

REVISTA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA EMBRAPA
Instituto Brasileiro de
Pesquisa e Pesquisa de Gado de Corte - CNPGC

FATORES AFETANDO O CONSUMO E UTILIZAÇÃO DE
FORRAGEIRAS DE BAIXA QUALIDADE POR RUMINANTES
— REVISÃO —



EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA EMBRAPA
Vinculada ao Ministério da Agricultura
Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte - CNPGC

**FATORES AFETANDO O CONSUMO E UTILIZAÇÃO
DE FORRAGEIRAS DE BAIXA QUALIDADE POR RUMINANTES
– REVISÃO –**

Luiz Roberto Lopes S. Thiago

Comitê de Publicações

Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte
Rodovia BR 262 – km 4
Caixa Postal 154
Telefone: (067) 382-3001 Telex: 0672153
79100 Campo Grande, MS

Reimpressão: 1984

Tiragem: 1.000 exemplares

Thiago, L.R.L.S.

Fatores afetando o consumo e utilização de forrageiras de baixa qualidade por ruminantes – revisão. Brasília-DF, EMBRAPA-DDT, 1984.

36p. (EMBRAPA–CNPGC. Documentos, 9).

1. Ruminantes - Nutrição. 2. Ruminantes - Alimentação. I. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Departamento de Difusão de Tecnologia, Brasília, DF, ed. II. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte, Campo Grande, MS. III. Título. IV. Série.

CDD 636.085

SUMÁRIO

	Pág.
RESUMO/ABSTRACT	5
1 INTRODUÇÃO	6
2 CONSUMO VOLUNTÁRIO	7
3 DIGESTÃO NO RÚMEN E TAXA DE PASSAGEM	9
3.1 Tratamento físico e químico de forragens	12
3.1.1 Tamanho de partícula	12
3.1.2 Tratamento físico	13
3.1.3 Tratamento químico	14
3.2 Cinética da digestão	15
4 DIGESTÃO E PASSAGEM NOS INTESTINOS	16
5 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS FORRAGENS	18
6 ESTRUTURA FÍSICA DAS FORRAGENS	21
7 CONCLUSÕES	23
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24

FATORES AFETANDO O CONSUMO E UTILIZAÇÃO DE FORRAGEIRAS DE BAIXA QUALIDADE POR RUMINANTES – Revisão¹

Luiz Roberto Lopes S. Thiago²

RESUMO – A quantidade máxima de alimento capaz de ser consumida por um ruminante é de grande importância para o produtor. De um modo geral, quanto maior for o consumo, menor será a quantidade de alimento necessário por unidade de produção. Este fato é que caracteriza a eficiência produtiva de um animal. A consequência econômica seria que maiores lucros estariam dependentes da capacidade dos ruminantes em digerir alimentos fibrosos mais baratos e disponíveis em maiores quantidades.

O máximo consumo de uma forragem pelo ruminante depende, primariamente, das taxas de escoamento do rúmen da celulose e hemicelulose. Estas taxas, por sua vez, dependem de vários fatores que interferem na atividade da flora microbiana do rúmen, quais sejam: evolução do processo de lignificação com o estágio de maturação das forrageiras, parcial ausência de nutrientes para a microflora como nitrogênio ou minerais e a presença em excesso de agentes bacteriostáticos.

Dada a sua importância econômica e científica, este assunto vem sendo estudado extensivamente por nutricionistas e fisiologistas em várias partes do mundo, gerando uma enorme gama de conceitos relacionados ao binômio animal-plantas, parte dos quais foram reunidos no presente trabalho de revisão.

Termos para indexação: alimento, produção, eficiência produtiva, alimentos fibrosos, rúmen, nutrição.

FACTORS AFFECTING INTAKE AND UTILIZATION OF LOW-QUALITY FORAGES BY RUMINANTS. A Review

ABSTRACT – The maximum amount of food a ruminant consumes is of great value to a farmer. In general the greatest the intake the smaller

¹ Parte da tese apresentada pelo autor ao "Graduate Council of the Sydney University" para obtenção do título de MS.

² Eng^o-Agr^o M. Sc. Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte – CNPGC – EMBRAPA, Caixa Postal 149, CEP 79100 – Campo Grande, MS.

the amount of food necessary per unit of production. This fact points out to the animal's productive efficiency. The economic consequence is that greater profits are a function of the ruminant capacity to digest cheaper and largely available low-quality forages.

A higher food intake depends primarily on the rumen clearance rates of cellulose and hemicellulose. These rates however depend on many factors which influence the rumen's microflora activity such as excessive lignification which occurs with advanced maturity of forages, partial starvation of rumen microflora in nutrients such as nitrogen and minerals and the presence in excess of bacteriostatic agents.

Due to its enormous economic and scientific importance this subject has been extensively studied by nutritionists and physiologists all over the world, creating a great number of ideas related to the binomial animal-plant, part of which were put together in this review work.

Index terms: food, production, productive efficiency, rumen, nutrition.

1 INTRODUÇÃO

O consumo voluntário de forragens por ruminantes é determinado por fatores inerentes ao animal e à planta. Os fatores relacionados ao animal incluem idade, sexo, peso vivo, fase de lactação e condições corporais (Arnold 1969; Bines 1971). Os fatores relativos à planta, os quais incluem a composição química e a estrutura anatômica, determinam a palatabilidade, impalatabilidade e comestibilidade da forragem. McClymont (1967) definiu palatabilidade como sendo a propriedade de uma ração em eliciar os estímulos olfativo, gustativo, tátil e cinestésico, que afetam sua relativa comestibilidade, e impalatabilidade como sendo a propriedade da ração em eliciar estímulos similares, que afetam sua absoluta comestibilidade. As diferenças nas quantidades relativas das várias rações consumidas por um determinado animal, quando igualmente disponíveis, foram descritas como a comestibilidade relativa, e as diferenças nas quantidades absolutas consumidas, quando existe apenas uma ração disponível, foram descritas como a comestibilidade absoluta (McClymont 1967). A palatabilidade influencia a resposta imediata de um animal a uma ração, sendo portanto uma propriedade qualitativa, enquanto que a comestibilidade é uma medida quantitativa da aceitabilidade da ração. McClymont (1967) também expressou a capacidade de uma ração em ser digerida e escoada do rúmen, e sua capacidade em ocupar espaço no rúmen após a ingestão e durante sua digestão, como sendo sua "ingestibilidade", a qual talvez seja a maior propriedade da ração em determinar o seu consumo por ruminantes.

O objetivo desta revisão bibliográfica foi o de adquirir uma melhor compreensão dos fatores que afetam a comestibilidade e "ingestibilidade" das forragens, pela discussão dos mesmos, dentro dos seguintes itens:

1. Consumo voluntário
2. Digestão no rúmen e taxa de passagem
3. Digestão nos intestinos e taxa de passagem
4. Composição química das forragens
5. Estrutura física das forragens.

2 CONSUMO VOLUNTÁRIO

O termo consumo voluntário é usado para descrever a quantidade de uma ração ingerida por um animal quando esta é oferecida *ad libitum* (Campling 1964). A capacidade de uma ração ser ingerida é regulada pelas variações fisiológicas no animal (Forbes 1971), balanço energético (Baile & Forbes 1974), fatores ambientais (Wiepkema 1971), estímulos fisiológicos (McClymont 1967) e fatores físicos (Campling 1969). Revisões mais gerais sobre este assunto foram escritas por Makela (1955); Blaxter et al. (1961); Balch & Campling (1962); Campling (1964); Bines (1971) e Baile (1975).

De uma forma geral, os muitos fatores, que controlam o consumo voluntário por ruminantes, têm sido divididos em dois grupos principais: (a) fatores físicos, limitando o consumo da ração a níveis abaixo daquele capaz de satisfazer as demandas metabólicas; (b) fatores fisiológicos, influenciando a homeostasia. Os inter-relacionamentos destes fatores determinam a iniciação e a cessação de uma refeição voluntária.

A evidência do consumo, sendo limitada primariamente pelas condições físicas, dentro do trato intestinal, particularmente, pela quantidade de material no retículo-rúmen, foi achada por Campling et al. (1961). Estes autores mostraram que as vacas cessavam de comer quando havia quantidades similares de matéria seca no retículo-rúmen. Nestas condições, o consumo subsequente depende diretamente das taxas de escoamento deste material do retículo-rúmen. Este fato foi mostrado por Campling & Balch (1961), os quais conseguiram fazer com que as vacas comessem por muito mais tempo do que o normal, quando porções do material ingerido eram retiradas através de uma cânula ruminal.

O escoamento do bolo alimentar do retículo-rúmen compreende o efeito somativo de duas taxas: a de digestão e a de passagem do material indigerido (Ellis 1978). Segundo Campling (1969), estas taxas podem ser afetadas pela efi-

cácia de um ou mais dos seguintes processos: (a) digestão microbiana; (b) desintegração física; e (c) mecanismo propulsivo, transferindo material através do trato intestinal.

A propriedade de “ingestibilidade” das forragens, talvez seja o maior fator, controlando o esvaziamento do retículo-rúmen, o que é evidenciado pelos seguintes fatos: (a) o tratamento físico das forragens aumenta o consumo através do aumento da taxa de passagem (Minson 1963), e (b) a suplementação de nitrogênio em forragens com baixo teor deste aumenta a taxa de digestão, a taxa de passagem e o consumo, provavelmente, graças a uma melhora na atividade das bactérias celulolíticas no rúmen (Coombe & Tribe 1963). Parece que a propriedade “ingestível” de uma forragem é representada principalmente pelo seu teor de parede celular, visto que seu conteúdo celular é rapidamente fermentado no rúmen, não ocupando espaço por períodos longos. Isto é confirmado por resultados, mostrando correlações negativas entre o teor de parede celular e o consumo da matéria seca (Mertens 1973), e correlações positivas entre o tempo gasto ruminando por unidade de matéria seca consumida e o seu teor de parede celular (Osborn et al. 1972). Assim, a taxa de escoamento do bolo alimentar do retículo-rúmen depende primariamente do conteúdo de parede celular de uma forragem e de suas taxas de cominuição e digestão.

Com dietas de alta digestibilidade, as quais não encham o retículo-rúmen até sua capacidade, é pouco provável que a distensão seja um fator limitante do consumo. Quando as vacas foram alimentadas com feno, forragem seca e concentrados, o conteúdo de matéria seca no rúmen, após a alimentação, foi respectivamente (kg) 16,2, 14,7 e 6,6 de acordo com Freer & Campling (1963). Estes resultados sugerem que nos animais alimentados *ad lib* com feno e forragem seca, a distensão do rúmen, ao fim de uma refeição, pareceu controlar o consumo voluntário. Entretanto, o mesmo mecanismo não aconteceu quando o concentrado foi oferecido nas mesmas condições, visto que o conteúdo de matéria seca no retículo-rúmen foi bastante inferior aos valores obtidos para o feno e a forragem seca. Esta observação foi confirmada posteriormente por Conrad et al. (1964), quando mostraram que para as vacas, comendo rações de digestibilidade entre 52 e 66%, o consumo foi regulado primariamente pela distensão do rúmen, mas com rações entre 67 e 80% de digestibilidade, o consumo foi limitado primariamente por fatores fisiológicos. Assim, se o conteúdo de energia digestível é tal que o rúmen é enchido antes que as necessidades de energia do animal sejam supridas, a distensão do rúmen determinará o consumo, e o consumo diário dependerá das taxas de escoamento do retículo-rúmen, as quais são controladas pela propriedade “ingestível” de cada forragem. Por outro lado, se a concentração de energia digestível na dieta é suficientemente alta, o animal continuará consumindo, até que todos os requerimentos para os processos produtivos sejam supridos.

Baseado no conteúdo de energia digestível de uma dieta, Baumgardt (1969)

mostrou a habilidade dos ruminantes em controlar o consumo de energia. Ele concluiu que o consumo de uma ração aumenta a medida que aumenta o consumo de energia digestível até um valor de 10,5 kJ/g. Para rações acima deste valor, o consumo da matéria seca começa a diminuir, enquanto o consumo de energia digestível permanece constante.

Estes relacionamentos propostos, como reguladores do consumo voluntário em ruminantes, estão graficamente representados na Fig. 1.

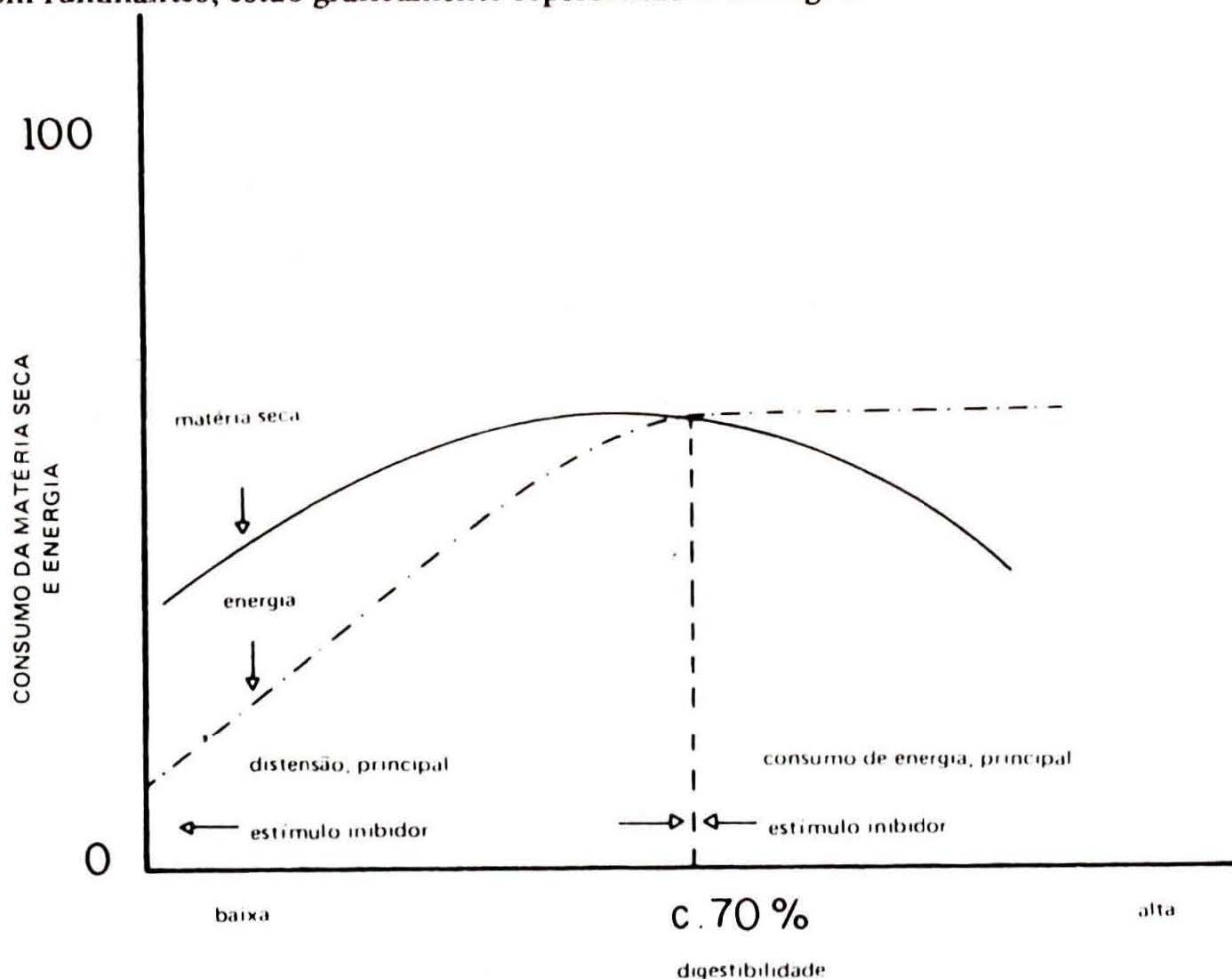


FIG. 1. Representação diagramática do relacionamento entre digestibilidade de uma dieta e consumos da matéria seca e energia em ruminantes (de acordo com McClymont 1967).

3 DIGESTÃO NO RÚMEN E TAXA DE PASSAGEM

Os tecidos da planta contêm cerca de 75% de carboidratos e sua quantidade e distribuição dependem da espécie, ambiente e estágio de crescimento. Estes carboidratos são primariamente polissacarídeos, incluindo celulose, hemicelulose, pectinas, frutanas e amido. Destes, a celulose e a hemicelulose são os mais abundantes e os principais constituintes da parede celular das plantas. A digestão dos polissacarídeos da planta no rúmen é um processo de fermentação microbiana, característica essencial dos ruminantes. Os principais produtos finais desta fermentação são os ácidos graxos voláteis, representados principalmente pelo ácido acético,

propiónico e n-butírico, os quais fornecem acima da metade do suprimento total de energia dos ruminantes (Annison 1965). A eficiência com que estes polissacarídeos são digeridos no rúmen depende da provisão de nutrientes requeridos pelos microorganismos, tais como, nitrogênio, enxofre, cobalto etc.

O crescimento das bactérias digestoras da fibra no rúmen é comumente limitado pela deficiência de nitrogênio, e nesta situação, a taxa de digestão da fibra é reduzida (Campling et al. 1961, 1962). Acredita-se que sintomas de deficiência parcial de nitrogênio, para os microorganismos do rúmen, ocorrem com forragens, contendo menos do que 6% de proteína bruta (Coleman & Barth 1977). Nestas condições, a suplementação de nitrogênio torna-se bastante eficiente em ativar a população microbiana, como foi mostrado por Balch e Campling (1964). A suplementação de nitrogênio para ruminantes, ao contrário dos não ruminantes, não precisa ser necessariamente um particular balanço de aminoácidos essenciais, mas pode ser através de amônia ou algum precursor de amônia, tal como a uréia (Virtanen 1969).

Esta capacidade da população microbiana do rúmen em formar proteína a partir da amônia é de importância essencial na nutrição dos ruminantes. Czerkawski (1978) mediu a eficiência de síntese protéica da microflora do rúmen e quantificou-a em torno de 18–22 g de nitrogênio microbiano por kg de matéria orgânica realmente fermentada no rúmen. Entretanto, para que esta síntese microbiana de compostos nitrogenados ocorra no rúmen, é necessário que haja uma certa quantidade de energia na dieta, o que foi indicado por Roy et al. (1977), como sendo de 1.25 MJ de energia metabolizável por grama de nitrogênio microbiano incorporado. A taxa de diluição no rúmen foi mostrada por Cole et al. (1976), afetando a síntese protéica da microflora do rúmen. Este bem como outros fatores, afetando a síntese microbiana no rúmen, foram revisados por Thomas (1973). A extensão de digestão da proteína microbiana, no intestino delgado, foi mostrada por Smith (1975), ser em torno de 60–70%. Estes e outros aspectos do metabolismo do nitrogênio foram revisados por Hungate (1966); Mercer & Annison (1974); Church (1975) e Orskov (1977 a).

A utilização do nitrogênio fornecido através da dieta tende a aumentar consideravelmente em ovinos com balanço positivo de enxofre (Starks et al. 1953). Este balanço foi sugerido como sendo ótimo, segundo Moir et al. (1967, 1968), quando a relação de nitrogênio: enxofre na dieta é igual a 10. A diferença que existe entre espécies animais, no metabolismo do enxofre, foi sugerida por Bird (1974), como um fator responsável pela menor eficiência dos ovinos, comparada aos bovinos, em utilizar forragens de baixa qualidade. Segundo este autor, os ovinos apresentam uma menor capacidade de reciclagem de sulfatos para o rúmen, do que os bovinos, dando para estes últimos, portanto, melhores condições de retenção de nitrogênio. O metabolismo do enxofre em ovinos é discutido em trabalhos publicados por Bray (1969) e Bray & Hemsley (1969).

O cobalto ocupa uma posição única entre os microelementos, visto ser parte integrante da molécula da vitamina B₁₂. Os microorganismos do rúmen são os intermediários na síntese de vitamina B₁₂ a partir do cobalto, portanto a presença de cobalto na dieta é essencial para o crescimento do animal, considerando que a vitamina B₁₂ não está presente em produtos vegetais e normalmente não é suplementada para ruminantes (Maynard & Loosli 1969). Ainda, segundo estes autores, o teor de cobalto no solo é um problema regional, sendo portanto, responsável por variação no teor de matéria seca de forrageiras de 0.1 ppm (áreas não deficientes) a 0.004 ppm de cobalto (áreas problemáticas). Smith & Loosli (1957) publicaram uma extensa revisão sobre o cobalto e vitamina B₁₂ na nutrição de ruminantes.

Quando as exigências nutricionais dos microorganismos do rúmen são satisfeitas, existe forte evidência mostrando que oferecendo-se dietas de alto conteúdo fibroso, o consumo voluntário é limitado primariamente por fatores físicos (distensão do rúmen), os quais estão relacionados aos atributos da forragem consumida e do animal consumidor (Blaxter 1962). Nestas condições, aumentos no consumo voluntário estariam dependentes das taxas de escoamento do retículo-rúmen do material ingerido (Balch & Campling 1964). Essa taxa de escoamento do bolo alimentar depende, por sua vez, da sua taxa de desdobramento no rúmen, por ambos processos, microbiano e mecânico, este último dependendo da extensão de ruminação e motilidade do rúmen.

Uma característica comum nos estudos de ruminação, quando relacionados às características físicas e químicas das forragens, é que a medida em que a dieta se torna mais fibrosa, o tempo gasto, ruminando, tende a aumentar (Hancock 1954; Osbourn et al. 1972). Estes últimos autores observaram que ovinos alimentados com duas cultivares de azevém perene, com teores similares de parede celular e digestibilidade consumiram as mesmas quantidades, porém gastaram de 8 a 10% mais tempo mastigando (por kg de matéria seca), quando consumindo a cultivar mais resistente à trituração. Tanto o consumo como a ruminação afetam o gasto de energia, graças ao trabalho muscular envolvido, e foi mostrado por Graham (1964), que este gasto para ovinos foi de 2,26 e 1,00 kJ/hr/kg peso vivo, respectivamente. O maior valor para o consumo, inclui o gasto para manter a posição em pé, que é de 1,42 kJ/hr/kg peso vivo. A trituração de forragem reduz o tempo gasto na ruminação (Gordon 1958; Weston & Hogan 1967), e quando ovinos foram alimentados com uma ração triturada e outra cortada, o efeito de restringir mecanicamente a ruminação foi em aumentar marcadamente o tempo de retenção no rúmen da forragem cortada, mas apenas levemente, com a forragem triturada (Pearce & Moir 1964). Isto evidencia a influência do tamanho de partícula sobre a velocidade de passagem do material ingerido para fora do rúmen e a importância do efeito mecânico da ruminação no processo de digestão. O índice de característica fibrosa de uma dieta proposto por Balch (1971) pode ser usado como um meio para descrever quantitativamente a propriedade física de uma dieta. Segundo este autor,

esta característica parece estar mais relacionada com o tempo gasto mastigando (comendo e ruminando) do que com o tempo gasto comendo e/ou ruminando. A ruminação, que envolve a regurgitação do bolo alimentar do retículo-rúmen, é controlada pelos movimentos sincronizados do retículo e do rúmen. A variação nos padrões de motilidade associada com estados de sonolência foi revisada por Ruckebush (1975), e o controle do sistema nervoso central da motilidade foi revisado por Comline & Message (1965). Uma revisão geral sobre motilidade do trato intestinal foi feita por Church (1975).

A extensão de fermentação dos carboidratos é variável de acordo com a espécie animal, e já foi mostrado que bovinos têm uma melhor capacidade para digerir oferecidas *ad lib* do que ovinos (Blaxter et al. 1966; Playne 1970). A menor eficiência digestiva de ovinos é associada com um menor tempo de retenção do alimento no retículo-rúmen (Ress & Little). Considerando que o tempo de retenção é largamente determinado pela extensão e eficiência de mastigação do alimento (Freer et al. 1962), a mais eficiente capacidade para mastigar de ovinos, quando comparada a dos bovinos, poderia ser o principal fator, afetando os padrões de fermentação, entre essas duas espécies animais.

A composição de uma dieta é reconhecida como sendo provavelmente, o mais importante fator isolado, influenciando tanto o número total, como as diferentes proporções de espécies de bactérias no rúmen (Kistner 1965). Este fato é evidenciado pela produção de ácidos graxos voláteis a partir de polissacarídeos marcados (C_{14}) (Satter et al. 1964), e digestão da celulose *in vitro* (Donefer et al. 1960).

3.1 Tratamento físico e químico de forragens

Em ruminantes alimentados com dietas de baixa digestibilidade, a capacidade do rúmen é o fator primário, limitando o consumo, seguido pela taxa de digestão e taxa de passagem. Estas taxas parecem ser influenciadas marcadamente pelas características físicas do material ingerido, características essas que determinam a propriedade "ingestível" da dieta. Os tratamentos físico e químico das forragens têm recebido especial atenção como meios de melhorar a "ingestibilidade", e ao mesmo tempo, resolver o problema prático de manejo com volumosos.

3.1.1 Tamanho de partícula

Os dois principais processos que reduzem a fibra no rúmen em pequenas partículas são ruminação e degradação microbiana (Pearce & Moir 1964). A ruminação tanto em ovinos como em bovinos é estimulada pela característica fibrosa de uma dieta (Welch & Smith 1969, 1970) e pela forma física desta dieta (Welch & Smith 1971). A distribuição do tamanho de partículas no rúmen de vacas foi

estudada por Evans et al. (1973). Eles observaram que o tamanho de partícula estava relacionado com a densidade (quanto menor a partícula, maior a densidade) influenciando, conseqüentemente, na localização dessas partículas dentro dos diversos compartimentos do rúmen. Este fato pode afetar a taxa de digestão microbiana, uma vez que a fermentação é melhor desenvolvida no saco ventral do rúmen (Miles 1951). Evans et al. (1973) também relataram que existe no rúmen uma grande proporção da matéria seca do material ingerido, que é consideravelmente menor do que 1 mm, enquanto que Welch & Smith (1978) observaram que partículas de tiras de polipropileno tão grandes como 2 cm foram capazes de deixar o rúmen de uma vaca. Isto sugere que o orifício retículo-omosal não deveria ser um fator limitando à passagem de partículas menores que 2 cm de comprimento. Conseqüentemente, existem outros fatores, além da abertura do orifício do retículo-omosal, regulando a passagem de partículas e estes fatores seriam responsáveis pela retenção de partículas no rúmen de 1 mm de comprimento. Troelsen & Bigsby (1964), usando um mastigador artificial, foram capazes de determinar índices de tamanho de partículas os quais foram significativamente correlacionados com o consumo voluntário.

3.1.2 Tratamento físico

Muitos trabalhos foram publicados sobre o efeito da moagem no consumo voluntário e vários aspectos da digestão do alimento e produção animal. Estes estudos foram revisados por Minson (1963); Beardsley (1964); Moore (1964) e Meyer et al. (1965), e a conclusão geral do efeito produzido pelo processo de moagem e peletização de forragens foi o de aumentar o consumo em detrimento de uma redução na digestibilidade, e melhorar o teor líquido de energia. Entretanto, a magnitude destes efeitos varia consideravelmente de uma dieta para outra, assim como varia de acordo com as diferentes condições experimentais.

O efeito da moagem sobre as espécies animais foi estudado por Greenhalgh & Reid (1973). Eles observaram que aumentos no consumo após a moagem foram maiores para ovinos do que para bovinos. Entretanto a depressão na digestibilidade foi mais acentuada para os bovinos do que para os ovinos. A moagem, de acordo com Meyer et al. (1959), parece ser o principal fator influenciando o aumento do consumo de feno peletizado, este último processo servindo apenas para colocar um alimento pulverizado e pulverulento numa forma mais palatável. Os tratamentos físicos de forragens secas, tais como "wafers" e "cobs" (forragem seca cortada e expelida de um sistema de prensagem conhecido como "ram press" e "rotary-die press", respectivamente), e "pellets" (forragem seca moída e prensada), foi discutido por Tayler (1970), concluindo que o consumo foi consideravelmente dependente da estrutura e densidade do material após prensagem. Uma conclusão similar foi alcançada por Tetlow & Wilkins (1972), trabalhando com "wafers" de

ferragem seca. Ao que parece, um valor de densidade igual a 1.0 g/ml seria o ideal, e valores abaixo ou acima deste limitarão o consumo pela característica pulverulenta ou de dureza, respectivamente.

É geralmente aceito que os efeitos do processamento de ferragens podem ser diretamente relacionados ao módulo de finura (Tayler 1970) e à qualidade do material (Campling & Freer 1966), e também que a redução na digestibilidade da matéria orgânica é devida a um decréscimo na digestibilidade da celulose e hemicelulose (Wilkins et al. 1972). Dentre os equipamentos para moagem de ferragem, o moinho de bola parece ser mais eficiente em romper a estrutura física dos componentes da fibra do que o moinho de martelo (Dehority & Johnson 1961). Estes autores mostraram que o tempo necessário, para o início da digestão da celulose *in vitro*, foi marcadamente reduzido quando o material foi moído em um moinho de bola, do que quando moído em moinho de martelo com malha 40. Hinders et al. (1961) observaram uma alteração no pH do rúmen, quando ferragens moídas ou na forma de “pellets” foram oferecidas para vacas. Este fato talvez contribua, juntamente com outros, na redução da digestão da fração fibrosa da dieta, visto que o limite do valor pH no rúmen entre 5.5–5.0 previne a necessária adesão das bactérias à fibra para que a digestão ocorra (NIRD, 1978). O suprimento de uma pequena quantidade de palha para um animal, recebendo uma ração constituída de “pellets”, influiu num aumento do pH de 5.2 para 6.5 (Cullison 1961), graças ao efeito estimulante da palha sobre a produção de saliva.

A moagem e peletização, segundo Alwash & Thomas (1971), também pode afetar a composição química de ferragens, em particular o conteúdo de nitrogênio. Outras revisões mais específicas, sobre os efeitos dos processos físicos das ferragens, foram feitas por Osbourn et al. (1976) relacionado ao consumo e utilização de energia, e por Hobson (1972) relacionado com a fermentação no rúmen.

3.1.3 Tratamento químico

Uma enorme quantidade de energia potencialmente capaz de ser utilizada durante o processo de fermentação microbiana é excretada todos os dias pelos ruminantes, e de acordo com Smith et al. (1970), isto representa cerca de 40 a 60% do consumo total da energia potencialmente utilizável. As características físicas e químicas das ferragens formam barreiras naturais que impedem o ataque da celulose e hemicelulose pelos microorganismos do rúmen, e são responsáveis por redução na digestibilidade. O tratamento químico das ferragens constitui-se num meio para intensificar a digestibilidade através da ruptura dessas barreiras naturais. Daniels & Hashim (1977) tentaram o uso de preparações de enzimas de fungos celulolíticos como um meio para melhorar a digestibilidade da casca de arroz, e Smith et al. (1970) testaram um grande número de produtos químicos

para melhorar a digestibilidade das fezes dos ruminantes. Estes produtos químicos foram divididos entre álcalis (degradação não-específica da celulose, hemicelulose e lignina) e oxidantes (mais específico para lignina). Estes pesquisadores concluíram que o hidróxido de sódio foi efetivo e também o tratamento mais econômico. À mesma conclusão chegaram Chandra & Jackson (1971), quando comparando diversos agentes solventes de lignina.

De acordo com dados da literatura, o hidróxido de sódio foi efetivo em aumentar o consumo voluntário e digestibilidade da matéria seca, nos seguintes materiais:

- Palha de trigo – Levy et al. (1977), Kellaway et al. (1978);
- Palha de aveia – Donefer (1968), Kellaway et al. (1978);
- Palha de cevada – Wilkinson & Santillana (1978), Carmona & Greenhalgh (1972).
- Palha de arroz – McManus & Choug (1976), Jackson (1977a)
- Grãos – Orskov & Greenhalgh (1977), Orskov et al. (1978).

Na grande maioria, estes resultados foram baseados em experimentos, nos quais o material tratado foi um componente da dieta, o que talvez venha encobrir parcialmente o efeito do tratamento com hidróxido de sódio.

O melhoramento nutricional das forragens de baixa qualidade pelo tratamento com hidróxido de sódio foi revisto por Jackson (1977b) e Capper et al. (1977) e os modos de ação deste tratamento químico na forragem foram descritos por Waller (1976).

3.2 Cinética da digestão

Desde que a digestibilidade por si só não responde necessariamente por diferenças no consumo voluntário, o uso de novos conceitos integrados em modelos matemáticos vem se mostrando muito útil na interpretação da cinética e interações do processo produtivo.

A digestão e passagem do material ingerido não são os dois principais mecanismos que reduzem a pressão exercida ao rúmen quando cheio, e ambos são afetados pela taxa de cominuição. De acordo com Hungate (1966), a trituração do material fibroso no retículo-rúmen pode ser considerada como um processo envolvendo a transferência de partículas grandes de um reservatório de ruminação para outro reservatório de partículas pequenas, de onde são posteriormente descarregadas para o omaso. A taxa constante de transferência dessas partículas de um reservatório para outro foi medida por Evans et al. (1973). Blaxter et al. (1956) propuseram ser o desaparecimento da celulose proporcional à quantidade presente de celulose potencialmente digestível, mas este conceito foi somente considerado nos estudos cinéticos da digestão da celulose, após a observação por Wilkins (1969) de que nem toda a celulose existente numa planta era potencialmente digestível.

Waldo (1969) sugeriu que enquanto a celulose total de uma dieta não parece seguir nenhum significativo de cinética da digestão, a fração da celulose potencialmente digestível, talvez siga um modelo cinético de primeira ordem. Isto de fato foi mais tarde mostrado por Gill et al. (1969) e confirmado pelo modelo de desaparecimento de celulose do rúmen proposto por Waldo & Smith (1972).

Um discreto período neutro, que ocorre antes do início da digestão, foi incluído num modelo de digestão da fibra no rúmen proposto por Mertens (1977). Este autor dividiu a digestão ruminal em 4 componentes: fase neutra, taxa de digestão, potencial de digestão e taxa de passagem. A fração potencialmente digestível poderia ser predita usando pontos finais da fermentação ou a máxima extensão dos valores de digestão. Ellis (1978), revisando conceitos matemáticos simplificados sobre a cinética da digestão, enfatizou a necessidade de maiores informações sobre o relacionamento entre a degradação química e física dos tecidos das forragens e sua fragmentação em tamanhos suficientemente pequenos para serem transferidos do reservatório de ruminação (partículas grandes) para o reservatório de pequenas partículas e posteriormente ao omaso. Este autor também sugeriu a necessidade de uma maior utilização da matemática aplicada aos estudos do processo digestivo.

4 DIGESTÃO E PASSAGEM NOS INTESTINOS

Em uma revisão feita por Hoover (1978), sobre digestão e absorção nos intestinos de ruminantes, o autor diz que o volume de material no intestino grosso equivale a 20% do volume de material no rúmen, e o tempo de retenção nos intestinos é de 10 a 29 horas. Este volume e fluência representam uma considerável capacidade para fermentação, e de acordo com o mesmo autor, isto poderia responder por cerca de 8–17% da produção diária total de ácidos graxos voláteis. A capacidade do intestino grosso em digerir celulose e hemicelulose, em contraste com a baixa capacidade do intestino delgado, se deve principalmente à fermentação que ocorre no ceco. Em novilhos, o número de bactérias celulolíticas ($\times 10^6$) e a produção de ácidos graxos voláteis (M/ml) no rúmen foram 70,3 e 58,6 respectivamente, e no ceco 6.0 e 34.3, respectivamente (Kern et al. 1974). Isto sugere que a digestão, tanto da celulose como da hemicelulose nos intestinos, pode ser de significância nutricional, particularmente, quando dietas de alto valor nutritivo são usadas (McRae & Armostrong 1969). Uma persistente acidez nos intestinos de bovinos alimentados com dietas ricas em energia foi achada por Wheeler & Noller (1977) e a correção deste baixo pH com o uso de minerais permitiu sensíveis aumentos na digestibilidade, segundo Noller (1978). Ulyatt et al. (1975) mostraram que com um grupo de dietas, tais como: forragem fresca, gramineas secas, silagem, feno e cereais, entre 5 a 30% da celulose digestível foi

digerida no intestino grosso e que a proporção da hemicelulose digerida neste órgão foi maior do que a da celulose.

As mudanças na forma física de forragens aumentam significativamente o volume e a fluência do material ingerido dentro dos intestinos e a sua consequência sobre a digestão dos carboidratos estruturais foi mostrada pelos resultados de Beever et al. (1972). Estes autores observaram que a digestibilidade aparente da celulose e hemicelulose no rúmen de ovinos foi significativamente reduzida, quando a dieta foi oferecida na mesma quantidade após ter sido cortada ou moída e peletizada, mas aumentou significativamente no intestino grosso. Resultados similares foram publicados por Thomson et al. (1972), trabalhando com ovinos alimentados com feno de alfafa. Entretanto, Hogan & Weston (1967), trabalhando com a mesma dieta e espécie animal, não acharam nenhuma diferença entre a digestibilidade da celulose, quando esta forragem foi oferecida a níveis próximos do *ad lib* cortada ou moída. Grovum & Williams (1977) observaram o efeito do nível de consumo de alimentos sobre modelos cinéticos da digestão no rúmen e intestinos. Eles sugeriram que a importância relativa do intestino grosso na digestão aumentaria a medida que aumentasse o consumo, visto que níveis de consumo do alimento são precedidos por crescentes aumentos na passagem de material indigerido para o intestino.

O mecanismo de absorção de ácidos graxos voláteis no ceco de ovinos foi estudado por Myers et al. (1967). Eles mostraram que a absorção não ocorre por transporte ativo, mas parece ser primariamente por simples difusão, as respostas da população microbiana do intestino grosso à introdução de substâncias fermentáveis deveriam ser bastante similares àquelas que ocorrem no rúmen (Orskov et al. 1969), mas quando 100 g de amido foram fermentados no intestino grosso, a produção de nitrogênio bacteriano e endógeno foi de aproximadamente 1,0 g e quando esta mesma quantidade de amido foi fermentado no rúmen, a produção de nitrogênio foi apenas 0,4 g (Orskov et al. 1970). Este fato sugere que mudanças de local de fermentação do rúmen para o ceco acarretariam em uma maior disponibilidade de nitrogênio bacteriano para o animal por unidade de carboidrato fermentado.

Em ruminantes, a reciclagem de nitrogênio para o rúmen é responsável pela sua habilidade de sobrevivência sob condições nutricionais adversas, e os intestinos têm um importante papel neste processo (Nolan & Leng 1972; Nolan et al. 1967). Os aspectos fisiológicos e quantitativos da transferência de nitrogênio para o rúmen foram revistos por Chalmers et al. (1976).

Considerando todos estes resultados, é evidente que a contribuição dos intestinos na nutrição de ruminantes está dependente da quantidade de material potencialmente digestível que flue do abomaso. Isto por sua vez é influenciado por muitos fatores, incluindo o estado de envelhecimento da forragem, o nível de consumo, a quantidade de concentrados e o processamento físico-químico da dieta.

5 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS FORRAGENS

As forragens, de acordo com sua disponibilidade nutricional, podem ser divididas em duas partes principais: uma parte altamente digestível constituída pelo conteúdo celular e outra de menor e bastante variável digestibilidade constituída pelos componentes da parede celular.

O conteúdo celular consiste de carboidratos solúveis, proteína bruta, compostos orgânicos solúveis em éter e cinza solúvel, sendo considerado por Van Soest (1967), ter um coeficiente de digestibilidade de 0.98. Aerts et al. (1978), revisando resultados de vários autores, encontram uma amplitude de coeficientes de digestibilidade para o conteúdo celular bastante alta, indo de 0.90 até 1.26. Portanto, o conteúdo celular não deveria ser um fator depressivo na degradação de tecidos da planta no rúmen ou do consumo voluntário de forragens, dada a sua alta e consistente taxa de escoamento do rúmen (Bailey 1967).

A fração fibrosa das forragens, quimicamente representada pelo método do detergente neutro de Van Soest & Wine (1967) e denominada como parede celular, é de grande importância nas avaliações nutricionais das forragens em termos de quantidade e disponibilidade, este último parâmetro sendo controlado pelos elos químicos e físicos que unem a celulose, hemicelulose e lignina.

Uma forragem por ocasião de sua colheita é o resultado acumulativo de seu crescimento sob condições ambientais, as quais influenciam a sua composição e conseqüentemente o seu valor nutritivo. A intensidade de luz, como mostrado por Deinum et al. (1968), tende a aumentar o conteúdo de carboidratos solúveis na forrageira, enquanto que o aumento da temperatura favorece a conversão destes carboidratos em matéria estrutural. Mais recentemente Van Soest et al. (1978) afirmou que a temperatura ambiental, aumentando o processo de lignificação, tem um efeito dominante na composição da forrageira, enquanto que outros efeitos, tais como: maturação e luz seriam secundários. Isto sugere que diferenças entre forragens tropicais e temperadas poderiam ser atribuídas primariamente às condições ambientais, como mostrado por Minson & McLeod (1970). Estes autores acharam que gramíneas tropicais e temperadas, crescendo em um ambiente subtropical, apresentaram valores similares de digestibilidade de matéria seca, os quais foram negativamente correlacionados com a temperatura média ($r = -0.76$) e taxa de evaporação ($r = -0.64$). Existe muita evidência mostrando que aumentos na temperatura, os quais são sucedidos por aumentos na taxa de crescimento e conseqüentemente alterações nos componentes químicos, poderiam ser a principal causa da variação da digestibilidade das forragens (Smith 1970, trabalhando com gramíneas temperadas, Wilson & Ford 1971, trabalhando com gramíneas tropicais e temperadas e Ivory et al. 1974, trabalhando com temperadas). A significância destes resultados é que talvez não seja possível desenvolver gramíneas subtropicais com valores de digestibilidade tão altos como aqueles achados em gramíneas

temperadas. De acordo com Minson & McLeod (1970), as leguminosas talvez não se portem da mesma forma que as gramíneas, visto a similaridade em digestibilidade do *Trifolium repens* e *Phaseolus atropurpureus* tanto durante o verão como no inverno.

O efeito da estação de crescimento sobre o valor nutritivo das pastagens foi revisado por Reed (1978), concluindo que quando estações de crescimento cedo (fim da primavera – início do verão) e tardia (fim do verão – início de outono) foram comparadas, houve diferenças no consumo de 10–20%, as quais poderiam ser explicadas pelo maior tempo de retenção no rúmen (20–35%) encontrado para as forrageiras da estação tardia de crescimento.

A diferenciação química e botânica das folhas e talos com o avanço da maturidade é outro fator importante afetando a digestibilidade das forragens. O aumento progressivo do teor de lignina com o desenvolvimento da planta é bastante conhecido (Kamstra et al. 1958). Este aumento, segundo Pigden (1953), seria devido às mudanças nas proporções dos componentes anatômicos da planta e aumentos da lignina dentro de cada um desses componentes. Assim, mudanças estacionais, afetando os componentes anatômicos da planta, particularmente, aquelas influenciando a relação lâmina e/ou bainha: talo e componentes estruturais, principalmente, afetando o processo de lignificação, têm um grande efeito na digestibilidade total da planta (Jarrige 1963; Jarrige & Minson 1964; Brown et al. 1968; Wilkins 1972; Laredo & Minson 1975) dado ao modo de deposição da lignina nestas frações (Johnston & Waite 1965) a medida que a planta amadurece Ely et al. (1953).

A lignificação por si só não parece ser o único fator afetando a digestão da celulose e hemicelulose pelos microorganismos, visto que a correlação entre a digestibilidade da matéria seca calculada, usando a equação somativa de Van Soest (1965) e a digestibilidade *in vitro* de gramíneas cortadas em três diferentes estádios de crescimento, foi significativa somente com as plantas cortadas durante os dois primeiros estádios de crescimento (Grant & Campbell 1978). Os autores sugeriram que fatores indeterminados relacionados com o amadurecimento afetaram a digestibilidade dos constituintes da parede celular. Entretanto, como regra geral, a medida que a planta amadurece, o teor da parede celular na planta aumenta e sua digestibilidade decresce (Van Soest 1967). A redução na digestibilidade da parede celular foi igualmente atribuível à redução na digestibilidade de seus constituintes, a celulose e hemicelulose (Wilman & Daly 1978), sendo que o teor de lignina na parede celular foi altamente correlacionado com a digestibilidade da celulose ($r = -0.88$) e hemicelulose ($r = -0.89$) (Daly 1976).

Maiores valores de digestibilidade *in vitro* (48 horas de fermentação) da celulose de gramíneas do que de leguminosas com o mesmo teor de lignina foram observados por Dehority & Johnson (1961). Esta maior digestibilidade da celulose de gramíneas em relação às leguminosas foi associada a uma menor relação entre

o teor de lignina e o da parede celular encontrada nas gramíneas (Keys et al. 1969). Para explicar esta diferente ação da lignina na digestibilidade da fração de celulose de gramíneas e leguminosas, Van Soest (1971) propôs que com as gramíneas, a lignina age sobre a fração disponível de celulose para digestão, enquanto que com as leguminosas, o efeito da lignina é sobre a quantidade desta fração para digestão. Estudos citológicos mostrando que a maioria dos tecidos lignificados em talos de alfafa encontram-se no tecido vascular da planta (Brazle & Harbers 1977) associado com a sugestão de Crampton (1957) de que a lignificação extensiva, porém leve dos tecidos da planta, talvez dificulte a taxa de digestão total da forragem mais do que a lignificação intensiva, porém restrita a determinadas áreas, sugere que os diferentes níveis de degradação da fibra no rúmen entre espécies forrageiras seja uma função da forma de distribuição da lignina nos tecidos da planta. Ao que tudo indica, a lignina é um dos mais importantes componentes isolados capaz de reduzir a digestão da celulose pelos microorganismos, mas sua composição química e combinação com outros componentes da planta são ainda incertos. A bioquímica e morfologia da lignina foi revisada por Kefford (1958) e Butler & Bailey (1973). O efeito físico da lignina, cobrindo a celulose e protegendo-a do ataque microbiano, foi mostrado por Dehority & Johnson (1961) e denominado por “teoria de incrustação” por Van Soest & McQueen (1973). A remoção desta barreira por métodos físicos ou químicos aumenta o potencial de digestibilidade da dieta (Minson 1976). A lignificação é bem conhecida em afetar a extensão da digestão, enquanto que a taxa de digestão é provavelmente dependente das propriedades intrínsecas do substrato dos carboidratos estruturais (Van Soest & Robertson, 1977).

A hemicelulose está mais ligada à lignina do que a celulose (Van Soest 1967; Wilman et al. 1977; Capper et al. 1977). Burdick & Sullivan (1963) mostraram que a facilidade de solubilização da hemicelulose medida após tratamento da forragem com ácido diluído foi negativamente correlacionada com o teor de lignina na matéria seca e positivamente correlacionada com a digestibilidade da matéria seca. Isto sugere que a hemicelulose deveria ser menos digestível no rúmen do que a celulose (Richards & Reid 1953; Waite et al. 1964; Sullivan 1966).

Os métodos químicos para estimar a digestibilidade da parede celular baseados no relacionamento de sua digestibilidade com o teor de lignina ou a proporção de lignina para celulose ou hemicelulose são empíricos segundo (Minson 1976) e não relacionados com observações citológicas de que algumas partes da parede celular são inteiramente degradadas, enquanto que outras partes protegidas pela lignina, sílica e cutina são indigestíveis (Wilkins 1972). Van Soest & McQueen (1973) mencionaram que as diferenças biológicas e químicas entre celulose, hemicelulose e lignina, em diferentes amostras de forragens, deveriam ser consideradas, quando as análises químicas são usadas para avaliar o valor nutritivo dessas forragens.

Além da lignina, que reduz o valor nutritivo de forragens para ruminantes,

existem outros elementos, tais como: sílica (Van Soest & Jones 1968) e cutina (Monson et al. 1972) que também podem reduzir a digestibilidade. A sílica tem sido apontada como um importante fator na redução da digestibilidade dos constituintes da parede celular, e com determinadas forragens, a sílica talvez iguale em importância com a lignina. Van Soest & Jones (1968) sugeriram a “teoria da incrustação” como responsável pela baixa digestibilidade da parede celular e também a possibilidade da sílica solúvel agir como um inibidor da atividade celulolítica no rúmen. Numa série de publicações por Smith & Neumann (1970), Smith et al. (1971a) e Smith & Urquhart (1975), foi mostrado que a sílica solúvel no fluido pode afetar marcadamente a digestibilidade das forragens pelos microorganismos, e o efeito primário parece envolver mais propriamente uma inibição da degradação da parede celular do que uma redução na solubilidade dos constituintes não fibrosos. A extensão deste efeito é representada por um decréscimo de aproximadamente uma unidade percentual na digestibilidade da matéria orgânica, para cada aumento percentual no teor de sílica da forragem (Smith et al. 1971b). Contrastando com toda essa evidência acerca do efeito da sílica sobre a digestibilidade de forragens, Minson (1971), trabalhando com *Panicum* sp., concluiu que os principais fatores, controlando a digestibilidade da matéria orgânica, foram à proporção da celulose e hemicelulose presentes e à extensão de lignificação destas frações. A sílica não foi considerada como um fator controlador da digestibilidade da fração de carboidratos estruturais.

O efeito de fertilizantes sobre os níveis de carboidratos estruturais nas forragens não tem sido extensamente investigado. Altos níveis de fertilizantes nitrogenados decresceram os teores de celulose e hemicelulose, esta última fração proporcionalmente mais do que a celulose (Waite 1970). Segundo o mesmo autor, o efeito de altas taxas de fertilizantes nitrogenados e o crescimento mais acelerado da forragem sobre o conteúdo de lignina não foram muito claros. As alterações na composição estrutural do capim pangola dadas à fertilização com cálcio foram mostradas por Rees & Minson (1976) e com enxofre por Rees & Minson (1978). O cálcio aumentou a digestibilidade da hemicelulose e o enxofre diminuiu a digestibilidade do conteúdo celular e aumentou a digestibilidade da celulose e hemicelulose. Em ambos os casos, o tempo de retenção médio da celulose, hemicelulose e lignina no rúmen foi reduzido.

6 ESTRUTURA FÍSICA DAS FORRAGENS

A célula de uma planta é limitada por um invólucro visível chamada de parede celular, e o mais característico polissacarídeo desta parede celular é a celulose (Jarrige 1963), a qual é desenvolvida dentro da parede celular como uma malha estrutural em forma de fios chamada de microfibrilas (Ray 1963). Estas micro-

fibrilas talvez sejam organizadas ao acaso ou em uma forma mais ou menos regular, e os espaços entre elas podem ser preenchidos com lignina, suberina, cutina, graxas, taninos, sais inorgânicos, tais como: carbonato de cálcio, oxalato de cálcio, sílica, e talvez outras substâncias (Fahn 1974).

As características físicas e químicas da parede celular determinam sua taxa de degradação pelos microorganismos do rúmen (Johnston & Waite 1965; Hanna et al. 1973; Akin et al. 1974; Selim et al. 1975). Estudos histológicos executados por Hanna et al. (1973) mostraram que os componentes anatômicos das forragens são atacados diferentemente pelas bactérias sendo o parênquima o primeiro componente a ser digerido, seguido pelo floema e posteriormente pelas células da epiderme.

Hanna et al. (1973), usando microscópio simples, estudaram a razão das diferentes taxas de digestão entre gramíneas temperadas e tropicais. Eles concluíram que estas diferenças eram devidas à organização e compactação das células que constituem o parênquima, tamanho dos espaços intercelulares e características da parede celular. Observações similares foram também feitas por Akin et al. (1973), usando um microscópio de campo. O ataque dos tecidos da planta pelas bactérias do rúmen foram estudadas por Akin et al. (1974), usando um microscópio eletrônico. Eles observaram que as enzimas bacterianas parcialmente degradaram a parede celular primária do parênquima e floema, mas não a grossa parede celular de outros tecidos. Essas células somente foram degradadas após ocorrer a fixação das bactérias. Eles observaram também que bactérias não se fixaram sobre os tecidos lignificados dos feixes vasculares e confirmaram observações preliminares de Akin et al. (1973), em que feixes vasculares lignificados da bainha *Cynodon dactylon* não sofreram qualquer degradação após 72 horas de fermentação *in vitro*. Este trabalho de Akin e colegas também sugere a presença de diferentes tipos de lignina nas forragens, visto que com a *Festuca arundinacea*, feixes vasculares parcialmente lignificados da bainha foram algumas vezes degradados.

Estes trabalhos microscópicos de um modo geral mostram a necessidade de ocorrer uma adesão das bactérias com as células mais resistentes à digestão e sua importância vem de encontro com estudos mais recentes feitos na Inglaterra (NIRD 1978), mostrando que com o pH ruminal entre 5,5–5,0, esta adesão das bactérias pode ser completamente impedida. Estes autores ainda salientaram que esta situação de pH ruminal pode ocorrer em animais consumindo uma grande proporção de concentrados. Hanna et al. (1973), observando tecidos de forragens submetidos à digestão *in vitro* por 98 horas, notaram que a cutina, tricoma, xilema e fibra não foram digeridas e consideradas como componentes indigestíveis da forragem. Estes mesmos componentes anatômicos indigestíveis foram encontrados em resíduos vegetais, após prolongada digestão *in vitro*, por Wilkins (1969), e em fezes de bovinos e ovinos, por Regal (1960).

A seqüência preferencial do ataque bacteriano aos diversos componentes

anatômicos, tanto em gramíneas como em leguminosas, é similar, mas não em relação à taxa de degradação desses componentes, que é bem maior nas leguminosas. Também em leguminosas, foi observado por Brazle & Harbers (1977) que os mesmos indigeríveis tecidos vasculares, encontrados em material extraídos das fezes, foram encontrados em material após sofrer uma fermentação no rúmen dentro de sacos de náilon, por 72 horas. Isto permitiu aos autores concluir que a quantidade de tecido vascular na leguminosa estudada não deveria afetar a taxa e extensão de digestibilidade daquele tecido destinado à digestão. Estas observações talvez dêem suporte àquelas feitas por Donefer et al. (1960), de que o período neutro da digestão, que ocorre antes do início da mesma, e a extensão de digestão da celulose, parecem estar relacionados com as espécies forrageiras.

As características físicas de uma forragem podem ser fatores tão importantes afetando a digestibilidade como o são as características químicas. Isto em parte, foi evidenciado por Wilkins (1972), que achou um desvio padrão residual menor para equações de regressão, relacionando a quantidade de tecidos lignificados tanto com a celulose digerível como com a indigerível, do que quando a lignina determinada quimicamente foi relacionada com essas mesmas medidas de digestibilidade. Isto veio dar suporte à afirmação de Laredo & Minson (1975), de que o maior consumo de folhas do que talos de gramíneas foi devido a diferenças nas propriedades físicas e não à composição química.

A distribuição de sílica em plantas de aveia foi observada por Jones et al. (1963), usando microscópio, e eles acharam que a sílica estava depositada em associação com a parede celular em todos os tipos de células da epiderme, com exceção das células do súber, na camada subepidérmica, vasos e fibras, e também que sua distribuição e concentração nas diferentes partes da planta foram muito variáveis. No sistema epidérmico do broto de *Phragmites australis*, Lau et al. (1978), usando microscópio de campo, observaram que ambas as superfícies da bainha estavam altamente silificadas e na parede celular das longas células da epiderme, a sílica proporciona suporte adicional para o broto, junto com a parede celular dos carboidratos e lignina.

O uso de técnicas de microscópio, na avaliação da degradação de forragens pelos microorganismos do rúmen, foram extensivamente revistas por Akin (1979).

7 CONCLUSÕES

1. O consumo voluntário de uma forragem depende de sua composição química e física, e da eficiência com que o animal é capaz de digerir a fração potencialmente digestível.
2. A separação do processo do escoamento do rúmen, em taxas de digestão

- e passagem do material indigerido, facilita a compreensão dos fatores que contribuem para a diferenciação na comestibilidade entre forragens.
3. A contribuição dos intestinos para o processo de digestão depende da quantidade de material potencialmente digestível que flue pelo abomaso, e isto por sua vez, é uma função da total natureza estrutural de uma forragem.
 4. A lignina deve ser considerada como o fator mais importante na redução da digestibilidade da parede celular, pela sua característica incrustrante sobre a celulose e hemicelulose.
 5. Os estudos histológicos de forragens vêm sendo considerados como um meio essencial para a interpretação das inúmeras alterações celulares que ocorrem no decurso do processo de maturação. Os fatores, tais como: arrançamento celular, intensificação de lignificação, incrustação da epiderme com sílica e cutina e número e tamanho de estômatos, talvez tenham uma substancial participação na degradação da parede celular pelos microorganismos.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AERTS, J. V.; de BRABANDER, D. L. de; COTTYN, B. G.; BUYASSE, F. X.; CARLIER, L. A. & MOERMANS, R. J. Some remarks on the analytical procedure of Van Soest for the prediction of forage digestibility. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 3:309-22, 1978.
- AKIN, D. E. Microscopic evaluation of forage digestion by rumen microorganism. A review. *J. Anim. Sci.*, 48(3):701-9, 1979.
- AKIN, D. E.; AMOS, H. E.; BARTON, F. E. & BURDICK, D. Rumen microbial degradation of grass tissue revealed by scanning electron microscopy. *Agron. J.*, 65(6):825-28, 1973.
- AKIN, D. E.; BURDICK, D. & MICHAELS, D. E. Rumen bacterial interrelationships with plants tissue during degradation revealed by transmission electron microscopy. *Appl. Microbiol.*, 27(6):1149-56, 1974.
- ALWASH, A. H. & THOMAS, P. C. The effect of the physical form of the diet and the level of feeding on the digestion of dried grass by sheep. *J. Sci. Food Agric.*, 22(12):611-15, 1971.
- ANNISON, E. F. Absorption from the ruminant stomach. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PHYSIOLOGY OF DIGESTION IN THE RUMINANT, 2., 1965, London, Butterworths. p. 185-97.
- ARNOLD, G. W. Regulation of food intake in grazing ruminants. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PHYSIOLOGY OF DIGESTION AND METABOLISM IN THE RUMINANT, 3., Cambridge, 1969. *Proceedings*. Newcastle, Oriel Press, 1970. p. 264-76.

- BAILE, C. A. Control of feed intake in ruminant. Digestion and metabolism in the ruminant. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON RUMINANT PHYSIOLOGY, 4., Armidale, 1975. **Proceedings**. University of New England, p. 335-50.
- BAILE, C. A. & FORBES, J. M. Control of feed intake and regulation of energy balance in ruminants. **Physiol. R.**, **54**(1):160-214, 1974.
- BAILEY, R. W. Quantitative studies of ruminant digestion. **New Zealand J. Agric. Res.**, **10**:15-32, 1967.
- BALCH, C. C. Proposal to use time spent chewing as an index of the extent to which diets for ruminants possess the physical property of fibrouness characteristic of roughages. **Brit. J. Nutr.**, **26**(3):383-92, 1971.
- BALCH, C. C. & CAMPLING, R. C. Regulation of voluntary food intake in ruminants. **Nutr. Abstr. R.**, **32**:669-86, 1962.
- BALCH, C. C. & CAMPLING, R. C. Rate of passage of digesta through the ruminant digestive tract. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON THE PHYSIOLOGY OF DIGESTION IN THE RUMINANT, 2., Ames, 1964. Butterworths. p. 108-23.
- BAUMGARDT, B. R. Control of feed intake in the regulation of energy balance. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PHYSIOLOGY OF DIGESTION AND METABOLISM IN THE RUMINANT, 3., Cambridge, 1969. **Proceedings**. Newcastle, Oriel Press. p. 235-53.
- BEARDSLEY, D. W. Symposium of forage utilization: Nutritive value of forage as affected by physical form. 2 Beef cattle and sheep studies. **J. Anim. Sci.**, **23** (1):239-45, 1964.
- BEEVER, D. E.; SILVA, J. F. C. da; PRESCOTT, J. H. D. & ARMSTRONG, D. G. The effect in sheep of physical form and stage of growth on the sites of digestion of a dried grass. 1. Sites of digestion of organic matter, energy and carbohydrate. **Brit. J. Nutr.**, **28**:347-56, 1972.
- BINES, J. A. Metabolic and physical control of food intake in ruminants. **Proc. Nutr. Soc.**, **30**:116-22, 1971.
- BIRD, P. R. Sulphur metabolism and excretion studies in ruminants. XIII. Intake and utilization of wheat straw by sheep and cattle. **Aust. J. Agric. Res.**, **25** (4):631-42, 1974.
- BLAXTER, K. L. In: The energy metabolism of ruminants. London, Hutchinson, 1962.
- BLAXTER, K. L.; GRAHAM, N. McC. & WAINMAN, F. W. Some observations on the digestibility of food by sheep and on related problems. **Brit. J. Nutr.**, **10**:69-91, 1956.
- BLAXTER, K. L.; WAINMAN, F. W. & DAVIDSON, J. L. The voluntary intake of food by sheep and cattle in relation to their energy requirements for maintenance. **Anim. Prod.**, **8**(1):75-83, 1966.

- BLAXTER, K. L.; WAINMAN, E. W. & WILSON, R. S. The regulation of food intake by sheep. *Anim. Prod.*, **3**(1):51-61, 1961.
- BRAY, A. C. Sulphur metabolism in sheep. 1. Preliminary investigation on the movement of sulphur in the sheep's body. *Aust. J. Agric. Res.*, **20**(4):725-37, 1969.
- BRAY, A. C. & HEMSLEY, J. A. Sulphur metabolism of sheep. IV. The effect of a varied dietary sulphur content on some body fluid sulphate levels and on the utilization of urea – supplemented roughage by sheep. *Austr. J. Agric. Res.*, **20**(4):759-73, 1969.
- BRAZLE, F. K. & HARBERS, L. H. Digestion of alfalfa hay observed by scanning electron microscopy. *J. Anim. Sci.*, **46**(3):506-12, 1977.
- BROWN, R. H.; BLASER, R. E. & FONTENOT, J. P. Effect of spring harvest date on nutritive value of orchardgrass and timothy. *J. Anim. Sci.*, **27**(2):562-67, 1968.
- BURDICK, D. & SULLIVAN, J. T. Ease of hydrolysis of the hemicelluloses of forage plants in relation to digestibility. *J. Anim. Sci.*, **22**(2):444-47, 1963.
- BUTLER, G. W. & BAILEY, R. W. Structural carbohydrates. In: BUTLER, G. W. & BAILEY, R. W. eds. *Chemistry and biochemistry of herbage*. London, Academic Press, 1973. p. 157-211.
- CAMPLING, R. C. Factors affecting the voluntary intake of grass. *J. Brit. Grassld. Soc.*, **19**(3): 110-18, 1964.
- CAMPLING, R. C. Physical regulation of voluntary intake. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PHYSIOLOGY OF DIGESTION AND METABOLISM IN THE RUMINANT, 3., Cambridge, 1969. *Proceedings*. Newcastle, Oriel Press, 1970. p. 226-34.
- CAMPLING, R. C. & BALCH, C. C. Factors affecting the voluntary intake of food by cows. 1. Preliminary observations on the effect, on the voluntary intake of hay, of changes in the amount of the reticulo-ruminal contents. *Brit. J. Nutr.*, **15**:523-30, 1961.
- CAMPLING, R. C. & FREER, M. Factors affecting the voluntary intake of food by cows. 8. Experiments with ground, pelleted roughages. *Brit. J. Nutr.*, **20**:229-44, 1966.
- CAMPLING, R. C.; FREER, M. & BALCH, C. C. Factors affecting the voluntary intake of food by cows. 2. The relationship between the voluntary intake of roughages, the amount of digesta in the reticulo-rumen and the rate of disappearance of digesta from the alimentary tract. *Brit. J. Nutr.*, **15**:531-40, 1961.
- CAMPLING, R. C.; FREER, M. & BALCH, C. C. Factors affecting the voluntary intake of food by cows. 3. The effect of urea the voluntary intake of oat straw. *Brit. J. Nutr.*, **16**: 115-24, 1962.
- CAPPER, B. S.; MORGAN, D. J. & PARR, W. M. Alkali treated roughages for feeding ruminants: a review. *Trop. Sci.*, **19**(2):73-88, 1977.

- CARMONA, J. F. & GREENHALGH, J. F. D. The digestibility and acceptability to sheep of chopped or milled barley straw soaked or sprayed with alkali. *J. Agric. Sci. Cambridge*, **78**(3):477-85, 1972.
- CHALMERS, M. I.; GRANT, I. & WHITE, F. Nitrogen passage through the wall of the ruminant digestive tract. In: *PROTEIN metabolism and nutrition*. London, Butterworth, 1976. (European Association for Animal Production, 16). p. 159-79.
- CHANDRA, S. & JACKSON, M. G. A study of various chemical treatments to remove lignin from coarse roughages and increase their digestibility. *J. Agric. Sci., Cambridge*, **77**(1): 11-7, 1971.
- CHURCH, D. C. Rumen metabolism of nitrogenous compounds. In: *Digestive and physiology and nutrition of ruminants*. 3.ed. Corvallis, 1975. v.1. Cap. 13. p. 227-52.
- COLE, N. A.; JOHNSON, R. R.; OWENS, F. M. & MALES, J. R. Influence of roughage level and corn processing method on microbial protein synthesis by beef steers. *J. Anim. Sci.*, **43**(2):497-503, 1976.
- COLEMAN, S. W. & BARTH, K. M. Utilization of supplemental NPN and energy sources by beef steers consuming low-protein hays. *J. Anim. Sci.*, **45**(5):1180-87, 1977.
- COMLINE, R. S. & MESSAGE, M. A. The neuromuscular physiology of the ruminant stomach. In: *INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PHYSIOLOGY OF DIGESTION IN THE RUMINANT*, 2., London, 1965. Butterworths. p. 78-87.
- CONRAD, M. R.; PRATT, A. D. & HIBBS, J. W. Regulation of feed intake in dairy cows. I. Change in importance of physical and physiological factors with increasing digestibility. *J. Dairy Sci.*, **47**(1):54-62, 1964.
- COOMBE, J. B. & TRIBE, D. E. The effects of urea supplements on the utilization of straw plus molasses diets by sheep. *Aust. J. Agric. Res.*, **14**(1):70-91, 1963.
- CRAMPTON, E. W. Interrelations between digestible nutrient and energy content, voluntary dry matter intake, and the overall feeding value of forages. *J. Anim. Sci.*, **16**(3):546-52, 1957.
- CULLISON, A. E. Effect of physical form of the ration on steer performance and certain rumen phenomena. *J. Anim. Sci.*, **20**(3):478-83, 1961.
- CZERKAWSKI, J. W. Reassessment of efficiency of synthesis of microbial matter in the rumen. *J. Dairy Sci.*, **61**(9):1261-73, 1978.
- DALY, M. *Agronomic studies on the structure of grasses, with reference to nutritive value*. Aberystwyth, University College of Wales, 1976. Thesis MS.
- DANIELS, L. B. & HASHIM, R. B. Evaluation of fungal cellulases in rice hull base diets for ruminants. *J. Dairy Sci.*, **60**(10):1563-7, 1977.

- DEHORITY, B. A. & JOHNSON, R. R. Effect of particle size upon the *in vitro* cellulose digestibility of forages by rumen bacteria. **J. Dairy Sci.**, **44**(11):2242-9, 1961.
- DEINUM, B.; VANES, A. J. H. & VAN SOEST, P. J. Climate, nitrogen and grass. II. The influence of light intensity, temperature and nitrogen on *in vitro* digestibility of grass and the prediction of these effects from some chemical procedures. **Neth. J. Agric. Sci.**, **16**: 217-23, 1968.
- DONEFER, E.; CRAMPTON, E. W. & LLOYD, L. E. Prediction of the nutritive value index of a forage from *in vitro* rumen fermentation data. **J. Anim. Sci.**, **19**(2):545-52, 1960.
- DONEFER, E. Effect of sodium hydroxide treatment on the digestibility and voluntary intake of straw. World Conference of Animal Production, 2. **Proceedings**. University of Maryland, 1968. p. 446.
- ELLIS, W. C. Determinants of grazed forage intake and digestibility. **J. Dairy Sci.**, **61**(12): 1828-40, 1978.
- ELY, R. E.; KANE, E. A.; JACOBSON, W. C. & MOORE, L. A. A study of the crude fiber and nitrogen – free extract fractions of orchard grass hay and the digestibility of some of the constituents by milking cows. **J. Dairy Sci.**, **36**(4):334-45, 1953.
- EVANS, E. W.; PEARCE, G. R.; BURNETT, J. & PILLINGER, S. L. Changes in some physical characteristics of the digesta in the reticulo rumen of cows feed once daily. **Brit. J. Nutr.**, **29**:357-76, 1973.
- FAHN, A. In: **Plant anatomy**. 2. ed. Oxford, Pergamon Press, 1974.
- FORBES, J. M. Physiological changes affecting voluntary food intake in ruminants. **Proc. Nutr. Soc.**, **30**:135-42, 1971.
- FREER, M. & CAMPLING, R. C. Factors affecting the voluntary intake of food by cows. 5. The relationship between the voluntary intake of food, the amount of digesta in the reticulo-rumen and the rate of disappearance of digesta from the alimentary tract with diets of hay, dried grass and concentrates. **Brit. J. Nutr.**, **17**:79-88, 1963.
- FREER, M.; CAMPLING, R. C. & BALCH, C. C. Factors affecting the voluntary intake of food by cows. 4. The behaviour and reticular motility of cows receiving diets of hay, oat straw and oat straw with urea. **Brit. J. Nutr.**, **16**:279-95, 1962.
- GILL, S. S.; CONRAD, H. R. & HIBBS, J. W. Relative rate of *in vitro* cellulose disappearance as a possible estimator of digestible dry matter intake. **J. Dairy Sci.**, **52**(10):1687-89, 1969.
- GORDON, J. G. The relationship between fineness of grinding of food and rumination. **J. Agric. Sci.**, **51**(1):78-80, 1958.
- GRAHAM, N.McC. Energy costs of feeding activities and energy expenditure of grazing sheep. **Aust. J. Agric. Res.**, **15**(6):969-73, 1964.

- GRANT, S. A. & CAMPBELL, D. R. Seasonal variation in *in vitro* digestibility and structural carbohydrate content of some commonly grazed plants of blanket bog. **J. Brit. Grassl. Soc.**, **33**(3):167-73, 1978.
- GREENHALGH, J. F. D. & REID, G. W. The effects of pelleting various diets on intake and digestibility in sheep and cattle. **Anim. Prod.**, **16**:223-33, 1973.
- GROVUM, W. L. & WILLIAMS, V. J. Rate of passage of digesta in sheep 6. The effect of level of food intake on mathematical predictions of the Kinetics of digesta in the reticulo-rumen and intestines. **Brit. J. Nutr.**, **38**(3):425-36, 1977.
- HANCOCK, J. Studies of grazing behaviour in relation to grassland management. I. Variations in grazing habits of dairy cattle. **J. Agric. Sci.**, **44**(4):420-9, 1954.
- HANNA, W. W.; MONSON, W. G. & BURTON, G. W. Histological examination of fresh forage leaves after *in vitro* digestion. **Crop. Sci.**, **13**:98-102, 1973.
- HINDERS, R. G.; VIDACS, G. Y. & WARD, G. M. Effects of feeding dehydrated alfafa pellets as the only roughage to dairy cows. **J. Dairy Sci.**, **44**(11):1178, 1961. (Abstract).
- HOBSON, P. N. Physiological characteristics of rumen microbes and relation to diet and fermentation patterns. **Proc. Nutr. Soc.**, **31**:135-9, 1972.
- HOGAN, J. P. & WESTON, R. H. The digestion of chopped and ground roughages by sheep. II. The digestion of nitrogen and some carbohydrate fractions in the stomach and intestines. **Aust. J. Agric. Res.**, **18**(5):803-19, 1967.
- HOOVER, W. H. Digestion and absorption in the hindgut of ruminants. **J. Anim. Sci.**, **46**(6):1789-99, 1978.
- HUNGATE, R. E. **The rumen and its microbes**. New York, Academic Press, 1966. 533p.
- IVORY, D. A.; STOBBS, T. H.; McLEOD, M. N. & WHITEMAN, P. C. Effect of day and night temperatures on estimated dry matter digestibility of *Cenchrus ciliaris* and *Pennisetum clandestinum*. **J. Aust. Inst. Agric. Sci.**, **40**(2):156-8, 1974.
- JACKSON, M. G. Rice straw as livestock feed. **World Anim. R.**, **23**:25-31, 1977a.
- JACKSON, M. G. Review article: the alkali treatment of straws. **Anim. Feed Sci. Technol.**, **2**(2):105-30, 1977b.
- JARRIGE, R. Les constituants membranaires des plantes fourragères. **Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys.**, **3**(2):143-90, 1963.
- JARRIGE, R. & MINSON, D. J. Digestibilité des constituants du ray-grass anglais S24 et du dactyle S37, plus spécialement des constituants glucidiques. **Ann. Zootec.**, **13**:117-50, 1964.
- JOHNSON, R. R. Feedstuffs utilized by ruminants. In: CHURCH, D. C. **Digestive physiology and nutrition of ruminants**. 3. ed. Corvallis, 1974. v. 3. cap. 2. p. 9-34.

- JOHNSTON, M. J. & WAITE, R. Studies in the lignification of grasses. I. Perennial ryegrass (S. 24) and cocksfoot (S.37). *J. Agric. Sci.*, **64**(2):211-9, 1965.
- JONES, L. H. P.; MILNE, A. A. & WADHAM, S. M. Studies of silica in the oat plant. II. Distribution of the silica in the plant. *Plant and soil*, **18**(3):358-71, 1963.
- KAMSTRA, L. D.; MOXON, A. L. & BENTLEY, O. G. The effect of stage of maturity and lignification on the digestion of cellulose in forage plants by rumen microorganisms *in vitro*. *J. Anim. Sci.*, **17**(1):199-208, 1958.
- KEFFORD, N. P. Lignification of plants in relation to ruminant nutrition. *Aust. Inst. Agric. Sci.*, **24**:297-302, 1958.
- KELLAWAY, R.; CROFTS, F. C.; THIAGO, L. R. L.; REDMAN, R. G.; LEIBHOLZ, J. M. L. & GRAHAM, C. A. A new technique for upgrading the nutritive value of roughages under field conditions. *Anim. Feed Sci. Technol.*, **3**(2):201-10, 1978.
- KERN, D. L.; SLYTER, L. L.; LEFFEL, E. C.; WEAVER, J. M. & OLTJEN, R. R. Ponies vs. steers: microbial chemical and characteristics of intestinal ingesta. *J. Anim. Sci.*, **38**(3):559-64, 1974.
- KEYS, J. E. Jr.; VAN SOEST, P. J. & YOUNG, E. P. Comparative study of the digestibility of forage cellulose and hemicellulose in ruminants and nonruminants. *J. Anim. Sci.*, **29**(1):11-5, 1969.
- KISTNER, A. Possible factors influencing the balance of different species of cellulolytic bacteria in the rumen. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PHYSIOLOGY OF DIGESTION IN THE RUMINANT, 2., London, 1965. Butherworths, p. 419-32.
- KLOPFONSTEIN, I. Chemical treatment of crop residues. *J. Anim. Sci.*, **46**(3):841-48, 1978.
- LAREDO, M. A. & MINSON, D. J. The effect of pelleting on the voluntary intake and digestibility of leaf and stem fractions of three grasses. *Brit. J. Nutr.*, **33**:159-69, 1975.
- LAU, E.; GOLDOFTAS, M.; BALDWIN, V. D.; DAYANANDAN, P.; SRINIVASAN, J. & KANFMAN, P. B. Structure and localization of silica in the leaf and internodal epidermal system of the marsh grass *Phragmites australis*. *Canad. J. Bot.*, **56**(14):1696-701, 1978.
- LEVY, D.; HOLZER, Z.; NEUMARK, H. & FOLMAN, Y. Chemical processing of wheat straw and cotton by – products for fattening cattle. *Anim. Prod.*, **25**(1):27-37, 1977.
- MacRAE, J. C. & ARMSTRONG, D. G. Studies on intestinal digestion in the sheep. 2. Digestion of some carbohydrate constituents in hay, cereal and hay-cereal rations. *Brit. J. Nutr.*, **23**:377-87, 1969.
- MAKELA, A. Suomen. Maataloustie – teellisen seuran julkaisu, **85**, 1955.
- MAYNARD, L. A. & LOOSLI, J. K. The inorganic elements and their metabolism. In: *Animal Nutrition*. 6. ed. New York. McGraw Hill, 1969. p. 154-228.

- McCLYMONT, G. L. Selectivity and intake in the grazing ruminant. Handbook of Physiology. Section 6. Alimentary Canal. **Amer. Physiol. Soc.**, 1:129-37, 1967.
- McMANUS, W. R. & CHOUG, C. C. Studies on forage cell walls. 2. Conditions for alkali treatment of rice straw and rice hulls. **J. Agric. Sci., Cambridge**, 86(3):453-70, 1976.
- MERCER, J. R. & ANNISON, E. F. Utilization of nitrogen in ruminants. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PROTEIN METABOLISM AND NUTRITION, 1. University of Nottingham, 1974. p. 397-416.
- MERTENS, D. R. Dietary fiber components: relationship to the rate and extent of ruminal digestion. **Feder. Proc.**, 36(2):187-92, 1977.
- MEYER, J. H.; WEIR, W. C.; DABIE, J. B. & HULL, J. L. Influence of the method of preparation on the feeding value of alfalfa hay. **J. Anim. Sci.**, 18(3):976-82, 1959.
- MEYER, J. H.; KROMANN, R. & GARRETT, W. N. Digestion (influence of roughage preparation). In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PHYSIOLOGY OF DIGESTION IN THE RUMINANT, 2., 1965. Washington Butterworth, p. 262.
- MILES, J. T. Rumen digestion of some crude fiber constituents. **J. Dairy Sci.**, 34(6):492, 1951. Abstract.
- MINSON, D. J. The effect of pelleting and wafering on the feeding value of roughage. A review. **J. Brit. Grassl. Soc.**, 18(1):39-44, 1963.
- MINSON, D. J. Influence of lignin and silicon on a summative system for assessing the organic matter digestibility of *Panicum*. **Aust. J. Agric. Res.**, 22(3):589-93, 1971.
- MINSON, D. J. & McLEOD, M. N. The digestibility of temperate and tropical grasses. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 11., Surfers Paradise, 1970. **Proceedings**. p. 719-22.
- MINSON, D. J. Relation between digestibility and composition of feed. Wageningen, Land Bouwhogeschool, 1976. p. 101-14. (Miscellaneous Papers, 12).
- MOIR, R. J.; SOMERS, M. & BRAY, A. C. Utilization of dietary sulfur and nitrogen by ruminants. **Sulphur Inst. J.**, 3(4):15-8, 1967-68.
- MOORE, L. A. Symposium on forage utilization: Nutritive value of forage as affected by physical form. 1. General principles involved with ruminants and effect of feeding pelleted or wafered forage to dairy cattle. **J. Anim. Sci.**, 23(2):230-8, 1964.
- MONSON, W. G.; POWELL, J. B. & BURTON, G. W. Digestion of fresh forage in rumen fluid. **Agron. J.**, 64(2):231-3, 1972.
- MYERS, L. L.; JACKSON, H. D. & PACKETT, L. V. Absorption of volatile fatty acids from the cecum of sheep. **J. Anim. Sci.**, 26(6):1450-8, 1967.

- NATIONAL INSTITUTE FOR RESEARCH IN DAIRYING (NIRD). Agricultural Research Council, U. K. **Annual Report, 1977-78**. 1978. p. 33.
- NOLAN, J. V. & LENG, R. A. Dynamic aspects of ammonia and urea metabolism in sheep. **Brit. J. Nutr.**, **27**:177-94, 1972.
- NOLAN, J. V.; NORTON, B. W. & LENG, R. A. Further studies of the dynamics of nitrogen metabolism in sheep. **Brit. J. Nutr.**, **35**:127-47, 1976.
- NOLLER, C. H. New developments in ruminant nutrition: The lower gastrointestinal Tract. In: Maryland Nutrition Conference, 1978. **Proceedings**. p. 67-72.
- OSBOURN, D. F.; BEEVER, D. E. & THOMPSON, D. J. The influence of physical processing on the intake, digestion and utilization of dried herbage. **Proc. Nutr. Soc.**, **32**:191-200, 1976.
- OSBOURN, D. F.; TERRY, R. A. & CAMELL, S. B. Relationships between the physical and chemical characteristics of feeds and their voluntary consumption by ruminants. In: The Grassland Research Institute. **Annual Report**, 1972. p. 87-8.
- ORSKOV, E. R. Nitrogen digestion and utilization by young and lactating ruminants. **World. R. Nutr. Diet.**, **26**:225-57, 1977a.
- ORSKOV, E. R. & GREENHALGH, J. F. D. Alkali treatment as a method of processing whole grain for cattle. **J. Agric. Sci., Cambridge**, **89**(1):253-5, 1977b.
- ORSKOV, E. R.; FRASER, C. & KAY, R. N. B. Dietary factors influencing the digestion of starch in the rumen, small and large intestine of early weaned lambs. **Brit. J. Nutr.**, **23**: 217-26, 1969.
- ORSKOV, E. R.; FRASER, C.; MANSON, V. C. AND MANN, S. O. Influence of starch digestion in the large intestine of sheep on faecal fermentation, faecal microflora and faecal nitrogen excretion. **Brit. J. Nutr.**, **24**:671-82, 1970.
- ORSKOV, E. R.; SOLIMAN, H. S. & MacDEARMID, A. Intake of hay by cattle given supplements of barley subjected to various forms of physical treatment or treatment with alkali. **J. Agric. Sci., Cambridge**, **90**(3):611-9, 1978.
- PEARCE, G. R. & MOIR, R. J. Rumination in sheep. I. The influence of rumination and grinding upon the passage and digestion of food. **Aust. J. Agric. Res.**, **15**(4):635-44, 1964.
- PIGDEN, W. J. The relation of lignin, cellulose, protein starch and ether extract to the "curing" of range grasses. **Canad. J. Agric. Sci.**, **33**(4):364-78, 1953.
- PLAYNE, M. J. Differences in the nutritional value of three cuts of buffel grass for sheep and cattle. **Proc. Aust. Soc. Anim. Prod.**, **8**:511-6, 1970.
- RAY, P. M. **The living plant**. Holt, Rinehart and winston, U. S. A., 1963.

- REED, K. F. M. The effect of season of growth on the feeding value of pasture. **J. Brit. Grassl. Soc.**, **33(4)**:227-34, 1978.
- REES, M. C. & MINSON, D. J. Fertilizer calcium as a factor affecting voluntary intake, digestibility and retention time of pangola grass (*Digitaria decumbens*) by sheep. **Brit. J. Nutr.**, **39(1)**:5-11, 1978.
- REGAL, V. The evaluation of the quality of pasture grasses by the microscopic method. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 8. England, 1960. **Proceedings**. p. 522-4.
- RESS & LITTLE. Citado por Minson, 1976.
- RICHARDS, C. Y. & REID, J. T. The digestibility and interrelationships of various carbohydrate fractions of pasture herbage and a resolution of the components of crude fiber and nitrogen – free extract. **J. Dairy Sci.**, **36(9)**:1006-15, 1953.
- ROY, J. M.; BALCH, C. C.; MILLER, E. L.; ORSKOV, E. R. & SMITH, R. H. Calculation of the N-requirement for ruminants from nitrogen metabolism studies. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PROTEIN METABOLISM AND NUTRITION, 2. The Netherlands, 1977. **Proceedings**. p. 126-9.
- RUCKEBUSCH, Y. Motility of the ruminant stomach associated with states of sleep. Digestion and Metabolism in the Ruminant. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON RUMINANT PHYSIOLOGY, 4. Armidale, 1975. **Proceedings**. University of New England Publishing Unit. p. 77-90.
- SATTER, L. D.; SUTTIE, J. W. & BAUMGARDT, B. R. Dietary induced changes in volatile fatty acid formation from a cellulose – C¹⁴ and hemicellulose – C¹⁴. **J. Dairy Sci.**, **47(12)**:1365-70, 1964.
- SELIM, O. I.; WILSON, D. & JONES, D. I. H. A histological technique, using cellulolytical enzyme digestion, for assessing nutritive quality differences in grasses. **J. Agric. Sci., Cambridge**. **85(1)**:297-9, 1975.
- SMITH, R. H. Nitrogen metabolism in the rumen and the composition and nutritive value of nitrogen compounds entering the duodenum. Digestion and Metabolism in the Ruminant. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON RUMINANT PHYSIOLOGY, 4. Armidale, 1975. **Proceedings**. University of New England Publishing Unit. p. 399-415.
- SMITH, G. S. & NEUMANN, A. L. Soluble silicate in rumen cultures with and without urea. **J. Anim. Sci.**, **31(1)**:254, 1970. Abstract.
- SMITH, G. S.; SMITH, E. C.; LA TORRE, R. de & NEUMANN, A. L. Soluble silica in rumen cultures. **J. Anim. Sci.**, **33(1)**:246, 1971a. Abstract.
- SMITH, G. S.; NELSON, A. B. & BOGGINO, E. J. A. Digestibility of forages *in vitro* as affected by content of silica. **J. Anim. Sci.**, **33(2)**:466-71, 1971b.

- SMITH, G. S. & URQUHART, N. S. Rumen cultures on digestion of siliceous forages. *J. Anim. Sci.*, **41**(3):882-9, 1975.
- SMITH, L. W.; GOERING, H. K. & GORDON, C. H. *In vitro* digestibility of chemically – treated feces. *J. Anim. Sci.*, **31**(6):1205-9, 1970.
- SMITH, S. E. & LOOSLI, J. K. Cobalt and vitamin 12 in ruminant nutrition: a review. *J. Dairy Sci.*, **40**(10):1215-27, 1957.
- STARKS, P. B.; HALE, W. H.; GARRIGUS, V. S. & FORBES, R. M. The utilization of feed nitrogen by lambs as affected by elemental sulfur^{1, 2, 3, 4}. *J. Anim. Sci.*, **12**:480-91, 1953.
- SULLIVAN, J. T. Studies of the hemicelluloses of forage plants. *J. Anim. Sci.*, **25**(1):83-6, 1966.
- TAYLER, J. C. Dried forages and beef production. *J. Brit. Grassl. Soc.*, **25**(2):180-90, 1970.
- TETLOW, R. M. & WILKINS, R. J. The influence of package size and density on the intake of dried grass wafers fed to lambs. *Anim. Prod.*, **14**(3):335-41, 1972.
- THOMAS, P. C. Microbial protein synthesis. *Proc. Nutr. Soc.*, **32**:85-91, 1973.
- THOMSON, G. J.; BEEVER, D. E.; COELHO da SILVA, J. E. & ARMSTRONG, D. G. The effect in sheep of physical form on the sites of digestion of a dried lucerne diet. *Brit. J. Nutr.*, **28**(1):31-41, 1972.
- TROELSEN, J. E. & BIGSBY, F. W. Artificial mastication – A new approach for predicting voluntary forage consumption by ruminants. *J. Anim. Sci.*, **23**(6):1139-42, 1964.
- ULYATT, M. J.; DELLOW, D. W.; REID, C. S. W. & BAUCHOP, T. Structure and function of the large intestine of ruminants. Digestion and Metabolism in the Ruminant. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON RUMINANT PHYSIOLOGY, 4. Armidale, 1975. *Proceedings*. University of New England Publishing Unit, p. 119-33.
- VAN SOEST, 1971 citado por JOHNSON, 1974.
- VAN SOEST, P. J. Comparison of two different equations for prediction of digestibility from cell contents, cell-wall constituents, and lignin content of acid detergent fiber. *J. Dairy Sci.*, **48**(7):815, 1965. Abstract.
- VAN SOEST, P. J. Development of a comprehensive system of feed analysis and its application to forages. *J. Anim. Sci.*, **26**(1):119-28, 1967.
- VAN SOEST, P. J. & JONES, L. H. P. Effect of silica in forages upon digestibility. *J. Dairy Sci.*, **51**(10):1644-8, 1968.
- VAN SOEST, P. J. & McQUEEN, R. W. The chemistry and estimation on fibre. *Proc. Nutr. Soc.*, **32**:123-29, 1973.

- VAN SOEST, P. J.; MERTENS, D. R. & DEINUM, B. Preharvest factors influencing quality of conserved forage. **J. Anim. Sci.**, **47**(3):712-20, 1978.
- VAN SOEST, P. J. & ROBERTSON, J. B. What is fibre and fibre in food. **Nutr. R.**, **35**(3):12-8, 1977.
- VAN SOEST, P. J. & WINE, R. H. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. IV. Determination of plant cell-wall constituents. **J. Assoc. Offic. Agric. Chem.**, **50**:50-5, 1967.
- VIRTANEN, A. I. On nitrogen metabolism in milking cows. **Feder. Proc.**, **28**(1):232-40, 1969.
- WAITE, R. The structural carbohydrates and the *in vitro* digestibility of a ryegrass and a cocksfoot at two levels of nitrogenous fertilizer. **Agric. Sci.**, **74**(3):457-62, 1970.
- WAITE, R.; JOHNSTON, MARGARET, J. & ARMSTRONG, D. G. The evaluation of artificially dried grass as a source of energy for sheep. I. The effect of stage of maturity on the apparent digestibility of ryegrass cocksfoot and timothy. **J. Agric. Sci.**, **62**(3):391-19, 1964.
- WALDO, D. R. Factors influencing the voluntary intake of forages. In: NATIONAL CONFERENCE ON FORAGE QUALITY EVALUATION AND UTILIZATION, 1969. **Proceedings**. Lincoln, Nebraska Center for Continuing Education, 1970. p. E-1-22.
- WALDO, D. R. & SMITH, L. W. Model of cellulose disappearance from the rumen. **J. Dairy Sci.**, **55**(1):125-29, 1972.
- WALLER, 1976 citado por KLOPFONSTEIN, 1978.
- WELCH, J. G. & SMITH, A. M. Influence of forage quality on rumination time in sheep. **J. Anim. Sci.**, **28**(6):813-8, 1969.
- WELCH, J. G. & SMITH, A. M. Forage quality on rumination time in cattle. **J. Dairy Sci.**, **53**(6):797-800, 1970.
- WELCH, J. G. & SMITH, A. M. Physical stimulation of rumination activity. **J. Anim. Sci.**, **33**(5):1118-23, 1971.
- WELCH, J. G. & SMITH, A. M. Particle sizes passed from the rumen. **J. Anim. Sci.**, **46**(1):309-312, 1978.
- WESTON, R. H. & HOGAN, J. P. The digestion of chopped and ground roughages by sheep. I. The movement of digesta through the stomach. **Aust. J. Agric. Res.** **18**(6):789-801, 1967.
- WHEELER, W. E. & NOLLER, C. M. Gastrointestinal tract pH and starch in feces or fuminants. **J. Anim. Sci.**, **44**(1):131-5, 1977.
- WIEPKEMA, P. R. Behavioral factors in the regulation of food intake. **Proc. Nutr. Soc.**, **30**:142-49, 1971.

- WILKINS, R. J. The potential digestibility of cellulose in forage and faeces. *J. Agric. Sci., Cambridge*, **73**(1):57-64, 1969.
- WILKINS, R. J. The potential digestibility of cellulose in grasses and its relationship with chemical and anatomical parameters. *J. Agric. Sci., Cambridge*, **78**(3):457-64, 1972.
- WILKINS, R. J.; LONSDALE, C. R.; TETLOW, R. M. & FORREST, T. J. The voluntary intake and digestibility by cattle and sheep of dried grass wafers containing particles of different size. *Anim. Prod.*, **14**(2):177-88, 1972.
- WILKINSON, J. M. & SANTILLANA, R. G. Ensiled alkali-treated straw. I. Effect of level and type of alkali on the composition and digestibility *in vitro* of ensiled barley straw. *Anim. Feed Sci. Technol.*, **3**(2):117-32, 1978.
- WILMAN, D.; DALY, M.; KOOCHKEI, A. & LWOGA, A. B. The effect of interval between harvests and nitrogen application on the proportion and digestibility of cell wall, cellulose, hemicellulose and lignin and on the proportion of lignified tissue in leaf cross section in two perennial ryegrass varieties. *J. Agric. Sci., Cambridge*, **89**(1):53-63, 1977.
- WILMAN, D. & DALY, M. Nitrogen and Italian ryegrass. 4 Growth up to 14 weeks: Proportion and digestibilities of cell wall, cellulose, hemicellulose and lignin. *J. Brit. Grassl. Soc.*, **33**(3):181-8, 1978.
- WILSON, J. R. & FORD, C. W. Temperature influences on the growth, digestibility, and carbohydrate composition of two tropical grasses, *Panicum maximum*, var. Trichoglume and *Setaria sphacelata*, and two cultivars of the temperate grass *Lolium perene*. *Aust. J. Agric. Res.*, **22**(4):563-71, 1971.