



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

ISSN 1517-3747

Novembro, 2004

Documentos 150

Forrageiras: Principais Fatores de Antiquidade

Vanessa de Fátima Jerba
Sérgio Raposo de Medeiros
Celso Dornelas Fernandes

Campo Grande, MS
2004

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Gado de Corte

Rodovia BR 262 Km 4, CEP 79002-970 Campo Grande, MS

Caixa Postal 154

Fone: (67) 368 2064

Fax: (67) 368 2180

<http://www.cnpgc.embrapa.br>

E-mail: sac@cnpgc.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: *Ivo Martins Cezar*

Secretário-Executivo: *Mariana de Aragão Pereira*

Membros: *Antonio do Nascimento Rosa, Arnildo Pott, Cacilda Borges do Valle, Ecila Carolina Nunes Zampieri Lima, Lúcia Gatto, Maria Antonia Martins de Ulhôa Cintra, Mariana de Aragão Pereira, Rodiney de Arruda Mauro, Tênisson Waldow de Souza*

Supervisor editorial: *Ecila Carolina Nunes Zampieri Lima*

Revisor de texto: *Lúcia Helena Paula do Canto*

Normalização bibliográfica: *Maria Antonia M. de Ulhôa Cintra*

Fotos da capa: *Josimar Lima do Nascimento*

Capa: *Paulo Roberto Duarte Paes*

Editoração eletrônica: *Ecila Carolina Nunes Zampieri Lima*

1ª edição

1ª impressão (2004): 500 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

CIP-Brasil. Catalogação-na-publicação.

Embrapa Gado de Corte.

Jerba, Vanessa de Fátima.

Forrageiras: principais fatores de antiquidade / Vanessa de Fátima Jerba, Sérgio Raposo de Medeiros, Celso Dornelas Fernandes. -- Campo Grande : Embrapa Gado de Corte, 2004.

38 p. ; 21 cm. -- (Documentos / Embrapa Gado de Corte, ISSN 1517-3747 ; 150)

ISBN 85-297-0186-0

1. Planta forrageira. 2. Valor nutritivo. 3. Qualidade. I. Medeiros, Sérgio Raposo de. II. Fernandes, Celso Dornelas. III. Embrapa Gado de Corte (Campo Grande, MS). IV. Título. V. Série.

CDD 633.2 (21. ed.)

© Embrapa 2004

Autores

Vanessa de Fátima Jerba

Bióloga, D.Sc., Pesquisador-Bolsista de Desenvolvimento Científico Regional – DCR –, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – / Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul – Fundect –, Embrapa Gado de Corte, Rodovia BR 262, Km 4, Caixa Postal 154, 79002-970 Campo Grande, MS. Correio eletrônico: vjerba@cnpqc.embrapa.br

Sérgio Raposo de Medeiros

Engenheiro-Agrônomo, D.Sc., CREA Nº 5060161868/SP, Embrapa Gado de Corte, Rodovia BR 262, Km 4, Caixa Postal 154, 79002-970 Campo Grande, MS. Correio eletrônico: sergio@cnpqc.embrapa.br

Celso Dornelas Fernandes

Engenheiro-Agrônomo, D.Sc., CREA Nº 2.583/D, Embrapa Gado de Corte, Rodovia BR 262, Km 4, Caixa Postal 154, 79002-970 Campo Grande, MS. Correio eletrônico: celsof@cnpqc.embrapa.br

Sumário

Resumo	7
Abstract	9
Introdução	10
Fatores de antiquidade de natureza química	12
Alcalóides	12
Compostos fenólicos	13
Cutina e suberina	15
Esteróides, saponinas e terpenóides	17
Fatores de antiquidade de natureza estrutural	18
Constituição química e estrutural da parede celular	18
Arquitetura tissular	21
Fibras e demais células lignificadas	25
Sílica e cristólitos	28
Aspectos aplicados de fatores de antiquidade	30
Perspectivas	33
Agradecimentos	34
Referências bibliográficas	34

Forrageiras: Principais Fatores de Antiquidade

*Vanessa de Fátima Jerba
Sérgio Raposo de Medeiros
Celso Dornelas Fernandes*

Resumo

A pecuária brasileira baseada em pastagens é uma das atividades econômicas mais importantes do Brasil, portanto são necessárias a manutenção e a ampliação de programas de melhoramento genético de forrageiras. Além de se observar o desempenho agrônômico do vegetal, é importante a determinação do seu valor nutritivo. Essa última característica é comumente determinada por análises bromatológicas, mas, no entanto, existem fatores que limitam a ingestão e a digestão das forragens que não são determinadas pelas análises convencionais, os quais são denominados de antiquidade ou antinutricionais, os quais prejudicam até mesmo a aceitabilidade da forragem pelos animais. Os fatores de antiquidade são de natureza química ou estrutural, podendo ser determinados em análises anatômicas e histoquímicas com facilidade. Os principais fatores químicos limitantes das forragens são os alcalóides, compostos fenólicos e substâncias terpênicas, enquanto que os estruturais são a arquitetura tissular, as células lignificadas e a sílica. O conhecimento dos fatores de antiquidade otimiza os programas de melhoramento genético, inferindo o valor nutritivo e o potencial forrageiro.

Termos para indexação: fatores antinutricionais, indigestibilidade, valor nutritivo.

Forages: Main Antiquality Factors

Abstract

Beef cattle production based on pastures is one of the most important economic activities in Brazil, hence it is very important the maintenance of high-quality programs of forages improvement. In addition to the plant agronomic performance it is very important to determinate their nutritive value. This last characteristic is determined by feed analysis, but the presence of other factors that are not usually determined by regular feed analysis and can limit intake and digestibility of the forages is very common. Those features are called anti-quality or anti-nutritional factors. These factors may even constrain the acceptance of forage by cattle. Anti-quality factors may be of chemical or structural nature. They can be easily determined by anatomical and histochemical analysis. The most restrictive chemical factors are alkaloids, phenols and terpenoids, while the most important structural factors are tissue architecture, lignified cells and silica. The determination of the types of anti-quality factors can contribute to genetic improvement programs, ameliorating the capacity to infer nutritive value and forage potential of the plant.

Index terms: *anti-nutritional factors, indigestibility, nutritive value.*

Introdução

Estima-se a área cultivada com pastagens em 45 a 50 milhões de hectares, somente na região dos Cerrados, sendo 55% desta área com *Brachiaria decumbens* e 20% com *B. brizantha* (Macedo, 1995). Entre as várias opções de melhoramento dessa região, como fonte de forragens para os animais, pode-se citar o uso de leguminosas, quer sejam consorciadas, ou como culturas puras, a serem utilizadas em épocas críticas do ano (Andrade, 1981).

A introdução de leguminosas em pastagens tem sido sugerida como alternativa para suprir ou minimizar a deficiência de N desses ecossistemas, aumentando a capacidade de suporte e longevidade, assim como a produtividade (Almeida et al., 2003a). Porém, o manejo de pastos consorciados é dificultado pelas características morfofisiológicas distintas de cada espécie (Almeida et al., 2003b).

A qualidade de uma forrageira é geralmente determinada por meio de análises químicas de seus caules e de suas folhas, as quais identificam grupos químicos que podem interferir na digestibilidade do vegetal no rúmen do animal. Alguns desses grupos são também denominados de metabólitos secundários, sendo possível destacar, dentre estes, os terpenóides, fenóis e compostos nitrogenados, por exemplo, os alcalóides (Taiz & Zeiger, 2004). Em geral, a lignina, formada por precursores fenólicos, é que, ao se ligar quimicamente com os carboidratos da parede celular, se constitui no principal obstáculo à digestão da fibra (Jung et al., 1997). Ocorre que, mesmo que algumas análises químicas indiquem boa digestibilidade da forragem, principalmente se considerar apenas o teor de lignina, ela pode não ter boa aceitação pelo gado, por apresentar estruturas e barreiras físicas que prejudicam sua degradação.

De acordo com Herrero et al. (2001), a força física necessária para a ingestão de forragens tem muita relação com o ganho de peso dos animais, pois plantas com baixa resistência à cisão permitem que o consumo voluntário seja atingido. Deve-se ter em mente que o consumo voluntário é determinado pela produção e não o contrário, ou seja, o animal ingere até satisfazer suas necessidades energéticas. Conforme Herrero et al. (2001), a força física relaciona-se com a composição química e estrutural da planta. Hughes et al. (2000) afirmam que é necessário investigar a resistência física do material em conjunto com o desempenho agrônomico e com análises químicas. De fato, a interação dessas variáveis

é que permitirá efetivos avanços de sua utilização na predição do potencial produtivo das forrageiras.

O valor nutritivo da forragem é definido pela sua degradabilidade ruminal, digestibilidade e composição química (Possenti & Valarini, 2004). É importante o conhecimento do real valor nutritivo da forragem ingerida, em condições de pastejo, o que expressa a seletividade dos animais, para maximizar a utilização do pasto como fonte de energia (Clipes et al., 2004). Esse valor nutricional pode ser prejudicado pela presença de algumas estruturas e compostos químicos presentes nas forragens.

As estruturas e compostos químicos que prejudicam a palatabilidade, a degradação e a digestibilidade das forragens são denominados de fatores de antiqualidade. De acordo com Matches et al. (1973), tais fatores podem ser compostos secundários ou alelopáticos, que protegem as plantas de ataques de patógenos e herbívoros, além de inibir a atividade fisiológica do animal ruminante. Esses autores citam ainda a importância da constituição estrutural da planta para a qualidade das forragens.

Para determinar o valor nutricional das forragens é importante o desenvolvimento de estudos multidisciplinares, que incluam desde ensaios de campo até análises químicas. O estudo anatômico de lâminas foliares de gramíneas forrageiras tem auxiliado na compreensão das diferenças qualitativas entre essas plantas, que algumas vezes não são detectáveis em análises químicas (Lempp et al., 2002), sendo possível classificar os tipos de fatores de antiqualidade por meio da anatomia e da histoquímica vegetal.

Os estudos realizados em microscopia de luz e eletrônica estabelecem diferenças no potencial de digestão dos diferentes tecidos, possibilitando a associação entre a proporção de tecidos e o valor nutritivo (Paciullo, 2002). Segundo Brito & Rodella (2001), as características anatômicas da planta podem fornecer uma série de indicações antecipadas sobre o seu potencial de digestibilidade e serem utilizadas como uma primeira aproximação para a caracterização da qualidade das forragens.

Neste trabalho tem-se como principal objetivo descrever os principais fatores de antiqualidade, estruturais e químicos, relacionando-os com a ingestão, degradabilidade e digestibilidade das forragens.

Fatores de antiquidade de natureza química

Alcalóides

O termo alcalóides é utilizado para designar compostos nitrogenados que apresentam nitrogênio ligado a anéis heterocíclicos, tendo a maioria desses compostos origem em aminoácidos alifáticos, por exemplo, a ornitina e a lisina, assim como em acetogeninas, terpenóides e esteróides (Barnes & Gustine, 1973).

De acordo com Van Soest (1994), os alcalóides causam toxicidade para o gado quando presentes em forrageiras, podendo-se destacar o caso de indolalquilimina em *Phalaris* spp., o grupo perlolina em *Festuca* spp. e mimosina em *Leucaena*. Além de causar toxicidade para os herbívoros e reduzir a palatabilidade, a ação desses alcalóides também pode prejudicar a ingestão e a digestibilidade das forragens, pois esses compostos têm ação antimicrobiana, afetando a atividade dos microorganismos do rúmen dos animais.

Taiz & Zeiger (2004) afirmam que na célula os alcalóides agem de modo muito variável, mas que interferem principalmente nos componentes do sistema nervoso, além de ter ação em transmissores químicos, transportadores de membrana, sintetizadores protéicos e complexos enzimáticos. Ainda de acordo com aqueles autores, alguns alcalóides específicos, como a lecitina, ligam-se aos carboidratos, formando complexos com as células epiteliais do trato digestivo dos herbívoros, interferindo na absorção de nutrientes. Além desses problemas de ordem celular, os animais com intoxicação por alcalóides tendem a apresentar falhas na coordenação motora, desordem no sistema nervoso central, fibrose ventricular, redução na produção de leite e até mesmo vir a óbito (Marten, 1973). Existem alcalóides que têm relação com deformações fetais e abortamento, sendo denominados de alcalóides teratogênicos (Barnes & Gustine, 1973).

Para otimizar o desempenho de rebanhos é ideal que seja investigada a presença desses compostos nas cultivares de forrageiras disponíveis. Tais compostos podem ser identificados por meio de análises laboratoriais histoquímicas em secções anatômicas (Fig. 1). Após a detecção desses compostos é necessária a investigação química para determinar os tipos de alcalóides presentes, utilizando a metodologia de Van Soest (1994).

Foto: Vanessa de Fátima Jerba

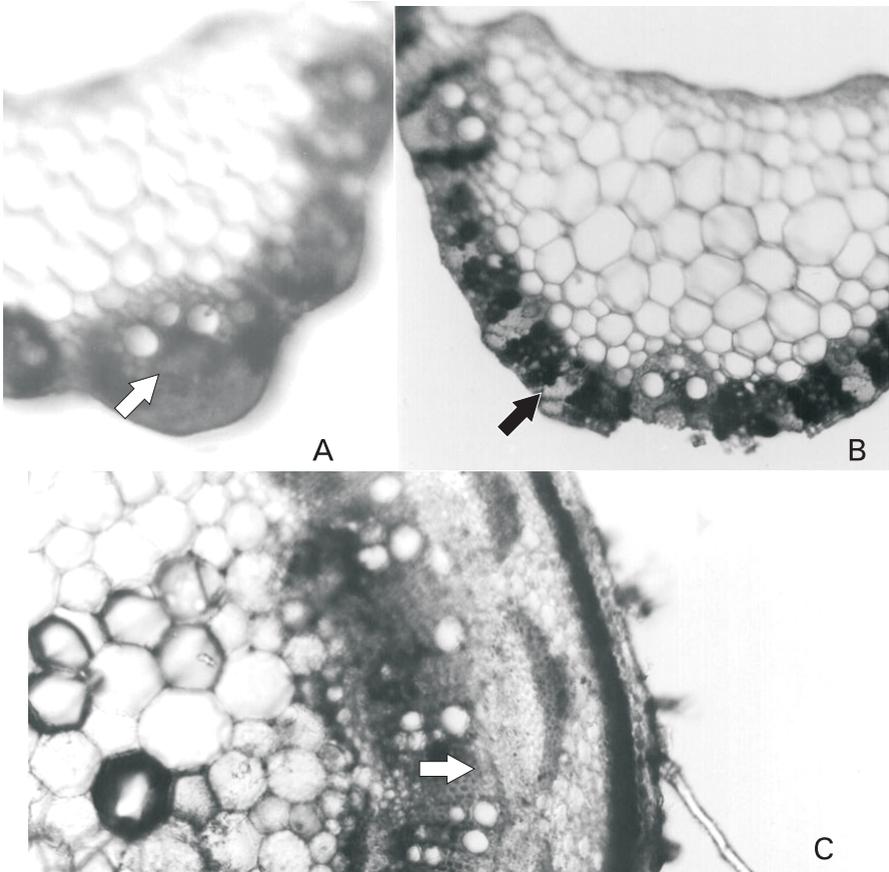


Fig. 1. Alcalóides (setas) identificados, por meio do teste histoquímico com Reagente de Wagner, em xilema e esclerênquima de folhas de *Brachiaria* (A) e *Panicum* (B), e em caule de *Stylosanthes capitata* (C).

Compostos fenólicos

Os fenóis, como também são designados os compostos fenólicos, compreendem os compostos químicos com grupo fenol agrupado a uma hidroxila funcional, servindo como defesa química contra patógenos e herbívoros (Taiz & Zeiger, 2004). São de modo geral derivados da fenilalanina, por exemplo, os fenilpropanóides (Barnes & Gustine, 1973). De acordo com Barry et al. (2001), os compostos fenólicos são os principais compostos secundários encontrados

nas plantas e podem ser classificados como monômeros, lignina, taninos condensados e hidrolisáveis, além dos flavonóides.

Existe grande variação química entre os compostos fenólicos, porém os mais importantes para estudos de fatores de antiqualidade são a lignina e o tanino (Taiz & Zeiger, 2004). A lignina tem função duplicada contra herbivoria, pois age quimicamente como bloqueio enzimático e fisicamente, proporciona rigidez à parede celular. É uma macromolécula formada por polímeros ramificados de fenilpropanóides, que tem origem no coniferil, comaril ou no álcool sinapil, que são sintetizados via fenilalanina (Taiz & Zeiger, 2004). Conforme Van Soest (1994), a lignina é o fator isolado mais limitante da digestibilidade de uma forragem. A indegradabilidade da fração fibrosa da forragem expressa como o resíduo em fibra detergente neutro, chega a ser estimada pela relação de menos 2,4 unidades percentuais de degradabilidade para cada unidade de lignina determinada pelo método de digestão com ácido sulfúrico (Fox et al., 2000).

Segundo Van Soest (1994) e Taiz & Zeiger (2004), os taninos podem ser condensados e hidrolisáveis. Ainda para esses autores, os taninos condensados são polimerizações de unidades de flavonóides, constituindo o lenho dos vegetais, enquanto que os taninos hidrolisáveis são polímeros heterogêneos de compostos fenólicos e açúcares.

A presença de taninos nas forrageiras não as torna tóxicas para o rebanho, porém pode prejudicar sua aceitabilidade pelos animais em função da concentração. Esses compostos formam facilmente pontes de hidrogênio com proteínas salivares (Taiz & Zeiger, 2004), prejudicando o paladar do animal. Taninos são grandes moléculas com vários grupamentos de hidroxila dos fenólicos, capazes de formar ligações cruzadas com proteínas, tanto as presentes na saliva, já comentadas, como da própria proteína dietética. Essa associação entre o tanino e a proteína diminui a degradabilidade ruminal, podendo torná-la indisponível (Van Soest, 1994). Além da precipitação de proteínas, os taninos inibem a ação das celulases ruminais e hidrolisam enzimas digestivas e podem interferir também com o próprio trato digestivo, como por exemplo causando irritação da mucosa (Van Soest, 1994).

Os taninos podem ainda apresentar funções benéficas à nutrição animal, pois de acordo com Barry et al. (2001) baixas concentrações de taninos em *Lolus carniculatus* aumentam a absorção de proteínas. Entretanto é difícil estabelecer a

concentração de tanino ideal para otimizar a nutrição animal, pois a concentração desses metabólitos varia de acordo com as condições climáticas, principalmente a temperatura e fertilidade do solo (Lascano et al., 2001).

Os fenóis estão presentes, geralmente, em células parenquimáticas, as quais são denominadas de idioblastos taniníferos. Carneiro & Rodella (2003) observaram a presença de idioblastos taniníferos no caule de *Adesmia latifolia*, enquanto que, em *Trifolium repens*, essas células se mostraram ausentes, confirmando-se, por meio da presença dos idioblastos, o menor valor nutritivo de *A. latifolia* em relação a *T. repens*.

A presença de compostos fenólicos nos vegetais pode ser investigada por meio de análises laboratoriais histoquímicas em secções anatômicas (Fig. 2). Após a detecção, a determinação das classes fenólicas é realizada por análises químicas (Van Soest, 1994).

Foto: Vanessa de Fátima Jerba

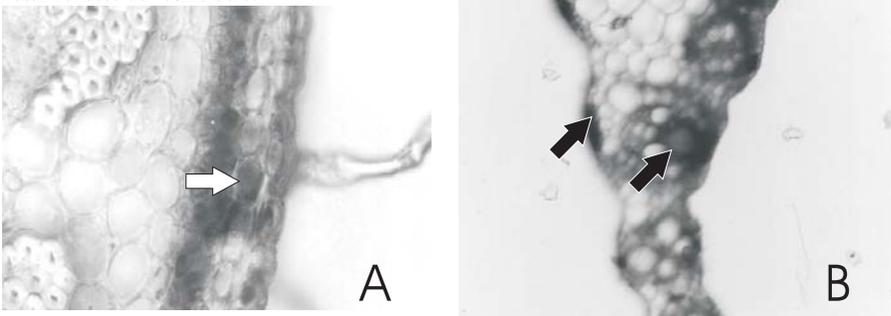


Fig. 2. Teste histoquímico com cloreto férrico a 10% em caules de *Stylosanthes guianensis* (A), identificando idioblastos taniníferos (seta) e com dicromato de potássio a 10% em folhas de *Brachiaria brizantha* (B), mostrando fenóis na parede e células xilemáticas e esclerenquimáticas (setas).

Cutina e suberina

A cutina é uma macromolécula lipídica, formada por longa cadeia de ácidos graxos, que está presente na composição da cutícula da planta em conjunto com ceras, formando uma barreira hidrofóbica (Taiz & Zeiger, 2004). A cutina é um composto indigesto e a cutícula é uma barreira física aos organismos do rúmen, prejudicando a digestão dos tecidos (Van Soest, 1994). Segundo Taiz & Zeiger (2004), as ceras epicuticulares não são macromoléculas, mas sim, polímeros

lipídicos, sintetizados na epiderme e exteriorizados através de poros até se solidificarem na superfície do vegetal (Fig. 3). Ainda de acordo com esses autores, a suberina é um composto pouco estudado, formado por lipídios e está presente na periderme de plantas arbóreas, em áreas de abscisão foliar e injúrias provocadas por patógenos e herbívoros.

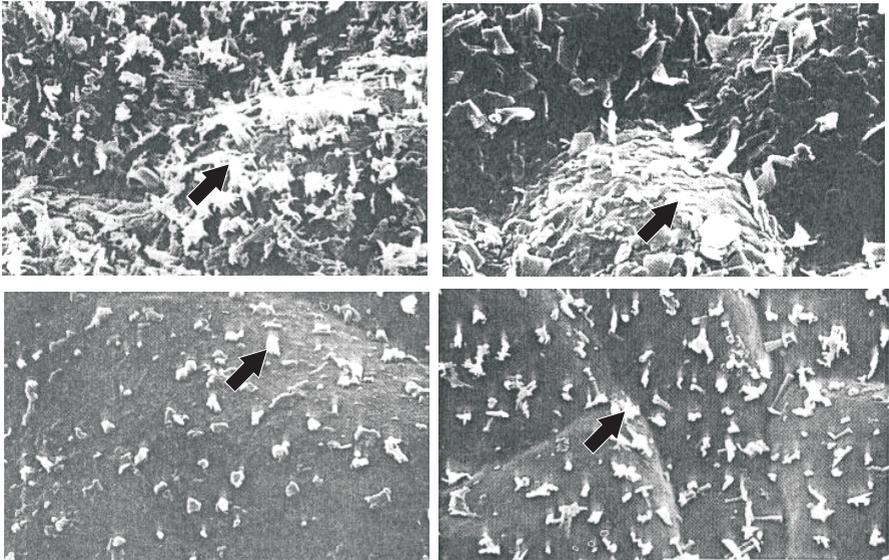


Fig. 3. Análise micromorfológica ao microscópio eletrônico de varredura em superfície foliar, mostrando diferentes arranjos de polímeros das ceras epicuticulares (setas).

Fonte: Taiz & Zeiger, 2004.

As características da cutícula, químicas e estruturais, podem ser observadas por meio de análises químicas e histoquímicas, assim como em secções anatômicas, respectivamente, como podem ser observadas na Fig. 4.

Foto: Vanessa de Fátima Jerba

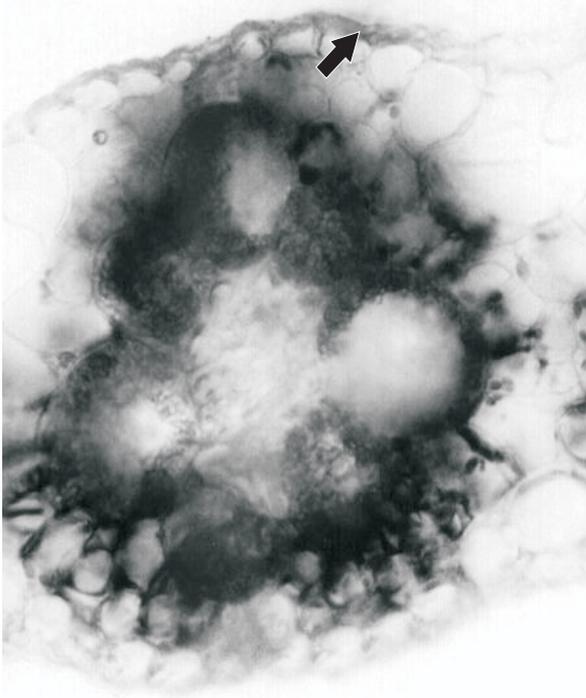


Fig. 4. Corte anatômico de folha de *Brachiaria brizantha*, com destaque para a cutícula (seta).

Esteróides, saponinas e terpenóides

O grupo dos terpenóides é um dos principais fatores de antiqualidade das forrageiras. Esses compostos são formados pela condensação de três unidades de acetato, formando o ácido mevalônico e convertendo-se em um composto de cinco carbonos, sendo essa unidade denominada de isopreno (Barnes & Gustine, 1973). Van Soest (1994) afirma que os terpenóides, na sua maioria, são voláteis e componentes de óleos essenciais, incluindo-se nessa classe as saponinas e os esteróides.

De acordo com Taiz & Zeiger (2004), os terpenóides, ou terpenos, são classificados conforme o número de isoprenos, tendo cada classe suas peculiaridades. Ainda segundo esses autores, os monoterpênos, por exemplo, o piretróide, são tóxicos para insetos; os mono e sesquiterpenos estão presentes em óleos essenciais de tricomas caulinares e foliares, podendo ser tóxicos para mamíferos

herbívoros; os diterpenos, como o forbol, são encontrados em leguminosas e eufórbias arbóreas e causam irritação cutânea e nos órgãos digestivos dos herbívoros; os triterpenos são tóxicos para vertebrados herbívoros e incluem a classe dos cardenólídeos e das saponinas, e os cardenólídeos agem no músculo cardíaco e as saponinas têm poder adstringente.

As saponinas, ou lactonas sesquiterpênicas (Taiz & Zeiger, 2004), causam hemólise em hemácias nos mamíferos herbívoros, além de inibir o crescimento e a atividade dos microorganismos do rúmen. Hanson et al. (1973) afirmam que algumas saponinas são triterpenos e causam aborto e morte fetal em ruminantes e monogástricos.

Os esteróides são considerados terpenóides originados do lanosterol, que é formado a partir da ciclização do escaleno (Barnes & Gustine, 1973).

Os terpenóides podem ser evidenciados nas plantas por meio de análises histoquímicas (Fig. 5) e determinação química (Van Soest, 1994).

Fatores de antiquidade de natureza estrutural

Constituição química e estrutural da parede celular

A parede celular é uma matriz extracelular formada por polissacarídeos, polifenóis e proteínas, variando sua constituição e estrutura de um tecido para o outro e mesmo de espécie para espécie. De acordo com Raven et al. (2001), a celulose é o principal polissacarídeo da parede celular, sendo esse componente organizado em microfibrilas que, associadas, formam uma rede de macrofibrilas. Ainda segundo esses autores, os espaços que não são ocupados pela celulose são preenchidos por uma matriz de matéria não-celulósica, como os polissacarídeos hemicelulose e pectinas, além de polifenóis, como a lignina, substâncias graxas, por exemplo, a cutina e a suberina, além de minerais, como o cálcio e silício. É comum também a presença de terpenóides e alcalóides na parede celular.

A função da parede celular, durante muito tempo, foi considerada apenas estática, ou seja, proporcionar rigidez e determinar o formato da célula. Porém, com o advento de técnicas modernas de microscopia eletrônica, observou-se que na parede celular ocorrem atividades metabólicas importantes para a planta, como sinalização de condições de estresse e reações enzimáticas (Mauseth, 1988).

Foto: Vanessa de Fátima Jerba

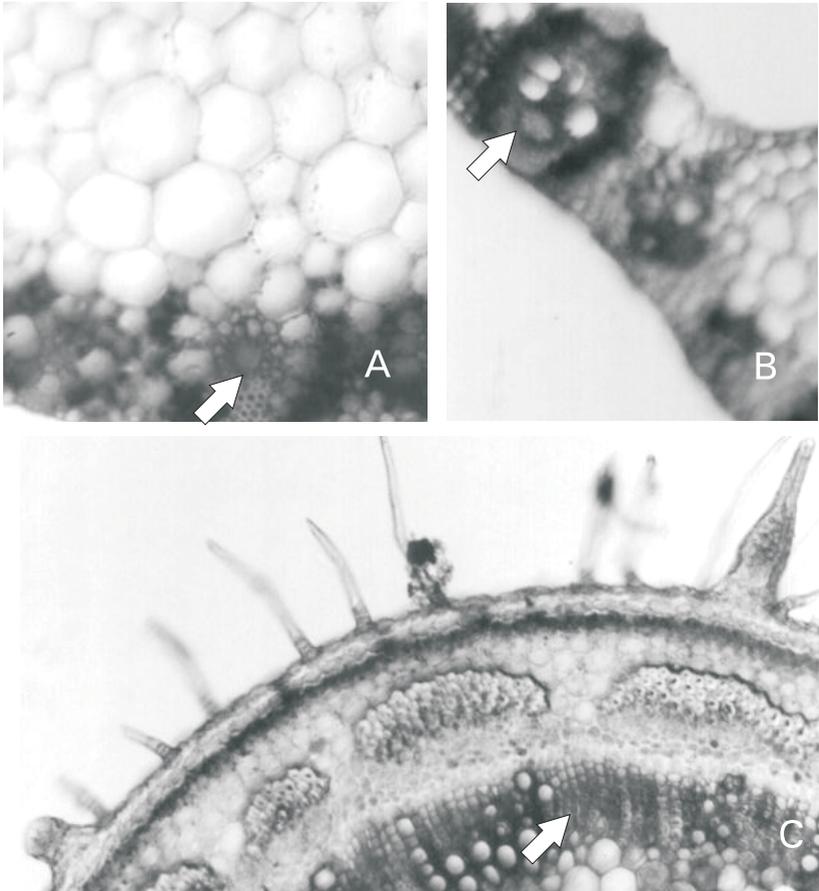


Fig. 5. Teste histoquímico para detecção de terpenóides (setas), através da reação destes compostos com 2,4 dinitrofenilhidrazina, em *B. brizantha* (A), *P. maximum* (B) e *Stylosanthes guianensis* (C).

A parede celular é formada por camadas (Fig. 6), sendo a mais externa a lamela mediana; subsequente a esta, ocorre a parede primária e mais internamente, a parede secundária, que está presente em alguns tecidos, principalmente no xilema e no esclerênquima (Raven et al., 2001). Wilson (1993) relatou a presença de uma camada membranosa extremamente delgada, localizada internamente à parede secundária (lado do lúmen).

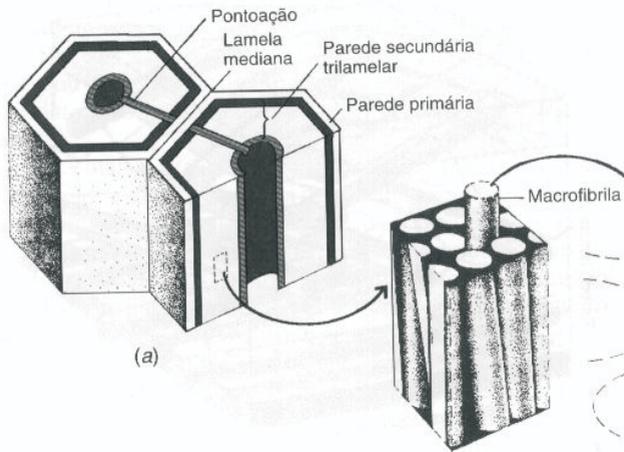


Fig. 6. Desenho esquemático da estrutura da parede da célula vegetal.

Fonte: Raven et al., 2001.

Segundo Rodrigues & Gobbi (2004), o desenvolvimento de uma parede primária rígida ao redor do protoplasto, além da lignificação e conseqüente aumento na espessura da parede secundária, constituiu um importante passo para evolução da vida vegetal no ambiente terrestre. Esses autores afirmam que a resistência à redução das partículas durante a degradação ruminal tende a diminuir com a diminuição da espessura da parede celular, mesmo de tecidos recalcitrantes, como o esclerênquima e xilema. Isto evidencia a natureza fatorial da resistência à cisão das paredes celulares, envolvendo espessura de paredes, composição química e arranjo estrutural de seus componentes.

A espessura da parede celular dificulta a digestão do vegetal por reduzir a acessibilidade do material aos microorganismos ruminais, sendo observado que a digestibilidade da parede celular pode variar de 0% a 100% de acordo com sua deposição (Rodrigues & Gobbi, 2004). Conforme Wilson (1997), a estrutura e a espessura da parede explicam a baixa degradabilidade de alguns materiais que não apresentam componentes químicos indigeríveis. A baixa digestão de alguns tecidos advém, principalmente, do arranjo adensado de suas células, elevada espessura das paredes celulares e da presença de lignina (Paciullo, 2002).

Para Jung & Deetz (1993), dentre os componentes químicos associados à parede celular, a lignina é aquela que limita a digestão dos polissacarídeos da parede celular no rúmen. Ainda segundo esses autores, a lignificação prejudica a

digestão dos polissacarídeos, principalmente por serem tóxicos aos microorganismos do rúmen, além do impedimento físico causado pela ligação lignina-polissacarídeo e limitação da ação de enzimas hidrolíticas, causada pela natureza hidrofóbica dos polímeros de lignina.

O principal mecanismo de inibição da lignina é como barreira mecânica aos microorganismos ruminais e as hidrolases secretadas por estes (Van Soest, 1994). Para esse autor, a toxicidade direta de compostos fenólicos é o efeito hidrofóbico da lignina, que reduziria a água em espaços adjacentes aos substratos, os quais seriam fatores secundários. A toxicidade potencial dos compostos fenólicos é um caso comprovado, mas para que seja efetiva em animais, são necessárias concentrações bem maiores do que aquelas que normalmente ocorrem no rúmen (Fukushima, R.S., comunicação pessoal¹).

A composição da parede celular pode ser investigada por meio de testes histoquímicos (Fig. 7) e determinação química, assim como sua estrutura pode ser estudada por meio da microscopia eletrônica de varredura e de transmissão, além de preparações anatômicas ao microscópio de luz.

Arquitetura tissular

A maior ou menor taxa de degradação da parede celular pelos microorganismos ruminais é determinada, em grande parte, pela capacidade da biota e suas enzimas extracelulares transporem barreiras anatômicas e estruturais das forragens (Brito & Rodella, 2001). Há a necessidade de se estabelecer um banco de informações a respeito da anatomia de diferentes gramíneas forrageiras, permitindo avanços no conhecimento das relações entre os fatores anatômicos e a qualidade das forragens (Paciullo, 2002).

A possibilidade de se associarem as características anatômicas à qualidade nutricional das plantas está relacionada com o fato de que os tecidos distintos apresentam taxa e extensão de digestão diferenciadas (Akin & Burdick, 1975). Essa diferença na digestão das forragens foi observada em fragmentos foliares de *Panicum maximum* cv. Aruana e Vencedor, sendo observado maior desaparecimento de tecidos na cultivar Aruana, por causa da presença menos intensa de esclerênquima (Lempp & Ezequiel, 1999).

¹ Correspondência eletrônica do pesquisador Romualdo Fukushima, da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da USP, Pirassununga-SP, enviada ao pesquisador Sérgio Raposo de Medeiros em 12.11.2002.

Foto: Vanessa de Fátima Jerba

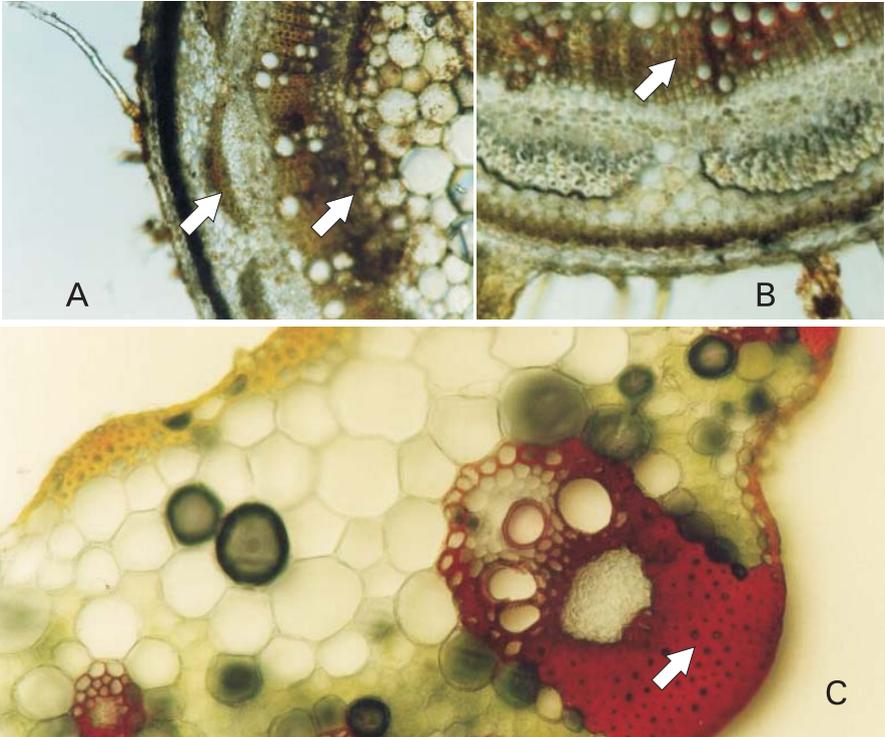


Fig. 7. Paredes celulares com terpenóides e alcalóides em *Stylosanthes capitata* (A) e *S. guianensis* (B), respectivamente (seta). Paredes celulares com lignina no esclerênquima e no xilema de folha da gramínea forrageira *Brachiaria brizantha* (C).

De acordo com Rodrigues & Gobbi (2004), a digestibilidade de lâmina foliar, bainha, pecíolo e caule, está associada à proporção relativa dos diferentes tecidos em cada órgão. Ainda segundo esses autores, as principais características que interferem negativamente na qualidade nutritiva das forrageiras estão relacionadas com a proporção de tecido vascular e esclerênquima.

Além dos tecidos lignificados, como o xilema e o esclerênquima, a epiderme pode apresentar características que prejudiquem a digestibilidade. A sinuosidade da parede lateral (Fig. 8) e a cutícula espessa das células epidérmicas de gramíneas, por exemplo, são fatores que diminuem a digestibilidade do material (Wilson, 1997). Cultivares de *P. maximum*, com células de parede celular pouco sinuosas e menor presença de sílica, apresentam maior digestibilidade, por causa

da maior facilidade de desprendimento das células epidérmicas (Lempp et al., 1998). Em gramíneas, a presença de cutícula mais delgada e de células epidérmicas menos lignificadas poderia facilitar a fragmentação do órgão durante a ingestão do vegetal e a mastigação (Rodrigues & Gobbi, 2004).

Foto: Vanessa de Fátima Jerba

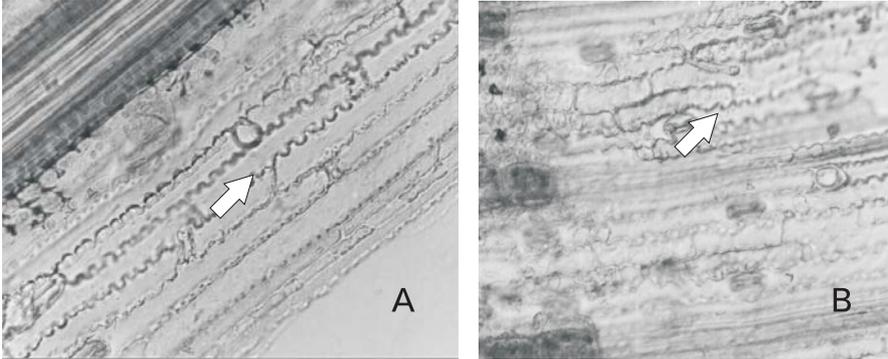


Fig. 8. Sinuosidades (setas) na parede celular de *Brachiaria brizantha* e *Panicum maximum*.

Nas leguminosas, a epiderme está aderida ao mesofilo de forma débil, bem como nas gramíneas C3, o que facilita a ruptura pela mastigação e, conseqüentemente, o acesso dos microorganismos. As C4, por sua vez, têm a epiderme firmemente fixada aos vasos vasculares, com uma resistência muito maior. Nelas, a epiderme está ligada aos feixes vasculares por uma estrutura que é chamada de estrutura *girder*. Ela pode ser do tipo "I", que une as duas faces da epiderme da folha ou do tipo "T" em que apenas um lado da epiderme tem essa ligação. Essa estrutura evita, ou pelo menos dificulta, a remoção da epiderme pela digestão ou força física leve e reduz o acesso dos microorganismos ruminais ao mesofilo e ao parênquima.

A presença da estrutura *girder* nas gramíneas (Fig. 9), seja em "I" ou "T", prejudica a ingestão e sua subsequente digestão no rúmen, por meio da resistência física proporcionada às plantas. Lempp et al. (1997), estudando cultivares de *Panicum maximum*, afirmam que os dois tipos de estrutura *girder* interferem na separação dos tecidos e, conseqüentemente, na acessibilidade dos microorganismos ruminais. No caso dos feixes vasculares de *Brachiaria brizantha*, 93% destes apresentam estrutura *girder* do tipo "I" (Lempp et al., 2002) que seriam as estruturas *girder* que mais prejudicariam a degradabilidade da folha.

Foto: Vanessa de Fátima Jerba

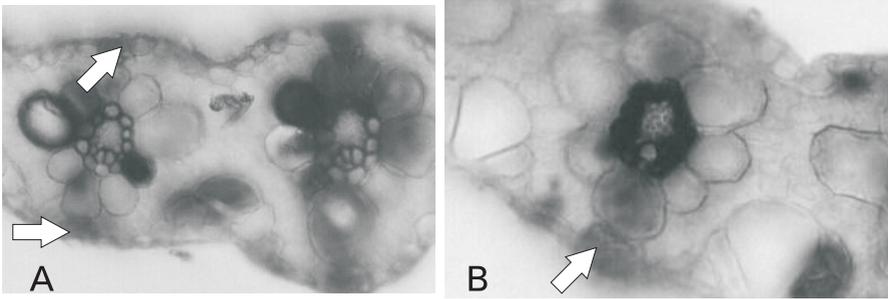


Fig. 9. Estrutura *girder* (seta) em "1" em *Brachiaria brizantha* (A) e *Panicum maximum* (B).

Os tecidos das gramíneas C3 são rapidamente digeridos, em relação às espécies C4, relacionando-se essa característica à proporção total dos diferentes tecidos (Paciullo, 2002). A proximidade dos feixes vasculares, maior em gramíneas C4, seguida das gramíneas C3 e das leguminosas, tem relação com a digestibilidade por causa da inacessibilidade dos tecidos quando os feixes são muito próximos (Wilson, 1997). No caso da epiderme, é notável a diferença entre leguminosas e gramíneas C3 e C4. Ela é a primeira barreira que deve ser cortada para reduzir o tamanho e foi feita para resistir aos estresses físicos e biológicos (insetos, fungos e outros). As plantas C4 têm células vizinhas que se ligam por fortes estruturas sinuosas que as fazem muito mais reforçadas, dificultando a separação. Nas C3, as células vizinhas se unem de maneira reta (como tijolos), mas ainda são mais resistentes às separações do que as leguminosas, que têm uma estrutura em lóbulos e são facilmente separadas. Nas hastes, as epidermes das gramíneas têm paredes mais lignificadas, o que produz uma forte lamela média entre as células.

A arquitetura tissular pode ser estudada por meio da microscopia eletrônica de varredura e de transmissão, além de preparações anatômicas ao microscópio de luz (Fig. 10). A proporção dos tecidos pode ser quantificada por meio da anatomia quantitativa, seja em mesa digitalizadora ou em digitalizador de imagem. A degradação dos tecidos pode ser feita *in vitro* ou *in situ* e observada ao microscópio de luz, por meio de secções anatômicas. Enfim, a estrutura celular, assim como de suas paredes, pode atrapalhar o acesso dos microorganismos ruminais às paredes secundárias.

Foto: Vanessa de Fátima Jerba

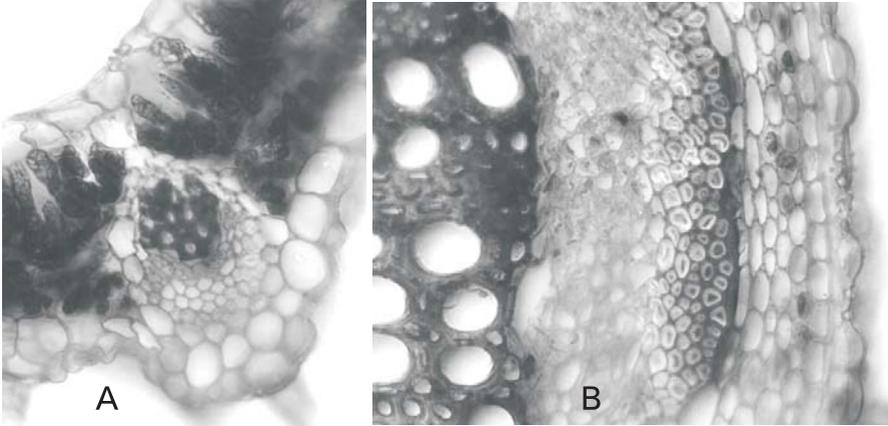


Fig. 10. Arquitetura tissular de folha (A) e caule (B) de leguminosa forrageira *Stylosanthes capitata*.

Fibras e demais células lignificadas

A estrutura anatômica dos órgãos da planta está diretamente ligada aos problemas de qualidade nutricional da forragem, principalmente àqueles associados com o baixo consumo de alimentos fibrosos (Rodrigues & Gobbi, 2004).

Segundo Mauseth (1988) as fibras são células esclerenquimáticas longas e finas, com parede secundária e, na maioria das vezes, altamente lignificadas. Ainda de acordo com este autor, as fibras podem ser classificadas conforme a sua posição, sendo designadas de fibras xilemáticas (Fig. 11), quando estão presentes no xilema; floemáticas (Fig. 12), quando são encontrados no floema e, extraxilemáticas (Fig. 18), quando estão associadas a outros tecidos.

O grau de lignificação dessas células está associado ao valor nutritivo das forragens. A lignificação da fibra ocorre principalmente na parede primária e na lamela mediana, ocorrendo nessas camadas um arranjo mais ramificado e mais estreitamente associado aos polissacarídeos da parede (Paciullo, 2002).

Foto: Vanessa de Fátima Jerba

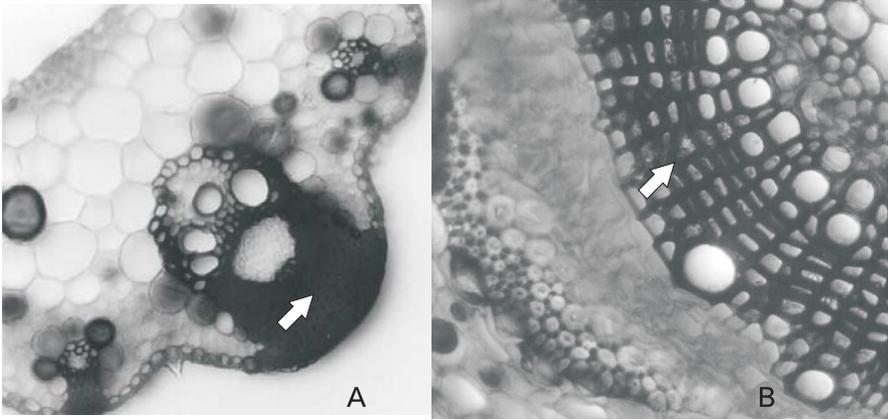


Fig. 11. Fibras xilemáticas (seta) em folhas de *Brachiaria brizantha* e em caules de *Stylosanthes capitata*.

Foto: Vanessa de Fátima Jerba

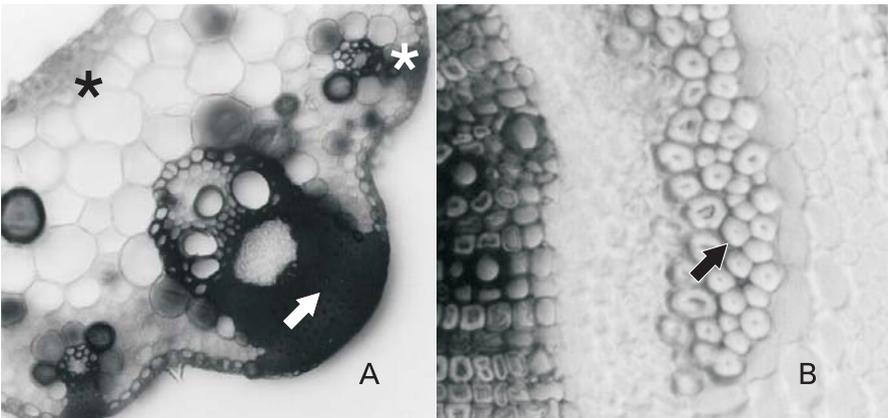


Fig. 12. Fibras floemáticas (seta) e extraxilemáticas (*) em folhas de *Brachiaria brizantha* (A) e fibras floemáticas em caules de *Stylosanthes guianensis* (B).

O esclerênquima de algumas espécies vegetais apresenta fibras com paredes celulares espessadas e pouca ou nenhuma lignificação, sendo denominadas de fibras gelatinosas (Fig. 13). Tais fibras, também chamadas de mucilaginosas, consistem de parede secundária composta de celulose higroscópica, a qual apresenta alta capacidade de absorver água, geralmente apresentam-se menos lignificadas que os demais tipos de fibras (Metcalf & Chalk, 1989). Portanto, forrageiras que apresentam esclerênquima com células de parede gelatinosa ou com baixo nível de lignificação tendem a ter bom valor nutricional.

Foto: Vanessa de Fátima Jerba



Fig. 13. Fibras do tipo gelatinosa (seta) em *Stylosanthes guianensis* cv. Mineirão.

A lignificação afeta a porosidade da parede primária, destituindo progressivamente a água da parede celular, tornando-a hidrofóbica e, conseqüentemente, resistente ao ataque microbiano (Rodrigues & Gobbi, 2004).

As células que sofrem lignificação, como o esclerênquima e os elementos de vaso do xilema, podem ser observadas em secções anatômicas, em microscópio de luz, por meio de corantes, como a fucsina básica e a safranina, assim como

em testes histoquímicos com a floroglucina. Ainda pode-se determinar a lignina quimicamente por meio de reações específicas ou análises bromatológicas (Van Soest, 1994).

Sílica e cistólitos

A sílica pode estar presente tanto em incrustações na parede celular quanto na forma de depósitos translúcidos denominados de corpúsculos de sílica (Metcalf & Chalk, 1989). De acordo com Mauseth (1988), os polímeros de sílica são denominados de estegmata (Fig. 14), exceto em Cyperaceae e Poaceae, famílias em que são referidos pelo termo corpúsculos.

Foto: Vanessa de Fátima Jerba

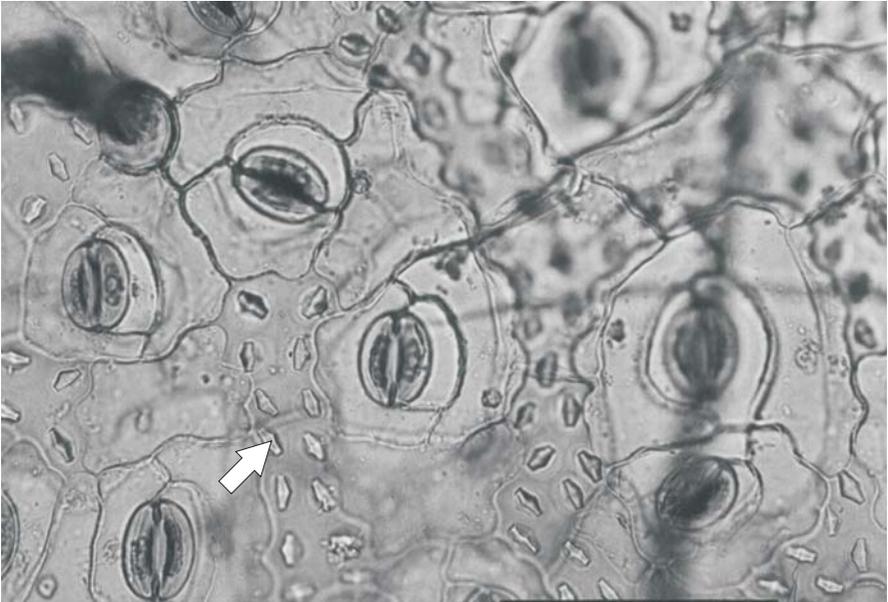


Fig. 14. Estegmata (seta) em células epidérmicas de *Stylosanthes capitata*.

As gramíneas apresentam em sua epiderme células curtas, geralmente, agrupadas aos pares, que são denominadas de células silicificadas e suberificadas (Mauseth, 1988). Para Fahn (1990), as células silicificadas contêm corpúsculos de sílica no seu interior e as células suberificadas têm sua parede impregnada por suberina (Fig. 15).

Foto: Vanessa de Fátima Jerba

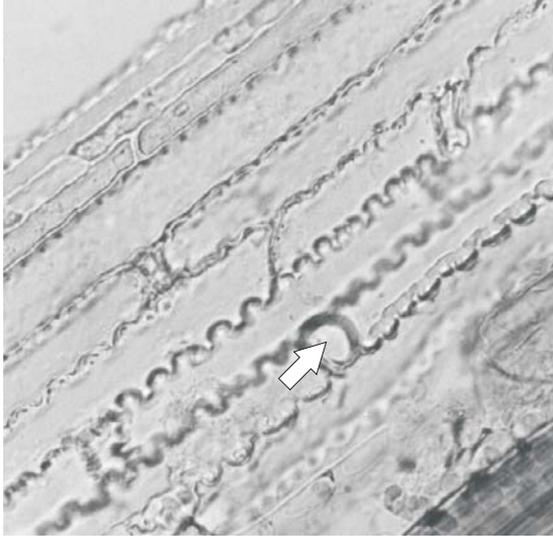


Fig. 15. Células silicificadas (seta) em *Brachiaria brizantha*.

A sílica, assim como a lignina, limita a digestibilidade da forragem por proporcionar resistência física ao vegetal (Moore & Mott, 1973). Ela é utilizada pelos vegetais como um elemento estrutural, complementando a lignina e proporcionando maior rigidez à parede celular (Van Soest, 1994).

Os cristólitos (Fig. 16) são cristais de carbonato de cálcio ou de sílica associados às pectinas, presentes nas células epidérmicas de muitas famílias vegetais (Mauseth, 1988). A presença desses cristais também é um fator antinutricional, pois esse tipo de cristal contribui para maior resistência mecânica à ingestão e digestão do vegetal.

A sílica e os cristólitos nas forrageiras podem ser observados por meio de secções transversais e paradérmicas ao microscópio de luz, ou determinados quimicamente em análises químicas e bromatológicas (Van Soest, 1994).

Foto: Vanessa de Fátima Jerba

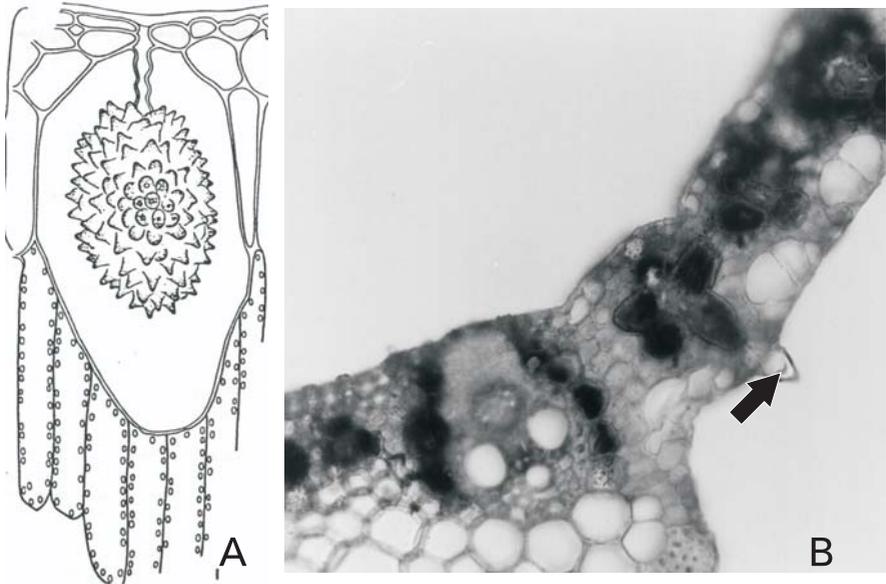


Fig. 16. Desenho esquemático (A) de cystólito em folha de *Ficus elastica* (Fahn, 1990). Cistólito (seta) com sílica em folha de *Panicum maximum* (B).

Aspectos aplicados de fatores de antiqualidade

O teor de nutrientes dos alimentos confere o seu valor nutritivo, mas a presença de compostos indesejáveis, os quais, conforme comentado, quase nunca são analisados, podem interferir com o valor nutritivo efetivo do alimento. Um exemplo disso é a complexação de proteínas por compostos fenólicos. Em outras situações, esses compostos indesejáveis podem não interferir diretamente no valor nutritivo, mas impor restrições à quantidade máxima de uso do alimento, por exemplo, a limitação do uso de sorgo com altos teores de tanino. Por fim, podem interferir na ingestão de massa seca – MS – do alimento, reduzindo seu valor alimentar, que equivale ao potencial para gerar desempenho, envolvendo o valor nutritivo e o consumo, considerando-se que:

Valor Alimentar = Valor Nutritivo (teor de nutrientes) X Consumo

A presença da maioria dos compostos antinutricionais está ligada à defesa da planta, incluindo o próprio consumo destas pelos herbívoros. Como essas defesas são energeticamente caras, as plantas têm que desprender parte do seu desenvolvimento em troca da produção das substâncias apropriadas. Com isso, em condições favoráveis, elas ocorrem em menores concentrações, porém aumentam em situações de estresse (Briske, 1996).

Apesar dos efeitos negativos já abordados, os taninos hidrolisáveis podem formar complexos com proteínas no rúmen. Todavia, como eles se hidrolisam no meio ácido da digestão gástrica pós-ruminal, podem liberar as proteínas novamente, e, eventualmente, aumentar o aporte de proteína no intestino. Esse escape ruminal pode ocorrer quando os taninos são consumidos sem estarem previamente ligados às proteínas do alimento, como ocorre no caso de forragens desidratadas. Entretanto, a digestão pós-ruminal das proteínas complexadas com taninos condensados (não hidrolisáveis) é menos provável. Mesmo a dos hidrolisáveis costuma ser incompleta. Essa característica dos taninos pode ser usada como uma maneira de promover o escape das proteínas do rúmen (proteína *by pass* ou sobrepassante), mas as tentativas de efetivar essa estratégia não foram bem sucedidas até agora (Van Soest, 1994). O maior problema é modular o efeito de maneira que não haja indisponibilização da proteína. De fato, em dietas com alimentos com excesso de tanino, como o sorgo à prova de pássaros, pode ser interessante aumentar o teor de proteína bruta. Em geral, deve-se evitar dieta com mais de 1% de tanino, mas o sorgo pode conter 3% (medidos como ácido tânico) (Magalhães et al., 1997). Dietas com elevados teores de tanino apresentaram digestões ruminais de amido um pouco maiores com uma manutenção de pH ruminal mais elevado por causa de uma maior atividade das glândulas salivares e aumento de produção de proteínas ricas em prolina na saliva.

A lignina é um importante componente da parede celular e, ao mesmo tempo, o principal fator que limita a sua disponibilidade aos herbívoros. Apesar dessa importante implicação nutricional, seus componentes não são claramente identificados. Do ponto de vista do nutricionista animal, ela é fracionada em dois:

- 1) *Core*: principal polímero da lignina, mais condensado e mais resistente à degradação. Poderia ser considerada mais próxima à lignina verdadeira.

2) Não *core*: compostos fenólicos extraíveis associados à lignina *core*. Ácido ferúlico e ácido p-cumárico são os principais compostos fenólicos dessa fração.

Na realidade, existe bastante confusão quanto ao que seria, de fato, a lignina verdadeira. Como a maioria dos produtos que a compõem são insolúveis, a lignina precisa ser desintegrada para poder analisar sua caracterização, sendo feita com base nos resíduos produzidos, o que limita sua definição química (Van Soest, 1994). Uma análise muito específica para a lignina, definindo-a bem do ponto de vista químico, deixaria de fora material indigestível e inibitório. Assim, um purismo em tentar chegar ao que realmente ela é pode ser contraproducente em termos do interesse do nutricionista animal. Para a nutrição animal o que interessa é associar essa fração com a indegradabilidade da parede celular, ou seja, o que mais importa em relação a ela é seu efeito nutricional. As metodologias usuais para determinação de lignina são a lignina via ácido sulfúrico e a lignina via permanganato. A lignina em permanganato está entrando em desuso nos laboratórios de nutrição animal. Há, inclusive, a sugestão de transformar os valores desta em lignina sulfúrica, multiplicando os valores obtidos pelo fator 0,82 e, assim, poder usar valores determinados em lignina em permanganato como se fossem em lignina sulfúrica. Essa sugestão é do manual do modelo de Cornell (Fox et al., 2000), mas deve ser vista com reservas, especialmente pela dúvida de que um fator único seria apropriado para alimentos tão diferentes na composição da parede celular quanto leguminosas ou gramíneas, ou ainda, entre espécies de origem de climas temperado ou tropical.

Outro fator já mencionado é a anatomia, que tem significativa influência na facilidade e padrão de fragmentação e, conseqüentemente, no tamanho e forma da partícula resultante. O padrão de vascularização das gramíneas, com os feixes de vasos dispostos ao longo da folha e paralelos entre si, ajuda a explicar por que ela quebra mais dificilmente que as leguminosas, que têm os feixes de vasos com aspecto reticulado e, portanto, com muito mais pontos de quebra. As formas das partículas resultantes da redução de leguminosas são mais parecidas com a de um quadrado; as das gramíneas, ao contrário, são mais finas, mas bem mais longas. Essas duas características das partículas das leguminosas facilitam a saída no rúmen.

Em gramíneas, o acesso dos microorganismos é reduzido, as partículas são mais lentamente reduzidas em tamanho e ficam com um formato de mais difícil escape ruminal. Esses são fatores predisponentes, mas não necessariamente decisivos,

para a redução da ingestão voluntária pelo efeito de enchimento ruminal. Valores elevados de FDN, representando a fibra do ponto de vista nutricional, não deveriam limitar a ingestão de MS caso esse FDN fosse composto por células com parede delgada do mesófilo (~ 20-30 mm de diâmetro) ou células do parênquima das hastes (~ 100 mm de diâmetro). Essas células são rapidamente fracionadas a tamanhos menores que 0,15 mm (em geral o menor tamanho medido em experimentos) e, assim, escapam facilmente do rúmen. O valor crítico para as partículas deixarem o rúmen está próximo a 1,18 mm.

Os feixes vasculares e o esclerênquima são os principais responsáveis pelas partículas de tamanho maior que o valor crítico e que permanecem mais tempo no rúmen. A quantidade de vasos para serem cortados pela mastigação (mg/mm) de uma gramínea tropical (em média com 300 mm de comprimento) é cerca de dez vezes maiores que a de uma gramínea temperada (em média com 150 mm de comprimento) e de 15 a 50 vezes maiores do que a quantidade de vasos encontrados em folhas de leguminosas (em média com 19-45 mm de comprimento).

A epiderme, o esclerênquima e os feixes vasculares são as estruturas que mantêm a integridade da folha e da haste. São elas que requerem mastigação durante a ingestão e a ruminação para serem reduzidas em tamanho. As células dessas estruturas são unidas, sem espaço intercelular, pela lamela média que é altamente lignificada, com ligações químicas fortes e sem pontos de quebra. Essa lamela média parece totalmente indigestível e faz com que ocorra digestão apenas do lúmen das células até as paredes celulares, isto é, de dentro para fora, em lugares onde tenha havido ruptura do tecido para expor o lúmen. É por causa disso, que os feixes vasculares não se dividem em células individuais.

Perspectivas

O principal método de determinação ou investigação do valor nutritivo de uma forragem tem sido a bromatologia, porém estudos anatômicos e histoquímicos devem ser adicionados aos bromatológicos, visando à otimização de pesquisas do potencial forrageiro dos vegetais.

A detecção dos fatores de antiqualidade ou antinutricionais é fundamental para a forragicultura e já é efetivamente utilizada em programas de melhoramento de forragens, mas é ainda um conhecimento do qual muito precisa se avançar para

uma aplicação que traga todo o benefício inerente a essa proposta. O seu uso pode ser otimizado por meio de mais estudos e direcionamento de sua aplicação, especialmente relacionando a existência e quantificação desses fatores com o valor alimentar das forragens, determinantes da produção animal. Futuramente, a determinação da maneira como esses fatores influem no valor nutritivo e na produção vegetal poderá agilizar os programas de melhoramento genético, selecionando-se germoplasmas com pouca presença de tais fatores ou que os tenham em quantidades menores, buscando resistência às doenças em fatores específicos, por exemplo, enzimas vegetais que atacam o metabolismo fúngico.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – e à Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul – Fundect-MS – pelo apoio financeiro. Às estagiárias Kélia Regina Leandro e Vanusa Borges de Oliveira, pela confecção das seções anatômicas e auxílio na realização dos testes histoquímicos.

Referências bibliográficas

AKIN, D. E.; BURDICK, D. Percentage of tissue types in tropical and temperate grass leaf blades and degradation of tissue by rumen microorganisms. **Crop Science**, Madison, v. 15, p. 661-668, 1975.

ALMEIDA, R. G.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.; EUCLIDES, V. P. B.; MACEDO, M. C. M.; FONSECA, D. M.; BRÂNCIO, P. A.; BARBOSA, R. A. Consumo, composição botânica e valor nutritivo da dieta de bovinos em pastejos tropicais consorciados sob três taxas de lotação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 32, p. 29-35, 2003a.

ALMEIDA, R. G.; EUCLIDES, V. P. B.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.; MACEDO, M. C. M.; FONSECA, D. M.; BRÂNCIO, P. A.; BARBOSA, R. A. Disponibilidade, composição botânica e valor nutritivo de pastos consorciados, sob três taxas de lotação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 32, p. 36-46, 2003b.

ANDRADE, I. F. Produção e composição química de leguminosas forrageiras tropicais cultivadas no Cerrado. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 10, p. 103-122, 1981.

BARNES, R. F.; GUSTINE, D. L. Allelochemistry and forage crops. In: MATCHES, A. G.; HOWELL, R. E.; FUCCILLO, D. A.; PASKIN, L. H. (Eds.). **Anti-quality components of forages**. Madison: Crop Science Society of America, 1973. p. 1-13.

BARRY, T. N.; McNEILL, D. M.; McNABB, W. C. Plant secondary compounds: their impact on forage nutritive value and upon animal production. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 19., 2001, São Pedro. **Proceedings...** Piracicaba: FEALQ, 2001. p. 445-452.

BRISKE, D. D. Strategies of plant survival in grazed systems: a functional interpretation. In: HOGDSON, J.; ILLIUS, A. W. (Ed.). **The ecology management of grazing systems**. Wallingford: CAB International, 1996. p. 37-67.

BRITO, C. J. F. A. de; RODELLA, R. A. Breve histórico das relações entre anatomia vegetal e qualidade de gramíneas forrageiras com ênfase para o gênero *Brachiaria*. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 76, p. 19-36, 2001.

CARNEIRO, C. M.; RODELLA, R. A. Correlação da degradabilidade com a composição bromatológica e química de *Adesmia latifolia* (Spreng.) Vog. e *Trifolium repens* L. (Leguminosae). In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 40., 2003, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: SBZ, 2003. CD-ROM. Anais da Reunião. Forragicultura.

CLIPES, R. C.; SILVA, J. F. C.; DETMANN, E.; VÁSQUES, H. M.; SCOLFORO, L.; LISTA, F. N.; ORNELAS, E. I.; PERES, A. A. C. Constituintes da parede celular e digestibilidade "in vitro" da extrusa durante o período de ocupação em pastagem de estilosantes (*Stylosanthes guianensis* cv. Mineirão). In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 41., 2004, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: SBZ: Embrapa Gado de Corte, 2004. CD-ROM. Anais da Reunião. Nutrição de ruminantes. NR 470.

FAHN, A. **Plant anatomy**. 4th ed. New York: Pergamon, 1990. 544 p.

FOX, D. G.; TYLUKTI, M. E.; VAN AMBURGH, A. C. **The net carbohydrate and protein system for evaluating herd nutrition and nutrient excretion**. Ithaca: Cornell University, 2000. 235 p. (Ani. Sci. Dept. Mimeo, 213).

HANSON, C. H.; PEDERSEN, M. W.; BERRANG, B.; WALL, M. E.; DAVIS JÚNIOR, K. H. The saponins in alfalfa cultivars. In: MATCHES, A. G.; HOWWEL, R. E.; FUCCILOLO, D. A.; PASKIN, L. H. (Eds.). **Anti-quality components of forages**. Madison: Crop Science Society of America, 1973. p. 33-52.

HERRERO, M.; VALLE, C. B. do; HUGHES, N. R. G.; SABATEL, V. de O.; JESSOP, N. S. Measurements of physical strength and their relationship to the chemical composition of four species of *Brachiaria*. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 92, p. 149-158, 2001.

HUGHES, N. R. G.; VALLE, C. B. do; SABATEL, V.; BOOCK, J.; JESSOP, N. S.; HERRERO, M. Shearing strength as a additional selection criterion for quality in *Brachiaria* pasture ecotypes. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 135, p. 123-130, 2000.

JUNG, H. G.; DEETZ, D. A. Cell wall lignification and degradability. In: JUNG, H.; BUXTON, D. R.; HATIFIELD, R. D. (Eds.). **Forage cell wall structure and digestibility**. Madison: ASA-CSSA-SSSA, 1993. p. 315-346.

JUNG, H. G.; MERTENS, D. R.; PAYNE, A. J. Correlation of acid detergent lignin and klason lignin with digestibility of forage dry matter and neutral detergent fiber. **Journal Dairy Science**, Champaign, v. 80, p. 1622-1628, 1997.

LASCANO, C. E.; SCHMIDT, A.; BARANHONA, R. Forage quality and the environment. In: INTERNATIONAL GRASSSLAND CONGRESS, 19., 2001, São Pedro. **Proceedings...** Piracicaba: FEALQ, 2001. p. 351-356.

LEMPPE, B.; EZEQUIEL, J. M. B.; SANTOS, J. M.; DAMIÃO FILHO, C. F.; ZIMMER, A. H.; FAVORETTO, V.; CATTELAN, J. W.; MARTINS JÚNIOR, A. P.; FIGUEIREDO, L. F. C. de. Observação da estrutura *girder* na taxa de digestão dos tecidos em lâminas de *Panicum maximum* Jacq. cv. Aruana e Vencedor. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 34., 1997, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora: SBZ, 1997. p. 15-17.

LEMPP, B.; EZEQUIEL, J. M. B.; SANTOS, J. M.; DAMIÃO FILHO, C. F.; MARTINS JÚNIOR, A. P.; FIGUEIREDO, L. F. C. de. Influência das células epidérmicas na fragilidade de lâminas de *Panicum maximum* Jacq. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 35., 1998. Botucatu. **Anais...** Botucatu: SBZ, 1998. p. 209-211.

LEMPP, B.; EZEQUIEL, J. M. B. Considerações sobre amostras de lâminas foliares de gramíneas para as avaliações anatômicas. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 36., 1999. Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: SBZ, 1999. p. 41.

LEMPP, B.; VALLE, C. B. do; TORRES, F. E.; ALVES, R.; VICTOR, D. M.; MORAIS, M. G. Proporção e arranjo de tecidos de nove acessos de *Brachiaria brizantha*. In: REUNIÃO ANUAL [DA] SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 39., 2002, Recife. **Anais...** Recife: SBZ, 2002. 5 p. CD-ROM. Anais de resumos. Forragicultura.

MACEDO, M. C. M. Pastagens no ecossistema cerrados: pesquisa para o desenvolvimento sustentável. In: SIMPÓSIO SOBRE PASTAGENS NOS ECOSSISTEMAS BRASILEIROS: pesquisas para o desenvolvimento sustentável, 1995, Brasília, DF. **Anais...** Brasília: SBZ, 1995. p. 28-62.

MAGALHÃES, P. C.; RODRIGUES, W. A.; DURÃES, F. O. M. **Tanino no grão de sorgo**: bases fisiológicas e métodos de determinação. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1997. 26 p. (EMBRAPA-CNPMS. Circular Técnica, 27).

MATCHES, A. G.; HOWELL, R. E.; FUCCILO, D. A.; PASKIN, L. H. **Anti-quality components of forages**. Madison: Crop Science Society of America, 1973. 140 p.

MARTEN, G. C. Alkaloids in reed canarygrass. In: MATCHES, A. G.; HOWELL, R. E.; FUCCILO, D. A.; PASKIN, L. H. (Eds.). **Anti-quality components of forages**. Madison: Crop Science Society of America, 1973. p. 15-31.

MAUSETH, J. D. **Plant anatomy**. Menlo Park: Benjamin/Cummings, 1988. 568 p.

METCALFE, C. R.; CHALK, L. **Anatomy of the dicotyledons**. 2nd ed. Oxford: Oxford University Press, 1989. 297 p.

MOORE, J. E.; MOOT, G. O. Structural inhibitors of quality in tropical grasses. In: MATCHES, A. G.; HOWELL, R. E.; FUCCILLO, D. A.; PASKIN, L. H. (Eds.). **Anti-quality components of forages**. Madison: Crop Science Society of America, 1973. p. 53-98.

PACIULLO, D. S. C. Características anatômicas relacionadas ao valor nutritivo de gramíneas forrageiras. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, p. 357-364, 2002.

POSSENTI, R. A.; VALARINI, M. J. Degradabilidade ruminal "in situ" de leguminosas forrageiras tropicais. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 40., 2003, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: SBZ, 2003. 5 p. CD-ROM.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia vegetal**. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001. 906 p.

RODRIGUES, M. T.; GOBBI, K. F. Organização dos tecidos de plantas forrageiras e sua utilização por animais ruminantes. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 55.; REUNIÃO REGIONAL DE BOTÂNICOS DE MG, BA E ES, 26., 2004, Viçosa., 2004. **Conservação, bioprospecção e biotecnologia: [Simpósios, palestras e mesas redondas]**. Viçosa: Sociedade Botânica do Brasil: Universidade Federal de Viçosa, 2004. 29 p. CD-ROM. Simpósios.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

VAN SOEST, P. J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2nd ed. New York: Cornell University Press, 1994. 476 p.

WILSON, J. R. Organization of forage plant tissues. In: JUNG, H.; BUXTON, D. R.; HATIFIELD, R. D. (Eds.). **Forage cell wall structure and digestibility**. Madison: ASA-CSSA-SSSA, 1993. p. 1-32.

WILSON, J. R. Structural and anatomical traits of forages influencing their nutritive value for ruminants. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ANIMAL PRODUCTION UNDER GRAZING, 1997, Viçosa. **Anais...** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1997. p. 173-208.