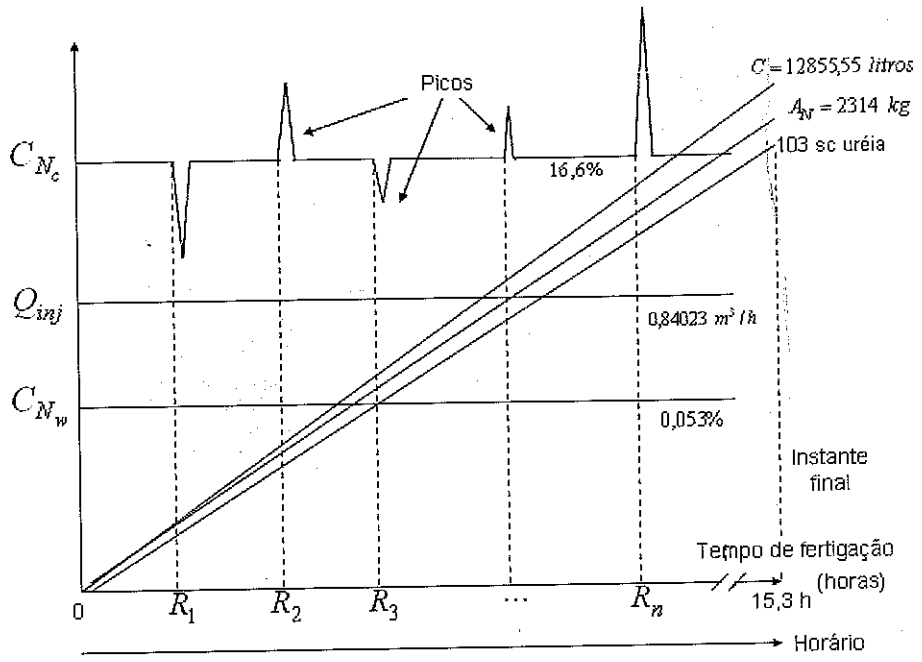


Figura 10 - *Variação temporal de alguns atributos, ao longo da execução da fertigação. Nota-se que a vazão de injeção e a concentração de N na água devem ser constantes, o que não é possível de ser verificado com a concentração de N na calda devido à impossibilidade de se adicionar adubo e água juntos e nas proporções ideais, na prática manual. Por causa disso, surgem "picos" de aumento ou de diminuição, que serão maiores quanto maior for a heterogeneidade da adição de água e adubo*

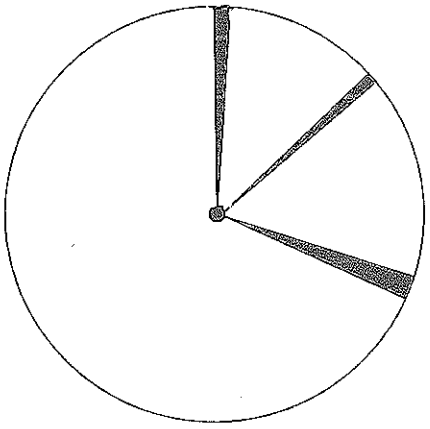


Figura 11 – *Formação das "fatias de pizzas" em função da variação da concentração de um nutriente (principalmente no caso do N, que deixa a pastagem com um verde mais claro ou mais escuro, dependendo da variação obtida)*

Através de resolução analítica (e também numérica), é possível expressar como a massa de um determinado fertilizante varia com o tempo. Trata-se de uma equação diferencial ordinária linear de primeira ordem, onde a variação de massa em relação à variação de tempo é, simplesmente, igual à diferença entre a variação de massa de entrada menos a variação de massa de saída, o que pode ser expresso da seguinte forma (o procedimento de cálculo até o final deste sub-item – 3.7 – não faz parte do planejamento da fertigação):

$$\frac{d\mathrm{m}}{d\mathrm{t}} = \frac{d\mathrm{m_e}}{d\mathrm{t}} - \frac{d\mathrm{m_s}}{d\mathrm{t}} \qquad (1)$$

Fazendo-se a análise dimensional, tem-se que:

$$\frac{d\mathrm{m}}{d\mathrm{t}} = \frac{\text{gramas}}{\text{minuto}} = \underbrace{\frac{\text{gramas}}{\text{litros}}}_{\text{Concentração (C)}} \cdot \underbrace{\frac{\text{litros}}{\text{minuto}}}_{\text{Vazão (Q)}} \qquad (2)$$

Logo, diante da assunção 2, desenvolve-se a equação 1, resultando em:

$$\frac{d\mathrm{m}}{d\mathrm{t}} = \mathrm{Q_e} \cdot \mathrm{C_e} - \mathrm{Q_s} \cdot \mathrm{C_s} \qquad (3)$$

A concentração de saída será igual à massa de soluto (que é a massa que saíra no injetor) sobre o volume da solução. Portanto:

$$\mathrm{C_s} = \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{V}} \qquad (4)$$

O volume (em um tempo qualquer) é igual ao volume inicial (V_o) mais o volume de entrada (V_e) menos o volume de saída (V_s). Isso pode ser escrito da seguinte forma:

$$\mathrm{V} = \mathrm{V_o} + \mathrm{V_e} - \mathrm{V_s} \qquad (5)$$

Como vazão implica em volume por unidade de tempo, tem-se que:

$$Q_{e,s} = \frac{V_{e,s}}{t} \qquad (6)$$

Portanto:

$$Q_e \cdot t = V_e \quad (7a) \quad \text{e} \quad Q_s \cdot t = V_s \quad (7b)$$

Substituindo as equações 7a e 7b na equação 5, temos:

$$V = V_o + Q_e \cdot t - Q_s \cdot t \quad \therefore \quad V = V_o + (Q_e - Q_s) \cdot t \qquad (8)$$

Substituindo as equações 4 e 8 na equação 3, temos:

$$\frac{dm}{dt} = Q_e \cdot C_e - Q_s \cdot \frac{m}{V_o + (Q_e - Q_s) \cdot t} \qquad (9)$$

Reescrevendo-se a equação acima de maneira conveniente, temos:

$$m' = Q_e \cdot C_e - \frac{Q_s}{V_o + (Q_e - Q_s) \cdot t} \cdot m$$

Logo, tem-se então a expressão:

$$m' + \frac{Q_s}{V_o + (Q_e - Q_s) \cdot t} \cdot m = Q_e \cdot C_e$$

Iniciando a resolução da equação diferencial linear ordinária, tem-se os termos $p(t)$ e $g(t)$:

$$m' + \underbrace{\left(\frac{Q_s}{V_o + (Q_e - Q_s) \cdot t} \right)}_{p(t)} \cdot m = \underbrace{Q_e \cdot C_e}_{g(t)}$$

Também, tem-se que:

$$\mu(t) = e^{\int p(t)dt} \quad \text{sendo e} = 2{,}718281828...$$

Finalmente, a solução geral da equação diferencial linear ordinária (variação da massa *m* em função tempo *t*) pode ser expressa a partir da seguinte expressão:

$$m = \frac{1}{\mu(t)} \cdot \left(\int \mu(t) \cdot g(t) + C \right)$$

em que C corresponde a uma constante de integração.

Para a determinação do valor de C, recorre-se ao chamado "problema de valor inicial"; ou seja, para um tempo inicial igual a zero, no qual conhece-se a massa inicial de soluto, encontra-se um valor correspondente para C, o qual será então o valor de C para a solução particular.

Outro aspecto importante também é que, assumindo que a vazão de entrada é equivalente à vazão de saída, e que volume de entrada apresenta concentração de soluto igual a "zero"; é possível calcular a massa relativa (m_r, porcentagem de massa de fertilizante em relação à massa inicial) em função do número de "tanques" (x) que precisam ser aplicados (em termos de volume de água) para que haja redução da massa de soluto, o pode ser expresso da seguinte forma:

3.8 Calcular o tempo de lavagem do pivô e da bomba injetora

A lavagem do sistema de irrigação deve ser feita logo após a aplicação do fertilizante, visando minimizar futuros problemas de corrosão. O tempo de lavagem é assim calculado:

$$t_L = \frac{15 \cdot \pi \cdot \phi^2 \cdot L}{Q_{sist}}$$

em que t_L se refere ao tempo de lavagem (minutos); ϕ ao diâmetro (m) da tubulação; L à distância (m) do ponto de injeção ao final da tubulação; e Q_{sist} à vazão (m^3 / h) do sistema.

O dano corrosivo é variável em função do tipo de fertilizante e da exposição deste, e do tipo de material de fabricação da tubulação. A Tabela 7 ilustra o dano corrosivo ocasionado por diferentes fertilizantes em diversos materiais, tais como ferro (Fe), alumínio (Al), cobre (Cu) e bromo (Br).

Um outro cálculo muitas vezes também importante é a profundidade de incorporação dos fertilizantes no solo em função da fertigação ou da fertirrigação. Isso pode ser assim obtido:

$$Z_F = \frac{\varphi \cdot h}{10 \cdot (\theta_{cc} - \theta_a)}$$

em que Z_F se refere à profundidade (cm) de incorporação do fertilizante; φ ao coeficiente de retardamento de fluxo de massa (ordem de grandeza: 0,95); h à lâmina (mm) líquida de irrigação; θ_{cc} à umidade (cm^3 água / cm^3 solo) do solo quando na "capacidade de campo"; e θ_a à umidade (cm^3 água / cm^3 solo) atual do solo.

Tabela 7 - Dano corrosivo

Produto	Dano corrosivo
Cloreto de potássio	Não observado
Fosfato monoamônio (MAP) + fosfato diamônio (DAP)	Fe, Al, Cu e Br
Fosfato monoamônio (MAP) + nitrato de amônio + cloreto de potássio	Fe, Al, Cu e Br
Fosfato monoamônio (MAP) + uréia	Fe, Al, Cu e Br
Nitrato de amônio	Cu e Br
Nitrato de amônio + carbonato de cálcio	Fe, Cu e Br
Nitrato de amônio + uréia: URAN	Fe, Cu e Br
Nitrato de potássio	Não observado
Uréia	Não observado
Sulfato de potássio	Fe

3.9 Cálculo do custo de energia

A energia requerida (*E*, kw*h) pode ser expressa de acordo com a seguinte expressão:

$$E = 0{,}734 \cdot \{[(P_B + P_{BI}) \cdot t_g] + \sum_{n_T=1}^{n_T} E_{n_T}\}$$

em que P_B se refere à potência (cv) requerida pela bomba de sucção; P_{BI} à potencia (cv) da bomba injetora (valor fornecido pelo fabricante); t_g ao tempo (h) de giro do pivô; e E_{n_T} à energia (cv*h) requerida por cada um dos moto-redutores (o total é equivalente à somatória das energias consumidas por cada n_T moto-redutor de cada torre, que são diferentes devido aos mesmos apresentarem diferentes tempos de funcionamento).

Para estimar a potência requerida (, cv) pela bomba de sucção, pode-se utilizar a seguinte equação:

$$P_B = \frac{Q_{sist} \cdot H_m \cdot \gamma}{270 \cdot \eta}$$

em que Q_{sist} se refere à vazão (m^3 / h) do sistema; H_m à altura manométrica (m); γ ao peso específico (1 kgf / cm^3) da água; e η à eficiência global do conjunto motobomba (decimal adimensional – ordem de grandeza: 0,60 a 0,65).

Considerando que a altura manométrica é 80 m; e que a $Q_{sist} = 261{,}4379$ m (calculada no item 3.6); tem-se que:

$$P_B = \frac{261{,}4379 \cdot 80 \cdot 1}{270 \cdot 0{,}65} \quad \therefore \quad P_B = 129{,}105 \quad \text{cv}$$

O tempo de funcionamento das diferentes torres (de uma enésima torre - $t_{f_{n_T}}$, h) pode ser obtido através da seguinte equação:

$$t_{f_{n_T}} = \frac{n_T \cdot d_{T-T} \cdot t_g}{d_{C-UT}}$$

em que n_T ao número ordinal de cada moto-redutor (1, 2, 3, etc...); d_{T-T} à distância (m) entre duas torres; t_g ao tempo (h) de giro; e d_{C-UT} à distância (m) do centro do pivô à última torre.

Cabe ressaltar que o valor de $t_{f_{n_T}}$ é necessário para se verificar quanto cada moto-redutor consome, o que é necessário para se calcular a energia total ($\sum_{n_T=1}^{n_T} E_{n_T}$, cv) de todos juntos.

Assumindo que o pivô possui 10 torres; que cada uma destas apresenta em seus moto-redutores uma potência instalada ($P_{MR\,n_T}$) de 1,5 cv; que d_{T-T} é 53,7 m; que d_{C-UT} é 537 m; e que t_g é 15,3 h (para que haja sincronia, esse tempo será igual para todas as torres, mas algumas terão que parar mais em relação a outras, o que confere diferentes); pode-se elaborar a uma planilha para calcular o tempo de funcionamento de cada torre e a energia requerida pela mesma:

n_T	$P_{MR\,n_T}$ (cv)	t_g (h)	$t_{f_{n_T}} = \frac{n_T \cdot 53{,}7 \cdot t_g}{537}$ (h)	$E_{n_T} = t_{f_{n_T}} \cdot P_{MR_{n_T}}$ (cv.h)
1	1,5	15,3	1,53	2,295
2	1,5	15,3	3,06	4,590
3	1,5	15,3	4,59	6,885
4	1,5	15,3	6,12	9,180
5	1,5	15,3	7,65	11,475
6	1,5	15,3	9,18	13,770
7	1,5	15,3	10,71	16,065
8	1,5	15,3	12,24	18.360
9	1,5	15,3	13,77	20,655
10	1,5	15,3	15,30	22,950

Portanto, como $P_B = 129{,}105$ cv; $P_{BI} = 0{,}5$ cv; e $\sum_{n_T=1}^{n_T} E_{n_T} = 126{,}25$ cv.h; torna-se possível calcular a energia total requerida pelo sistema:

$$E = 0{,}734 \cdot \{[(P_B + P_{BI}) \cdot t_g] + \sum_{n_T=1}^{n_T} E_{n_T}\} \therefore E = 0{,}734 \cdot \{[(129{,}105 + 0{,}5) \cdot 15{,}3] + 126{,}25\}$$

$$\therefore E = 1548{,}15 \quad \text{kw.h}$$

Finalmente, em função do preço unitário (R$ / kwh) do kw.h; e da energia total requerida (E, kw*h); o custo total da energia ($C_{energia}$, R$) a ser consumida na fertigação (RT = 100%) pode ser assim calculado:

$$\therefore C_{energia} = U_{kwh} \cdot E \quad \therefore \quad C_{energia} = 0{,}19 \cdot 1548{,}15 \quad \therefore \quad C_{energia} = 219{,}15 \text{ R\$}$$

Analogamente, em comparação a um motor a diesel que consome 20 litros de combustível / hora; cujo o preço unitário do diesel (U_l) seja em média R$ 1,55 / litro, tem-se o seguinte raciocínio para se estimar o "custo-combustível":

$$C_{comb} = U_l \cdot Consumo \cdot t_g \quad \therefore \quad C_{comb} = 1{,}55 \cdot 20 \cdot 15{,}3 \quad \therefore \quad C_{comb} = 474{,}30 \text{ R\$}$$

Em termos de custo de energia, verificou-se neste caso que o pivô a diesel apresentou custo mais elevado, o que, no entanto, não pode ser encarado como regra geral, já que o valor do combustível, a distância da propriedade em relação ao fornecedor, e o consumo do motor, poderão ser extremamente variáveis, dependendo das circunstâncias.

Outro fato importante é a composição dos custos referentes à energia, ainda no que diz respeito ao pivô movido à energia elétrica. Como se observa no quadro abaixo, uma porção exorbitante do custo é referente à energia requerida pela bomba, e uma porção ínfima é referente ao requerimento de energia pela bomba injetora:

Item	Potência (cv)	Energia total requerida (kw.h)	R$	% do custo
Bomba de irrigação	129,10	1975,30	375,30	95,24
Moto-redutores	1,5 cada	93,16	17,70	4,49
Bomba injetora	0,5	5,6	1,07	0,27
			394,07	100

Sumarizando o Capítulo 3, nove itens são necessários e indispensáveis para serem seguidos no procedimento da fertigação / fertigação. Mesmo que ainda existam muitos aspectos a esclarecer e a melhorar, pode-se admitir que a fertigação / fertirrigação é uma técnica bastante aperfeiçoada, da qual os agricultores e pecuaristas podem tirar grande proveito em função de suas inúmeras vantagens, tais como redução da compactação do solo e de danos mecânicos na cultura, aumento na eficiência de aplicação da maioria dos fertilizantes e redução no custo de aplicação, dentre outros.

4 AVALIAÇÃO DA UNIFORMIDADE DE IRRIGAÇÃO

O ensaio do sistema de irrigação do pivô central deve ser realizado seguindo a normatização proposta pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), através de seu Projeto de Norma, e também dos padrões da *American Society of Agricultural Engineering*.

Para verificar a distribuição nos emissores da tubulação do pivô, recomenda-se primeiramente que este esteja normalmente provido dos pendurais ("bengalas"), o que minimiza as perdas de água e também a deriva. Essa verificação é necessária para não se formarem as "coroas" de irregularidade de distribuição de água (Figura 12), as quais são resultantes da diminuição ou do excesso de água aplicado naquela área diferenciada.

Aliás, para diferentes posições nas quais estão localizados os emissores, devemos ter, teoricamente, diferentes tipos de bocais, sendo que, quanto mais distante este estiver do centro do pivô, maior deverá ser o bocal do emissor. Isso voltará a ser levado a cabo mais adiante.

Para o início do procedimento da avaliação da uniformidade de irrigação, deve-se colocar duas linhas de coletores (Figura 14), dispostas radialmente e formando um ângulo de 3º entre si, de tal forma que os dois últimos coletores dessas linhas radiais fiquem a uma distância inferior a 50 m. Deve-se, também, determinar a capacidade volumétrica máxima (ml) dos coletores, especificando a área de captação (cm^2) e a relação volume / lâmina de água (ml / mm).

Normalmente, os coletores (Figura 13) são instalados em estacas metálicas a uma altura de 30 cm a partir da superfície do solo. O espaçamento utilizado entre cada um varia de 3 a 5 metros, sendo que o primeiro deve ser colocado a uma distância correspondente à metade do espaçamento entre coletores, em relação ao ponto central do pivô (local em que o equipamento é fixado ao terreno e onde ocorre o centro de giro do sistema). Deve-se realizar o ensaio com a máxima velocidade de deslocamento do pivô (regulagem do relê percentímetro: 100%).

A pressão de operação na extremidade final (saída de água localizada na tubulação sobre a última torre móvel) da linha lateral (tubulação que conduz a água sob pressão do ponto central do pivô aos aspersores nela instalados) deve ser obtida com um manômetro (recomenda-se um manômetro eletrônico digital devidamente calibrado e com precisão de 1% em sua escala de medida), de acordo com o Projeto de Norma da ABNT.

As velocidades de caminhamento do pivô devem ser aferidas determinando-se o tempo necessário para que a última torre móvel se desloque a uma distância pré-estabelecida. A determinação deve ser feita utilizando diferentes porcentagens de velocidade, a qual pode ser regulada no equipamento através do painel de controle (no ponto central).

Os resultados de ensaio de distribuição de água normalmente são lançados em um gráfico, onde é possível visualizar a variabilidade da lâmina líquida de irrigação ao longo da linha lateral do equipamento, bem como a lâmina média de água aplicada. A distribuição

de água é normalmente avaliada através de dois coeficientes: (i) Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (*CUC*); e (ii) Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (*CUD*).

O Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (*CUC*) avalia o desvio médio das lâminas de água captadas em cada coletor, e avalia também a lâmina média aplicada pelo equipamento no ensaio. O *CUC* pode ser obtido através da seguinte expressão:

$$CUC = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} |L_i - L_m|}{L_m \cdot \sum_{i=1}^{n} i} \right)$$

em que (L_m) se refere à lâmina média ponderada de água captada dos *n* emissores (em todos); *i* à posição do(s) coletor(es) utilizados no ensaio; e (L_i) à lâmina de água captada no *i*-ésimo coletor.

Embora não ocorra na prática, a lâmina média ponderada deveria ser teoricamente obtida variando-se o número de coletores em função do número de ordem dos emissores correspondentes, ou seja; para um *i*-ésimo emissor qualquer, tem-se *i* vezes o número de coletores. Portanto:

$$L_m = \frac{1 \cdot L_{e_1} + 2 \cdot L_{e_2} + ... + n \cdot L_{e_n}}{n}$$

em que n se refere ao número de emissores.

O Coeficiente de uniformidade de distribuição (*CUD*) é aquele referente à relação entre a lâmina média ponderada das 25% menores lâminas coletadas ($L_{m_{25}}$) e a lâmina média ponderada total (L_m); e pode ser obtido através da seguinte expressão:

$$CUD = \left[\frac{L_{m_{25}}}{L_m} \right]$$

Segundo Frizzone & Botrel (1994), considera-se que um pivô central apresenta uma boa uniformidade de aplicação de água quando os valores de *CUC* e de *CUD* apresentam-se acima de 0,85 (ou 85%). Porém, convém salientar que, quanto maior os valores dos coeficientes de uniformidade, maior será a aplicação de água do equipamento, e conseqüentemente maior deverá ser também a aplicação homogênea de fertilizantes na área (quando o alvo é o solo).

Com os valores de lâmina média coletada e com a velocidade de deslocamento dos equipamentos, pode-se estimar os respectivos valores de lâminas de água aplicadas nas diferentes regulagens dos relês percentímetros. Com a pressão de operação na extremidade final da linha lateral, pode-se verificar se o sistema está operando de forma adequada (supõe-se, por exemplo, ocorrências como problemas no rotor da bomba, nos reguladores de pressão, ou entupimento).

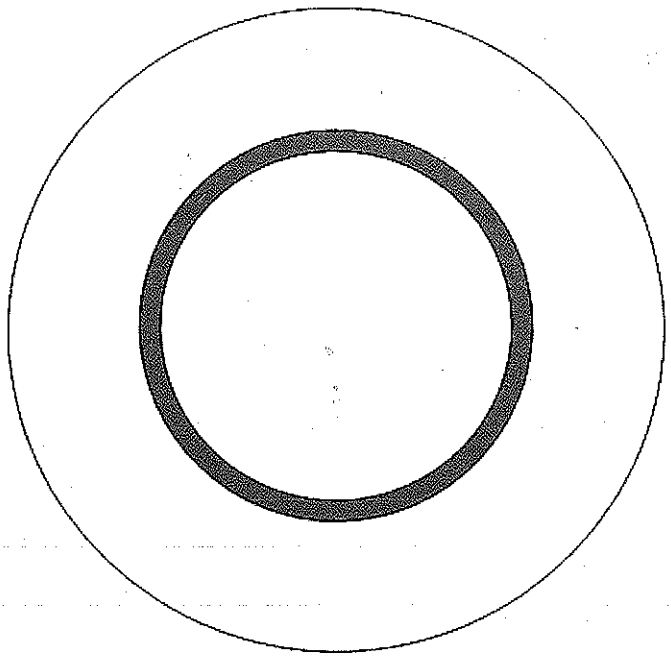


Figura 12 - *Representação esquemática da variabilidade espacial da aplicação da lamina d'água (e do que se aplica através dela) devido à desuniformidade de aplicação dos emissores. Formam-se "coroas" imaginárias, que se traduzem em perda de rendimento (kg de pasto / ha)*

Figura 13 - *Coletor*

Figura 14 - *Posicionamento dos coletores para a avaliação da uniformidade de lâmina*

Cabe salientar também que, quanto maior a inclinação do terreno onde está instalado o pivô, menor deverá ser cada vão entre as torres, visando reduzir a patinação das rodas e, conseqüentemente, aumentar a uniformidade de irrigação. Porém, quanto menor o vão entre as torres, maior será o custo total do pivô, tanto fixo quanto operacional. Igualmente importante, podem ocorrer também algumas situações em que o pivô se desloque em terrenos irregulares, o que acarreta em um movimento não uniforme do equipamento. Neste caso, reguladores de pressão podem ser instalados para que haja uniformidade de distribuição das lâminas.

Pelo fato de um *i*-ésimo emissor qualquer perfazer *i* vezes a área do primeiro emissor, a vazão deste *i*-ésimo emissor (q_{E_i}, $m^3.h^{-1}$) deverá ser maior, naturalmente.

$$q_{E_i} = \frac{2 \cdot Q_{sist} \cdot w_E \cdot d_{C-E_i}}{(d_{C-UT} + C_b + R_{Alc})^2}$$

em que w_E se refere à distância entre emissores (comercialmente padronizado, atualmente); d_{C-E_i} à distância (m) do centro ao *i*-ésimo emissor; e R_{Alc} ao raio (m) de alcance da água expelida pelo canhão existente na extremidade final do pivô.

Portanto, conforme já mencionado, para diferentes posições nas quais estão localizados os emissores, devemos ter, teoricamente, diferentes tipos de bocais sob diferentes pressões nominais; isso devido à tentativa de minimizar as diferenças entre as vazões de cada emissor e, conseqüentemente, maximizar a uniformidade de distribuição.

5 PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO DA FERTIGAÇÃO

Pelo fato de que a adoção de sistemas de irrigação e de fertilizantes implicam em custos geralmente elevados, torna-se evidente que o uso dos recursos deve ser feito da forma mais profissional possível, desde a escolha e a compra dos insumos até a execução da aplicação de fertilizantes. Logo, torna-se imperativo o uso de planilhas de acompanhamento no ato da fertigação, as quais deverão ser elaboradas da maneira mais clara possível para ser entregue e explicada ao funcionário que irá executar a operação, se for o caso.

Diante do raciocínio e dos cálculos já expostos no Capítulo 3; para se elaborar uma planilha simplificada de rotina de execução da fertigação, a qual servirá para o acompanhamento dos funcionários na propriedade, pode-se adotar os seguintes atributos:

• Variáveis de entrada:

1. Área total a ser operada (em ha);
2. Solubilidade do produto (kg fertilizante / kg água);
3. Teor do nutriente no fertilizante (kg nutriente / kg fertilizante);
4. Quantidade contida em uma embalagem do fertilizante (kg fertilizante);
5. Capacidade do tanque (litros de calda);
6. Quantidade requerida do nutriente (kg nutriente / ha);
7. Horário de início da operação (ex.: 21,50 h; ao invés de 21h30);
8. Velocidade de deslocamento da última torre (m / h);
9. Distância do centro do pivô à última torre (m); e
10. Limite mínimo de volume de calda a ser deixado no tanque, antes de cada reabastecimento de água e de fertilizante (litros de calda). Esse limite é um valor atribuído pelo operador. Entretanto, no ato de cada reabastecimento, recomenda-se que tenha no mínimo 200 litros de calda no fundo do tanque, para que haja tempo suficiente a um reabastecimento sem a interrupção da operação. A exemplo, uma bomba que injeta 800 litros por hora irá levar, portanto, 15 minutos para esvaziar o tanque, se for considerado um valor de 200 litros. Esses 15 minutos devem ser suficientes para o reabastecimento da água e do adubo (que devem ser adicionados da maneira mais homogênea possível).

• Variáveis de saída:

1. Tempo de giro (horas – valores decimais);
2. Calda total para a área (litros);
3. Vazão de injeção da bomba injetora no pivô (litros / h);
4. Quantidade total do nutriente a ser aplicado em toda a área (kg nutriente);
5. Mínima lâmina (mm) d'água ($RT = 100\%$);
6. Vazão do sistema (m^3 / h);
7. Concentração do nutriente na calda dentro do tanque (%);
8. Volume de calda residual (litros);
9. Tempo levado para esvaziar a calda residual (minutos);
10. Tempo de reabastecimento (minutos), devendo este ser menor, com uma margem de segurança, que o tempo levado para esvaziar a calda residual (item anterior);
11. Razão de diluição (adimensional);
12. Concentração do nutriente na água de irrigação (%).

Para estes fins específicos (elaboração das planilhas de execução da fertigação ou da fertirrigação), recomendamos novamente o acompanhamento de um Engenheiro agrônomo especializado no assunto.

6 CONTROLE DA LÂMINA A SER APLICADA

Essa é uma característica de manejo de grande importância do pivô central, e que pode ser facilmente dominada por técnicos e funcionários capacitados da propriedade rural. Para tal, precisamos basicamente saber o valor do raio do centro à última torre, o comprimento do balanço, a área básica, a velocidade de caminhamento da última torre e a vazão básica; tudo previamente definido nas características de fabricação do pivô.

Conforme se ajusta o relê percentímetro (*RT*) no painel do pivô, tem-se uma velocidade de caminhamento do equipamento. As lâminas resultantes deverão ser tanto maior quanto menor forem as velocidades. A propósito, o relê percentímetro é um linearizador de velocidade, e vai perdendo a capacidade de executar sua função ao longo dos anos.

Exercício ilustrativo

Em qual posição deve ser ajustado o relê percentímetro para se aplicar uma lâmina de 7,5 mm, considerando um pivô de raio básico igual a 395,93 m (sendo 9 m de balanço), que a velocidade de caminhamento a 100% é de 177 m h^{-1}, e que a vazão básica do sistema é de 161,19 m^3 h^{-1}.

Primeiramente, calculamos a área básica:

$$A_b = \frac{\pi \cdot R_b^2}{10000} \quad \therefore \quad A_b = \frac{\pi \cdot 395{,}93^2}{10000} \quad \therefore \quad A_b = 49{,}25 \text{ ha}$$

Para RT a 100%, calcula-se o tempo de revolução e a lâmina correspondente:

$$t_{rev100} = \frac{2 \cdot \pi \cdot R_{UT}}{v_{100}} \quad \therefore \quad t_{rev100} = \frac{2 \cdot \pi \cdot (395{,}93 - 9)}{177} \quad \therefore \quad t_{rev100} = 13{,}74 \text{ h}$$

Nos cálculos acima, observe que o raio da última torre foi utilizado, ao invés do raio básico, já que é a última torre que se movimenta.

$$h_{100} = \frac{t_{rev100} \cdot Q_b}{10 \cdot A_b} \quad \therefore \quad h_{100} = \frac{13{,}74 \cdot 161{,}19}{10 \cdot 49{,}25} \quad \therefore \quad h_{100} = 4{,}5 \text{ mm}$$

Em seguida, calculamos a velocidade de caminhamento para *RT* a 90%:

$$v_i = \frac{v_{100} \cdot RT_i}{100} \quad \therefore \quad v_{90} = \frac{v_{100} \cdot 90}{100} \quad \therefore \quad v_{90} = 159{,}30 \quad \text{m s}^{-1}$$

Para *RT* a 90%, calcula-se o tempo de revolução e a lâmina correspondente:

$$t_{rev90} = \frac{2 \cdot \pi \cdot R_{UT}}{v_{90}} \quad \therefore \quad t_{rev90} = \frac{2 \cdot \pi \cdot (395{,}93 - 9)}{159{,}30} \quad \therefore \quad t_{rev90} = 15{,}26 \text{ h}$$

$$h_{90} = \frac{t_{rev90} \cdot Q_b}{10 \cdot A_b} \quad \therefore \quad h_{100} = \frac{15{,}26 \cdot 161{,}19}{10 \cdot 49{,}25} \quad \therefore \quad h_{90} = 5{,}0 \quad \text{mm}$$

Podemos, sucessivamente, elaborar uma planilha de manejo (conforme segue abaixo), ou ainda mais detalhada para várias regulagens:

Regulagem do RT	v_i (m h^{-1})	t_{revi} (h)	h_i (h)
100	177	13,74	4,50
90	159,3	15,26	5,00
80	141,6	17,17	5,62
70	123,9	19,62	6,42
60	106,2	22,89	7,49
50	88,5	27,47	8,99
40	70,8	34,34	11,24
30	53,1	45,78	14,99
20	35,4	68,68	22,48
10	17,7	137,35	44,96

Pela planilha acima, observamos que, para aplicarmos uma lâmina de 7,5 mm, deveremos regular o RT a 60%.

Em função das características de condutividade hidráulica do solo, pode-se optar por ajustar o relê percentímetro de tal forma em que, neste ajuste, a água seja aplicada a uma intensidade que não seja capaz de provocar escamento superficial e, desta forma, não reduze a eficiência de irrigação e nem ocasione perdas de produção em determinados locais da área irrigada. Desta forma, a intensidade de aplicação deve ser menor, no máximo igual, à velocidade de infiltração de água no solo.

Para tal, além da planilha de manejo da irrigação, basta conhecermos a largura do padrão molhado (em metros), a equação de infiltração de água no solo (em função do tempo) e a velocidade de infiltração básica (*VIB*, mm h^{-1}) do solo, que é aquela na qual a condutividade é máxima, praticamente. Maiores detalhes sobre os modelos de infiltração mais utilizados podem ser encontrados em Libardi (2005).

7 APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES FOLIARES

Quando o objetivo é aplicar fertilizantes foliares (o alvo não é mais o solo), o sucesso da utilização da técnica de aplicação dos mesmos através do pivô será dependente também de outros fatores, o que torna a técnica um caso particular. Isso ocorre porque o volume de calda que "cabe" dentro de todas as folhas do pasto é muito menor do que aquele que sai dos emissores do pivô, mesmo estando o pivô se deslocando em sua máxima velocidade, conforme a regulagem no relê percentímetro (*RT* = 100%).

Retomando os exemplos colocados em itens anteriores, assumiremos que um pivô aplique uma lâmina mínima de irrisórios 4 mm, quando *RT* = 100%. Desta forma, se um pivô aplica essa lâmina, ou seja, 40000 litros por hectare, e a quantidade que "cabe" em 1 hectare de folhas é de apenas 1500 litros (ordem de grandeza), uma quantidade equivalente a 38500 litros estará sendo escorrida para o solo, em cada hectare, fazendo com que o objetivo final (a adubação foliar) não seja atendido de forma eficaz, já que, nos 1500 litros que "ficaram" nas folhas, estarão uma quantidade ínfima de soluto, devido à manutenção da baixa concentração inicial dos 40000 litros.

Obviamente, caso se queira obter a concentração desejada na água que sai nos emissores do pivô, uma quantidade muito grande de fertilizante deverá ser injetada, o que tornará o processo inviável, seja pela quantidade, seja pelo próprio preço dos adubos foliares, que geralmente apresentam valores unitários não muito baixos.

A propósito, o volume máximo de calda armazenável V_{arm} ,litros / ha) pela parte aérea da vegetação pode ser dado pela seguinte expressão;

$$V_{arm} = 10^4 \cdot IAF \cdot h_{arm}$$

em que *IAF* se refere ao índice de área foliar do pasto (m^2 folha / m^2 solo); e h_{arm} à lâmina equivalente "armazenável" na folha (eventual ordem de grandeza: = 0,025 litros de água / m^2 folha), valor o qual depende da arquitetura do dossel, da natureza hidrofóbica das folhas e da propriedade da calda a ser aplicada. A ordem de grandeza de ambos os atributos deve constantemente ser informada pela pesquisa, para os diferentes subperíodos do desenvolvimento relativo da pastagem.

A adição de adjuvantes químicos muitas vezes é necessária no intuito de maximizar a quantidade de princípio ativo no alvo devido à diminuição da tensão superficial do solvente (o que é conseqüência do aumento da força de adesão entre o solvente e a superfície do alvo folha).

Em síntese, o sistema de barra acoplada (Figura 15, Figura 16, Figura 17) ao pivô tem por finalidade adequar o volume de calda a ser aplicado, de tal forma que a quantidade de um certo nutriente venha a suprir o alvo folha. Para tal, o sistema requer um dimensionamento hidráulico específico, o qual é feito para cada equipamento de pivô central.

Para a adequação de vazão, torna-se necessário corrigir o volume a ser aplicado pelo tempo de funcionamento de cada torre, o qual pode ser controlado através de válvulas solenóides, instaladas em cada torre do pivô. Dessa forma, ter-se-á a aplicação de calda apenas quando o moto-redutor da respectiva torre estiver em pleno funcionamento.

Como principais desvantagens do sistema, cita-se: i) o elevado número de emissores (Figura 15); ii) aumento no risco de entupimentos freqüentes; iii) desnivelamento entre os emissores, o que é provocado pelo envergamento (Figura 16) da barra acoplada em função de o vão entre as torres ser relativamente grande para a barra, mesmo com a presença de balancins ao longo do vão; iv) ociosidade do acessório no pivô, principalmente em pastagens, as quais representam sistemas que, na prática, requerem pouca aplicação de fertilizantes micronutrientes e/ou de outros insumos que possam ser aplicados através do sistema; e v) falta de mão-de-obra especializada e de conhecimento técnico difundido em relação ao equipamento.

Também, em condições especiais onde os solos apresentam origem geológica montmorilonítica ou orgânica (de difícil existência no Brasil), de difícil tráfego de tratores, nos quais inclusive é comum a ocorrência de deficiência de alguns micronutrientes em função das características intrínsecas deste solo; e/ou ainda para locais onde é comum a ocorrência de outras anomalias e/ou onde não se dispõe de aviação agrícola nas proximidades da propriedade, pode-se estudar perfeitamente a possibilidade de adoção do sistema de barra acoplada.

Contudo, abordando a cultura do feijão, Dourado Neto e Fancelli (2000) salientam que o sistema de barra acoplada, a exemplo do sistema NOTLIADA, apresenta relativo baixo custo e pode ser viabilizado economicamente em uma única safra, em função da potência requerida do conjunto motobomba. O dimensionamento e a caracterização do sistema de barra acoplada podem ser mais bem detalhados na recomendável leitura da Tese de Vilela (2002)

Quanto aos micronutrientes, eles podem ser repostos em casos específicos e intensivos. Seus efeitos benéficos para as leguminosas forrageiras são bem documentados, mas existem poucos trabalhos de pesquisa envolvendo as gramíneas tropicais. Em geral, as extrações são pequenas e poucos casos de resposta têm sido relatados em trabalhos de campo no Brasil. As recomendações de micronutrientes têm focalizado principalmente o caso do zinco (Zn), que é considerado o mais limitante nos solos brasileiros. Entretanto, em sistemas intensivos, pode-se trabalhar com adubações foliares visando manter os teores de micronutrientes sempre acima dos críticos (na folha), os quais deveriam ser melhor conhecidos para a aferição de manejo.

Novamente, todos os nutrientes devem estar em quantidades equilibradas e satisfatórias no solo e na planta; sendo que há também as concentrações consideradas excessivas, principalmente porque a referência é o binômio planta e micronutrientes. As concentrações de um determinado elemento, no caso de análises foliares, nos fornece sempre uma aferição de manejo, a qual subsidia intervalos de segurança para a aplicação prática. Como exemplo da magnitude da concentração dos diversos nutrientes nas folhas, Silveira (2003) sugere, para trabalhando com *Brachiaria decumbens*, intervalos ótimos para cada um dos elementos (Tabela 8). A propósito, sistemas intensificados de produção de forrageiras podem adotar critérios como o proposto, no que diz respeito ao monitoramento da nutrição adequada das plantas, bastando apenas que se tenha os valores correspondentes às tais forrageiras.

Nutriente	Deficiente	Ótimo	Excessivo
N (g kg^{-1})	< 15	15 a 20	> 35,5
P (g kg^{-1})	< 1	1 a 1,5	> 2,3
K (g kg^{-1})	< 15	15 a 25	> 35
Ca (g kg^{-1})	< 2,5	3 a 6	> 9
Mg (g kg^{-1})	< 2	2 a 5	> 6
S (g kg^{-1})	< 0,8	0,8 a 1,6	> 3,2
Cu (mg kg^{-1})	< 2	2 a 6	> 10
Fe (mg kg^{-1})	< 25	30 a 50	> 250
Mn (mg kg^{-1})	< 25	30 a 50	> 65
Zn (mg kg^{-1})	< 13	20 a 30	> 40

Fonte: Silveira (2003)

Embora a aplicação foliar (genericamente denominada "quimigação", principalmente quando visa a aplicação de herbicidas, inseticidas ou fungicidas, via pivô) seja limitada pelo próprio volume de calda que o sistema opera, que é muito maior que aquele capaz de ser retido pela população de plantas na pastagem, essa parece ser válida apenas para os casos em que os produtos aplicados apresentem solubilidade em água, mas não para os produtos lipofílicos (WAUCHOPE et al., 1991).

Em sua Dissertação de Mestrado, Schmidt (2003) aborda com propriedade a questão da quimigação, a qual pode ser feita, segundo o mesmo autor, quando: i) injeta-se uma suspensão de uma formulação do tipo concentrado emulsionável (CE); ii) suspende-se uma formulação CE em um pequeno volume de água, o qual é injetado ou sifonado no sistema; iii) injeta-se o pesticida puro (conforme sua formulação original); ou iv) dilui-se a formulação CE pura ou suspende-se o produto técnico em um óleo, sem a adição de surfactante, que então é injetado no sistema.

Apenas para registro, a aplicação de micronutrientes pode ser feita também via aérea.

Figura 15 - *O sistema de barras acopladas visa adequar o volume de calda, a fim de que não haja desperdício e/ou ineficiência de aplicação de um fertilizante foliar*

Figura 16 - *Sistema de barra acoplada ao pivô*

Figura 17 - *Em detalhe, exemplificação dos bicos do sistema de barra acoplada*

8 SALINIDADE E SODICIDADE

A salinização é o processo de acúmulo de sais no solo, enquanto que a salinidade diz respeito ao efeito deletério desse acúmulo à cultura de interesse, que neste caso são as pastagens. A sodicidade é o efeito de uma quantidade excessiva de sódio trocável sobre a permeabilidade do solo, sobre a deterioração da estrutura do solo, e sobre as plantas sensíveis (toxicidade).

Existe grande possibilidade (risco) de salinização quando a evapotranspiração da pastagem ao longo do ano é bem maior do que a infiltração de água no solo. Isso ocorre porque, no balanço final de sais no solo, a quantidade que entra destes sais acaba sendo maior que a quantidade que sai.

Logo, para que não haja acúmulo, uma certa quantidade de sais deve ser anualmente lixiviada. Como causas específicas, pode-se também mencionar que existe risco em função de:

i) Qualidade de água;
ii) Solos rasos (litossolos, por exemplo);
iii) Impedimento físico à infiltração (considera-se assim quando a condutividade hidráulica subsuperficial for menor que 10 vezes a condutividade hidráulica superficial);
iv) Área plana;
v) Declividade inferior a 2% (solos suavemente ondulados);
vi) Localização da área (áreas próximas aos drenos naturais apresentam maior risco);
vii) Profundidade do lençol freático;
viii) Existência de drenos em suficiência, e posicionados de maneira correta;
ix) Limpeza de drenos;
x) Baixa CTC (possibilidades de salinização em 3 anos) e baixa matéria orgânica do solo;
xi) Diferença de nível entre a área irrigada e o dreno natural;
xii) Distribuição de chuvas;
xiii) Manejo da água nas áreas adjacentes;
xiv) Manejo da água nas áreas irrigadas;
xv) Manejo dos fertilizantes;
xvi) Sistema de produção;
xvii) Material de origem do solo; e
xviii) Manejo da reserva legal.

Pode-se avaliar a salinidade através da condutividade elétrica (CE_e) do extrato de saturação do solo, pois esse atributo apresenta uma relação linear com a molaridade dos sais no solo. Logo, a CE_e é uma medida indireta da molaridade, e é mais barata e de fácil manuseio.

Como prevenção, recomenda-se para os locais propensos o acompanhamento da evolução da condutividade elétrica do estrato de saturação a 10 cm de profundidade, em intervalos de leitura a cada 6 meses (no máximo a cada 1 ano).

Segundo Dovrat (1993), diversas espécies forrageiras são relativamente mais resistentes à salinidade que algumas culturas alimentícias, e podem remover quantidades significantes de sais por absorção sem que haja perdas significativas de produção. Por esse motivo, podem muitas vezes assumir um papel essencial como alternativa a solos em vias de salinização.

Dependente de água e de drenagem, a necessidade de gessagem (Ng_d, kg / ha – de gesso aplicado) necessária à dessodificação pode ser assim expressa:

$$Ng_d = \frac{40 \cdot (Na_a - Na_d) \cdot \rho \cdot Z}{T_{Ca_g} \cdot Ef}$$

em que Na_a se refere ao teor de sódio atual (meq Na^+ / meq CTC); Na_d ao teor de sódio desejado (meq Na^+ / meq CTC); ρ à densidade do solo (g / cm^3); Z à profundidade (cm) de correção; T_{Ca_g} ao teor de cálcio (kg de Ca^{2+} / kg calcário reativo) no gesso utilizado; e Ef à eficiência do gesso condicionador (kg calcário reativo / kg gesso aplicado).

A questão da salinização e da sodificação são muito mais inerentes à localização geográfica da propriedade onde está instalada o pivô do que ao próprio processo de irrigação. Em algumas regiões do Nordeste Brasileiro, por exemplo, observamos um regime hídrico desfavorável para as altas demandas de evapotranspiração existentes (o que é decorrente das elevadas temperaturas existentes), sendo necessário proceder com eventos de irrigação. Ora, como a água de irrigação não é pura, existirá uma tendência de "entrar" mais sais no sistema do solo do que "sair", já que a vegetação evapotranspira água "pura". Como, neste caso, as chuvas são insatisfatórias, os sais não serão lixiviados e tenderão a permanecer na zona radicular, caracterizando então o processo de salinização. Procuramos aqui abordá-lo em linhas gerais, embora possa ser estudado como um capítulo a parte, existindo para tanto inúmeras literaturas mais aprofundadas no assunto.

9 VIABILIDADE DA APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES VIA PIVÔ CENTRAL

Este certamente é o alicerce principal da tomada de decisão sobre a adoção ou não de sistemas de irrigação e de fertilizantes. Como o momento econômico e as situações particulares são extremamente variáveis, cabe aqui não exemplificar numericamente a viabilidade da fertigação, mas sim quais aspectos devem ser considerados nesta análise. É sempre fundamental que os índices zootécnicos e fitotécnicos atribuídos sejam conservadores e bem conhecidos por quem o elabora, no intuito de minimizar frustrações posteriores.

Primeiramente, o fator "tempo" deve ser obrigatoriamente considerado neste tipo de análise, pois o aumento deste tempo carrega consigo um aumento no custo operacional, no custo fixo e no custo financeiro (juros) do sistema de produção; tudo isso acarretando em diminuição na rentabilidade sobre o patrimônio (que deve ser o responsável por gerar os lucros). Isso se torna mais agravante ainda quando consideramos o fator "terra", neste patrimônio.

O aumento do fator "tempo" é resultante principalmente do aumento na idade de abate dos animais, do aumento da idade da primeira parição e do intervalo médio entre duas parições de um lote de vacas (pois isso irá gerar, por ano, um menor número de bezerros vendidos ou destinados às etapas seguintes). Mensalmente, uma mesma rês não custa apenas suas vacinas e seus suplementos consumidos, mas também o custo mensal do pasto (pode-se considerar, para efeitos de cálculo, o custo do arrendamento da terra na região), o custo mensal diluído da mão-de-obra, dos impostos e dos fatores administrativos intrínsecos. O custo fixo é o que mais onera, pois tratores, cercas, currais, cochos e sistemas de irrigação, além de contabilizarem um valor nominal alto na engrenagem principal (o patrimônio), geram um custo financeiro também alto.

Seria uma demagogia de técnicos e produtores se o assunto não fosse tratado dessa maneira, mesmo diante do conhecimento do baixo risco que a pecuária oferece, em relação às outras atividades. Ressaltando a importância econômica da irrigação, se um lote de animais está quase pronto para o abate, mas está entrando na estação das secas em um pasto sem irrigação, esse lote corre o risco, se não for corretamente manejado e suplementado, de passar o período seco (que pode ser de 6 meses, em algumas regiões) com paralisação ou queda de peso, e voltar a ganhar peso e estar pronto somente a partir de meados das águas seguintes. Nesse período, o lote custou toda a infra-estrutura da fazenda, a mão-de-obra, o pasto, e seu próprio custo operacional e financeiro. Mas, por outro lado, se a boiada fosse abatida no final da estação seca, ela poderia livrar o pasto para novos bezerros de compra, que entrariam ganhando "era" ao longo de toda a estação das águas (que é o período que melhor otimiza o custo por arroba produzida).

Quanto ao fator "terras", pode-se eliminá-lo da planilha de custos, mas é sempre recomendável que isso seja visualizado como uma possibilidade de compra e venda das mesmas, ou seja; anualmente, pode-se assumir que, para estar produzindo uma certa quantidade de carnes ou bezerros, deve-se simular uma "compra" das terras as quais realmente se possui e, no final da análise (do ano pecuário), deve-se simular sua "venda", ambas as simulações baseadas no valor de mercado dessas terras, nos respectivos momentos. É interessante se proceder dessa maneira porque, normalmente, a valorização das terras, em boa parte do Brasil, supera boa parte das atividades econômicas, em termos de rentabilidade anual. Mesmo sem considerar esse fator, é comum em pecuária que um patrimônio de 5 milhões venha a gerar, por ano, um faturamento bruto de 1 milhão. Em outras atividades, é comum um patrimônio de 1 milhão gerar um faturamento de 5 milhões (porém, com custos relativos e riscos bem mais altos).

Diante do exposto, a irrigação (associada à adubação e ao correto manejo da desfolha) entra como ferramenta para trazer incrementos na produção animal através da melhoria na produção e utilização do pasto, em função do tempo, pois é um instrumento fundamental no aumento da capacidade de suporte das pastagens e na redução do fator "tempo" de rebrota, um fator muitas vezes inadequadamente considerado (ou nem considerado). Aliás, esse fator está associado à taxa de desconto estipulada para projeto. Se o propósito é viabilizá-lo no menor tempo possível, essa taxa deve ser bem mais elevada do que a taxa de juros vigente. Por outro lado, se o projeto é para ser viabilizado a longo prazo, a taxa de desconto pode ser levemente superior à taxa de juros em vigência (Barros et al., 2003). Para fins comparativos práticos, a fertigação pode ser analisada em relação à aplicação via trator ou à não aplicação de fertilizantes (pela estimativas de perda de produção); ou seja, mantendo-se os outros fatores de produção constantes, deveremos obter a relação benefício / custo em cada situação.

Em suma, se a atividade pecuária é encarada como uma "poupança", onde se verifica um *input* de dinheiro proveniente de outras atividades, ela pode ser benéfica no que diz respeito ao aumento patrimonial de uma empresa ou pessoa física, principalmente devido à valorização das terras e do aumento do rebanho. Entretanto, se o objetivo é encará-la como um patrimônio gerador de lucros *per se*, essa atividade deve ser claramente discutida como uma empresa qualquer, indo residir, devido à atual conjuntura, na economia de escala e nas eficiências de produção (índices fitotécnicos e zootécnicos) e de negociação (de animais, insumos, etc.).

10 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presença do agente desfolhante faz com que o agroecossistema de pastagens (cultura perene) seja um ambiente extremamente dinâmico. As práticas de irrigação, associadas ao uso conjugado ou não de fertilizantes, não devem ser encaradas como os principais determinantes do sucesso em sistemas de produção animal. O manejo da desfolha (via máquina ou animal – momento de entrada e de saída) são os aspectos mais importantes para se obter forragem com boa quantidade e qualidade, ao longo do tempo (nos sucessivos ciclos de desfolha). Contudo, o correto uso dos insumos (água e fertilizantes) deve ser rigorosamente seguido com critérios, haja visto o espaço significativo que ocupam na planilha de custos fixo e operacional do pecuarista tecnificado.

A pecuária de corte nacional (rebanhos comerciais) é caracterizada por alta robustez e baixo risco, embora ela seja também caracterizada pela baixa rentabilidade ao ano, o que é reflexo principalmente do índice de desfrute da fazenda (demora-se, na prática, no mínimo em torno de 2 anos para abater qualquer boi a pasto) e da valorização do preço das terras (mesmo se estas não forem contabilizadas no cálculo). Portanto, nota-se que, se o negócio for produzir carne em quantidade e tempo adequados (e não simplesmente comprar terras, desmatar sem critérios, e vendê-las por um preço melhor), a pecuária deve ser tão exigente quanto qualquer atividade empresarial agrícola e agroindustrial, em termos de administração financeira e de mentalidade.

Os conhecimentos da prática e da teoria sobre os diversos atributos do ambiente agropastoril devem se complementar para formar o binômio norteador de gerenciamento e de manejo na pecuária, em um determinado momento econômico, e não devem, em hipótese alguma, serem desprezados. Sempre que possível, deve-se consultar um profissional especializado no assunto, principalmente por aquele que compreenda, de forma clara e detalhada, as componentes "produção e utilização vegetal" do agroecossistema pastoril em questão, pois um dos principais gargalos do segmento reside justamente no fato de haver, quase sempre, condições sub-ótimas de produção e de utilização de biomassa das pastagens.

É dessa compreensão que virá todo o subsídio para as tomadas de decisão sobre qual, quando e como utilizar a técnica de irrigação juntamente à adubação de pastagens. A produção vegetal é a arte de colher o sol (o recurso mais barato e abundante) em forma de planta, pois o sol é praticamente o único responsável pelo fornecimento de energia a todos os processos desencadeados no planeta, inclusive na produção de proteína animal de alto valor biológico.

AGRADECIMENTOS

À Fundação Agrisus pelo fomento às pesquisas voltadas às técnicas aplicáveis ao produtor rural e pelo incentivo à agropecuária racional, lucrativa e socialmente justa.

REFERÊNCIAS

ALCARDE, J.C. Controle de qualidade de fertilizantes fluidos. In: VITTI, G.C.; BOARETTO, A.E. (Coord.). **Fertilizantes fluidos**. Piracicaba: POTAFOS, 1994. p. 141-162.

ALLEN, R.G.; JENSEN, M.E.; WRIGHT, J.L.; BURMAN, R.D. Operational estimates of reference evapotranspiration. **Agronomy Journal**, Madison, v. 81, p. 650-662, 1989.

BARROS, A.L.M.; ZIMMERMMANN, A.; SOUZA, C.R.S.; ICHIHARA, S.M. Considerações acerca da avaliação de projetos de investimento. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 20., 2003, Piracicaba. **Anais ...** Piracicaba: FEALQ, 2003. p. 301-326.

CANTARELLA, H.; CORRÊA, L.A.; PRIMAVESI, O.; PRIMAVESI, A.C. Fertilidade do solo em sistemas intensivos de manejo de pastagens. In: SIMPOSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 17., 2002, Piracicaba. **Anais ...** Piracicaba, FEALQ, 2002. p. 99-133.

DETOMINI, E.R.; DOURADO NETO, D. **Estabelecimento de pastagens.** Piracicaba: ESALQ, DIBD, 2004. 53 p. (Série Produtor Rural, 24).

DETOMINI, E.R.; DOURADO NETO, D. Modelo de adubação nitrogenada aplicável para rebrotas submetidas a desfolha sob lotação intermitente. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 42., 2005, Goiânia. **Anais ...** Goiânia: SBZ, 2005. 1 CD-ROM.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Trad. de H. Gheyi. Campina Grande: UFPB, 1994. 306 p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33).

DOURADO NETO, D.; FANCELLI, A.L. **Produção de feijão**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 385 p.

DOURADO NETO, D.; FANCELLI, A.L.; MÜLLER, M.S. Manejo da irrigação de pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 19., 2002, Piracicaba. **Anais ...** Piracicaba: FEALQ, 2002. p. 189-216.

DOVRAT, A. **Irrigated forage production**. Amsterdam: Elsevier, 1993. 257 p. (Developments in Crop Science, 24).

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Tecnologia para produção do feijão irrigado.** Piracicaba: FEALQ, 1997. 158 p.

FRIZZONE, J.A.; BOTREL, T.A. Aplicação de fertilizantes via água de irrigação. In: VITTI, G.C.; BOARETTO, A.E. (Coord.). **Fertilizantes fluidos.** Piracicaba: POTAFOS, 1994. p. 227-260.

HODGSON, J. **Grazing management**: science into practice. Essex: Longman Scientific & Technical, 1990. 200 p.

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo.** Piracicaba: O autor, 2000. 327 p.

LOOMIS, R.S.; CONNOR, D.J. **Crop ecology:** productivity and management in agricultural systems. Cambridge: Cambridge University Press, 1996. 538 p.

NABINGER, C. Manejo da desfolha. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 19., 2002, Piracicaba. **Anais ...** Piracicaba: FEALQ, 2002. p. 133-158.

PARSONS, A.J. The effects of season and management on the growth of grass swards. In: JONES, M.B.; LAZENBY, A. (Ed.). **The grass crop.** London: Chapman and Hall, 1988. p. 129-177.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia**: fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

RAVEN, P.H.; EVERT, R.F.; EICHHORN, E.S. **Biology of plants**. New York: W. H. Freeman, 1999. 906 p.

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera**: conceitos, processos e aplicações. Santa Maria: Manole, 2004. 478 p.

RIJTEMA, P.E.; ABOUKHALED, A. Crop water use. In: FAO. **Research on crop water use, salt affected soils and drainage in the Arab Republic of Egypt.** Rome: FAO, Regional Office for the Near East, 1975. p. 1-70.

RODRIGUES, L.R.A.; REIS, R.A. Conceituação e modalidades de sistemas intensivos de pastejo rotacionado. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 14., 1997, Piracicaba. **Anais ...** Piracicaba: FEALQ, 1997. p. 1-24.

SANTOS, J.Q. **Fertilizantes**: fundamentos e aspectos práticos da sua aplicação. Porto: Europa – América, 1983. 243 p.

SCHMIDT, W. **Uso de óleos sem surfactantes na aplicação de clorpirifós via insetigação na cultura de milho.** 2003. 116 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

SILVEIRA, C.P. **DRIS para a forrageira *Brachiaria decumbens***. Relatório final de atividades do Estágio Profissionalizante em Engenharia Agronômica (Graduação) – Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2000. 60 p.

THORNLEY, J.H.M. **Grassland dynamics**: an ecosystem simulation model. Wallingford: CAB International, 1998. 241 p.

VAN GENUCHTEN, M.Th. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, p. 892-898, 1980.

VILELA, L.A.A. **Metodologia para dimensionamento de um sistema de pulverização acoplável a pivô central.** 2002. 127 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

VITTI, G.C.; LUZ, P.H.C. Calagem e uso do gesso agrícola em pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMA DE PASTAGENS, 3., Jaboticabal, 1997. **Anais**. Jaboticabal: UNESP, FCAV, 1997. p. 63-111.

VITTI, G.C.; BOARETTO, A.E.; PENTEADO, S.R. Fertilizantes e fertirrigação. In: VITTI, G.C.; BOARETTO, A.E. (Coord.). **Fertilizantes fluidos**. Piracicaba: POTAFOS, 1994. p. 261-282.

WHITEHEAD, D.C. **Grassland nitrogen**. Wallingford: CAB International, 1996. 416 p.

WALCHOPE, R.D.; YOUNG, J.R.; CHALFANT, R.B.; et al. Deposition, mobility and persistence of sprinkler irrigation applied chlorpyrifos on corn foliage and in soil. **Pesticide Science**, London, v. 32, p. 235-243, 1991.

Anexo A - Compatibilidade de mistura de fertilizantes

	Sulfato de amônio	Nitrato de sódio e de potássio	Nitrocálcio	Nitrato de amônio	Uréia	Cianamida cálcica	Superfosfatos	Fosfato de amônio	Fosfato bicálcico	Farinha de ossos	Escória de Thomas	Fosfatos naturais	Cloreto de potássio	Sulfato de potássio
Sulfato de amônio						X					X			
Nitrato de sódio e de potássio														
Nitrocálcio						X	0	0			X			
Nitrato de amônio						X					X			
Uréia						X	0				0			
Cianamida cálcica	X		X	X	X		X	X	X					
Superfosfatos			0		0	X					X			
Fosfato de amônio			0			X					X	0		
Fosfato bicálcico						X					0			
Farinha de ossos														
Escória de Thomas	X		X	X	0		X	X	0					
Fosfatos naturais								0						
Cloreto de potássio														
Sulfato de potássio														
Calcário	X		X	X	0		X	X	X					

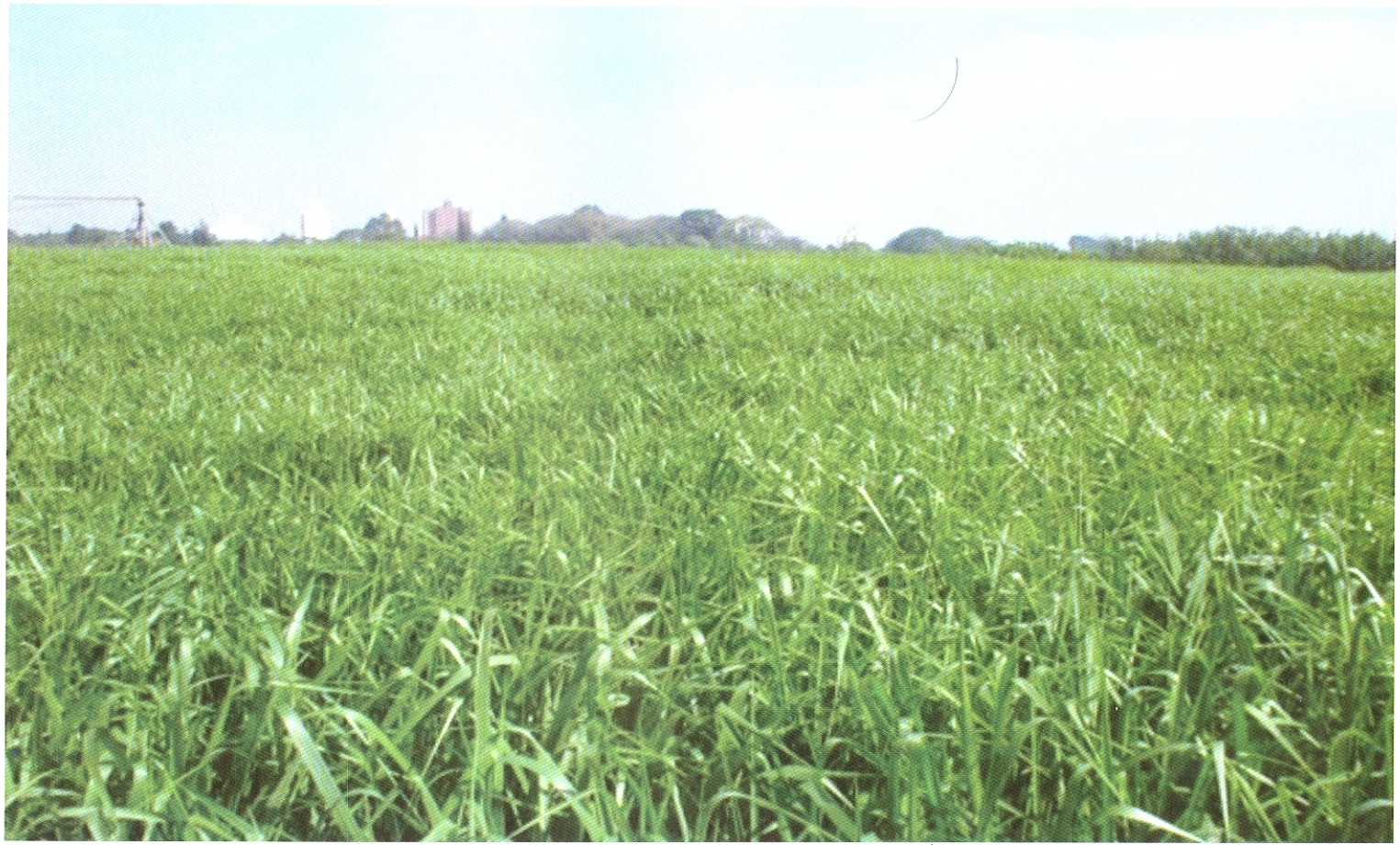
Células em branco: adubos que podem ser misturados
0: adubos que podem ser misturados, desde que pouco antes da aplicação
X: adubos que não podem ser misturados

Fontes: Santos (1983); Frizzone e Botrel (1994)

Anexo B - Solubilidade (g / litro) dos principais fertilizantes sólidos

Fertilizante	Temperatura da água (ºC)								
	0	5	10	15	20	25	30	35	40
Sulfato de amônio	700	-	730	-	760	770	780	-	810
Sulfato de magnésio	180	-	220	-	252	-	280	-	308
Sulfato de potássio	70	-	90	100	110	120	130	140	150
Sulfato de manganês	1050	-	-	-	-	-	-	-	-
Sulfato de zinco	750	-	-	-	-	-	-	-	-
Uréia + nitrato de amônio	-	-	-	-	200	230	260	270	310
Uréia	670	780	840	-	1050	1200	1330	-	1660
Nitrato de amônio	1180	-	1580	-	1950	-	2420	-	2970
Nitrato de cálcio	1020	-	-	-	-	-	-	-	-
Nitrato de potássio	130	170	210	240	320	370	460	540	640
Nitrato de magnésio	-	680	690	700	710	770	-	-	-
Fosfato de diamônio	300	-	386	-	408	-	429	-	450
Fosfato monoamônio	227	-	295	-	374	-	464	-	567
Superfosfato simples	20	-	-	-	-	-	-	-	-
Super triplo	40	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Schever (s.d.)[1], citado por Vitti et al. (1994)

[1] SCHEVER, D.
Problemas numéricos de fertiriego, con soluciones. Ministerio da Agricultura de Israel, CINADEO, s/d. 4 p.

ANEXO C - Pastagem já estabelecida, uniforme e com elevada população: um dos requisitos principais para altas produções