

ENFOQUES ATUAIS SOBRE A BIOQUÍMICA RUMINAL*

Introdução.

O principal objetivo da produção de bovinos de corte é a eficiente conversão de alimentos em carne, produzida com o mínimo impacto ambiental possível e disponibilizando um produto com as características de qualidade exigidas pelo consumidor (rico em proteínas e com pouca gordura saturada) de carne bovina.

Uma das características principais do ruminante é seu potencial para transformar alimentos ricos em fibra, que não podem ser eficientemente aproveitados por animais não ruminantes (entre eles o homem), em produtos de altos valores nutricionais, apreciados e bem pagos pela população humana. Isto é possível graças ao fato de que os processos evolutivos equiparam os ruminantes domésticos com uma série de adaptações de fisiológicas que lhes permitiram lidar com alimentos fibrosos, como as pastagens. Esta transformação é feita graças intensa atividade da flora microbiana presente no rúmen que permite a digestão de carboidratos, a hidrólise e biohidrogenação dos lipídeos da dieta e a produção de proteínas (proteína microbiana) posteriormente utilizada nos processos de síntese pelo animal.

Para atingir produções desejáveis, com o mínimo de impacto ambiental, este fantástico ambiente deve ser otimizado. Este ajuste fino da bioquímica ruminal tem sido perseguido nos últimos anos pelos nutricionistas através do conhecimento de alguns mecanismos de funcionamento das adaptações que regulam os processos de digestão e metabolismo, as estratégias reprodutivas e os hábitos de pastejo.

O presente trabalho visa apresentar alguns enfoques de como a otimização do ambiente ruminal pode ajudar a reduzir o impacto ambiental, melhorar a eficiência na conversão de alimentos em produtos como carne e leite e ainda e alguns efeitos da alimentação dos animais sobre a qualidade destes produtos.

* Seminário apresentado na disciplina Bioquímica do Tecido Animal (VET00036) do Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias da UFRGS, pelo aluno FÁBIO SCHULER MEDEIROS, no primeiro semestre de 2002. Professor da disciplina: Félix H.D. González.

A fermentação ruminal.

Os ruminantes apresentam como principal característica a presença de um estômago composto, formado por quatro compartimentos: rúmen, retículo, omaso e abomaso; nos quais a digestão fermentativa precede a digestão enzimática. A estrutura do aparelho digestivo dos ruminantes os capacita a aproveitar com maior eficiência os alimentos ricos em fibra, permitindo sua adaptação a variados ambientes ecológicos.

Carboidratos.

A maior fonte de energia para os ruminantes são os carboidratos contidos nas pastagens, sendo os mais importantes a celulose, hemicelulose e frutose. O rúmen é responsável por 90 a 100% da digestão dos carboidratos solúveis e ácidos orgânicos, entre 60 e 90% da digestão da celulose e hemicelulose, dependendo do grau de lignificação da forragem. Dentro do rúmen, os carboidratos são fragmentados em açúcares simples (hexoses) mediante a atividade das enzimas secretadas pelas bactérias celulolíticas (celulases). Estes açúcares resultantes são utilizados intracelularmente pelos microrganismos para produzir energia e outros substratos necessários a sua manutenção e crescimento. Como resultado desta atividade metabólica são geradas grandes quantidades de CO₂, CH₄ e AGV. Em ruminantes consumindo apenas volumoso, a fermentação ruminal origina misturas de AGV que molarmente apresentam as seguintes proporções: 60 a 72% de ácido acético, 15 a 23% de ácido propiônico e 12 a 18% de ácido butírico, sendo que as variações observadas nestas proporções são decorrentes do tipo e qualidade de dieta. Dietas ricas em carboidratos estruturais, como as consumidas por ruminantes em pastejo, tendem a apresentar uma fermentação na qual a relação acético:propiônico é maior do que a observada com dietas ricas em amido e açúcares simples, como as utilizadas para animais em confinamento. As alterações na proporção molar dos AGV no líquido ruminal, decorrentes de práticas de manejo alimentar tais como a suplementação, tem sérias implicações sobre o ambiente ruminal (pH e amônia) e conseqüentemente sobre as bactérias que digerem a fibra contida nas forragens.

Aproximadamente 90% dos AGV produzidos são absorvidos por difusão através do rúmen-retículo e os 10% restantes são produzidos e absorvidos no ceco e intestino grosso. Dos AGV, acético e propiônico são absorvidos sem sofrerem

modificações e metabolizados no fígado. O ácido butírico quando absorvido na parede ruminal é transformado em β -hidroxibutirato, forma na qual é metabolizado pelo fígado.

Proteínas.

A proteína, dietética que escapa da degradação ruminal e a sintetizada no rúmen, é utilizada na formação de tecidos, leite, enzimas e hormônios, sendo este processo dependente do consumo de proteínas e outros compostos que contém nitrogênio existentes nas plantas forrageiras. Entre 65 a 85% da proteína e 100% do nitrogênio não protéico (NNP) presentes nas forragens e consumidos pelos animais são degradados no rúmen a compostos mais simples, tais como: aminoácidos, amônia, AGV e CO₂. Estes compostos são utilizados para sintetizar proteína microbiana, processo que depende da disponibilidade da energia proveniente da fermentação de matéria orgânica no rúmen. Tal síntese pode ficar prejudicada por falta de energia e/ou por falta de nitrogênio. Quando os níveis de amônia excedem a capacidade de síntese da micloflora ruminal, esta é absorvida pelo epitélio ruminal e transportada pelo sangue até o fígado, onde então, e ao menos de forma teórica, é possível afirmar que os ruminantes poderiam sobreviver, a curto prazo, consumindo dietas sem proteína em função da reciclagem de amônia e sempre quando nessa dieta existisse uma forma de N adequada para produzir amônia. No longo prazo tem-se observado que os ruminantes precisam de proteína dietética para fornecer os aminoácidos que maximizam a digestão da fibra e a síntese de proteína microbiana.

Uma outra situação é a nutrição protéica em ruminantes de alto potencial genético onde é necessário utilizar proteína de escape nas dietas destes animais em função da incapacidade da fermentação ruminal preencher as elevadas demandas nutricionais de aminoácidos neste tipo de animais. Isto é particularmente relevante em animais de rápido crescimento e em vacas leiteiras de alta produção, convertida em uréia e posteriormente excretada na urina através dos rins ou reciclada para o rúmen através da saliva ou da própria parede ruminal. Devido ao alto custo energético da excreção da uréia, hoje existe uma grande preocupação ambiental e econômica em relação a ineficiente utilização do N contido em algumas pastagens. A proteína que chega no abomaso, proveniente do rúmen, consiste de uma mistura composta de proteína microbiana e proteína da

dieta que não foi digerida no rúmen (escape). Esta mistura sofre a ação das enzimas proteolíticas do abomaso e duodeno liberando os aminoácidos para absorção no íleo. Pequenas quantidades de proteína passam sem serem digeridas ao ceco onde sofrem fermentação microbiana e liberam amônia que pode ser absorvida e reciclada, através da circulação enterohepática, na forma de uréia salivar. O restante da proteína (microbiana e alimentar) é excretado junto com as fezes.

Impacto ambiental na produção de ruminantes: produção de metano.

Desde o período pré-industrial até nossos dias, a concentração atmosférica de metano aumentou cerca de 140% e agora está em cerca de 1800ppb. Os ruminantes globalmente produzem entre 80-103 milhões de toneladas de metano por ano, o que representa 25% do metano produzido pela humanidade (Manning et al., 1996 *apud* Howden e Reyenga, 1999).

O crescente aumento da emissão de poluentes na atmosfera tem produzido evidentes alterações no clima do planeta. Preocupados com estes acontecimentos, popularmente conhecidos como efeito estufa, muitas nações do mundo redigiram e assinaram um polêmico protocolo de intenções (Protocolo de Kyoto) nos quais comprometiam-se a reduzir as emissões de poluentes na atmosfera. Pelas deliberações assinadas no Protocolo de Kyoto, as emissões de metano deverão ser controladas e reduzidas a valores não superiores a 108% dos níveis que eram emitidos na década de 1990 até o ano de 2008.

Howden (1999) citando suas publicações anteriores afirma que em níveis ótimos, poderiam ser produzidos, a pasto, 2 kg de peso vivo para cada kg de metano emitido do sistema como um todo, equivalendo este valor a 7 kg de CO₂ por dólar produzido como ganho de peso vivo. O autor afirma ainda sua preocupação de que em um mercado livre onde existam cotas de emissão de metano e CO₂ por unidade produtiva, a eficiência dos sistemas pecuários não seja capaz de viabilizar economicamente o uso destas cotas, sendo estas facilmente adquiridas pelas indústrias, as quais são capazes de gerar uma maior receita por unidade de poluente produzido.

Ademais das preocupações e pressões ecológicas, a produção de metano consiste em uma forma de perda de energia digestível no sistema ruminal, a qual

pode ser reduzida, levando a melhores resultados econômicos dos sistemas pecuários.

Origem do metano na fermentação ruminal.

O metano é um produto final normal da fermentação ruminal e por constituir uma perda no potencial produtivo energético tem sido estudado por décadas (Howden e Reyenga, 1999).

Os microorganismos do rúmen metabolizam os carboidratos convertendo-os principalmente em glicose ou glicose-1-P a qual é posteriormente oxidada até piruvato mediante o ciclo de Embden-Meyerhof (Figura 1) e posteriormente até acetato mediante a ação da enzima piruvato-liase. A energia metabólica para as bactérias é liberada mediante a fosforilação do substrato em duas reações. A primeira consiste na desidrogenação do gliceraldeído-3-P ligado a NAD. A segunda, as reações da piruvato liase produzem acetil-CoA que é convertido em acetato+ATP. Na primeira reação, os elétrons e prótons são transferidos ao NAD e na segunda, à ferredoxina ou compostos relacionados, e posteriormente prótons ou H e CO₂, obtendo-se formato, o qual é ativamente convertido a metano (Church, 1988) por bactérias dos gêneros *Methanobrevibacter*, *Methanobacterium*, *Metanomicrobium* e *Methanosarcina*. (Baker, 1999). A Figura 2 ilustra o processo de metanogênese a partir da glicose, a qual é originada da digestão extracelular pelas enzimas bacterianas.

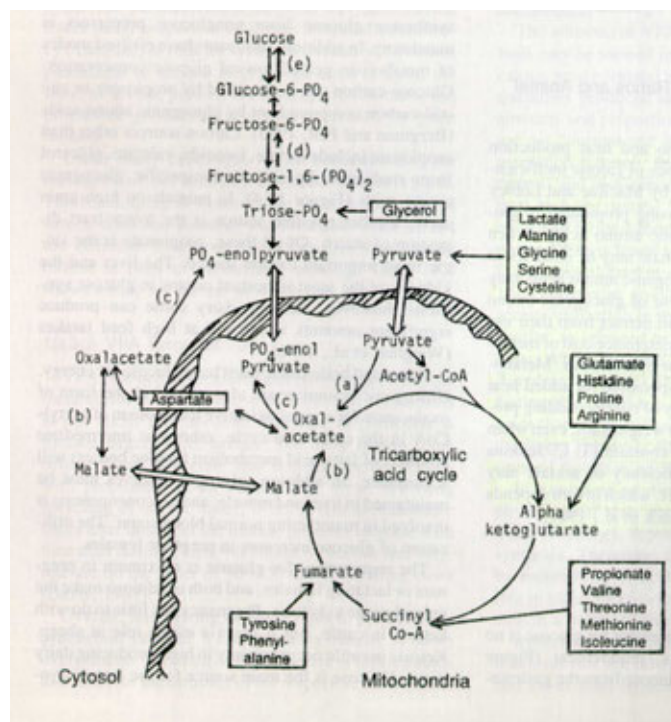


Figura 1. Rotas metabólicas da gliconeogênese (Van Soest, 1994).

Verifica-se uma relação linear entre a produção de metano e o consumo de matéria seca (27 e 34g de metano/kg de MS, para animais com dietas com alta concentração de grãos e forragens tropicais, respectivamente), sendo que o mesmo não ocorre quando comparamos a emissão de metano com o ganho de peso vivo. A Figura 3 (Howden e Reyenga, 1999) mostra a relação existente entre a emissão de metano por kg vivo produzido e o ganho médio diário de peso. Esta resposta pode ser explicada pelo consumo de nutrientes para manutenção e produção de metano, o qual é diluído à medida que aumenta o incremento diário de peso.

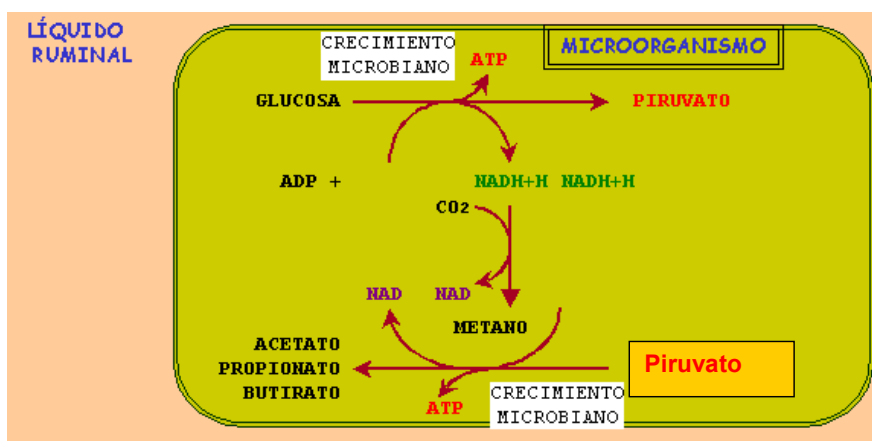


Figura 2. Produção de AGV e metano a partir de glicose oriunda da digestão dos carboidratos dietéticos.(adaptada de Cuellar & Cruz, 2002).

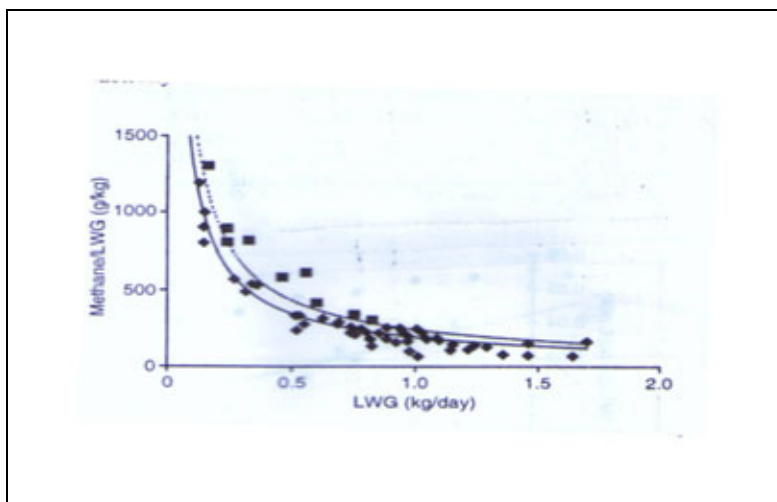


Figura 3. Alteração na eficiência de ganho de peso vivo em função da emissão de metano.

Pode-se inferir a partir do gráfico que a medida que melhoramos as produções animais (aumento da eficiência), estaremos diminuindo as emissões de metano por unidade kg produzido.

Redução dos níveis de produção de metano.

A produção ruminal de metano é diretamente proporcional a concentração de H_2 dissolvida (Czerkawski, 1972 *apud* Hegarty, 1999), portanto, tem-se neste ponto da metanogênese uma janela a ser trabalhada a fim de utilizar este H_2 dissolvido para processos produtivos, evitando assim a perda energética e o acesso a estes prótons por parte dos organismos metanogênicos. A disponibilidade de hidrogênio para estes microorganismos pode ser alterada, reduzindo a liberação fosforoclástica de H_2 , promovendo a oxidação do NAD(P)H em reações que não transfiram elétrons para as hidrogenases e promovendo reações não metanogênicas que utilizem H_2 (Hegarty, 1999).

Inibição das reações de liberação de H_2 .

A diminuição da liberação de H_2 pode ser obtida diminuindo-se o fluxo total da matéria orgânica através da fermentação ruminal, ou pela manipulação do balanço da relação acetato:propionato:butirato, conduzindo-se a fermentações que sejam consumidoras líquidas de prótons (Hegarty, 1999).

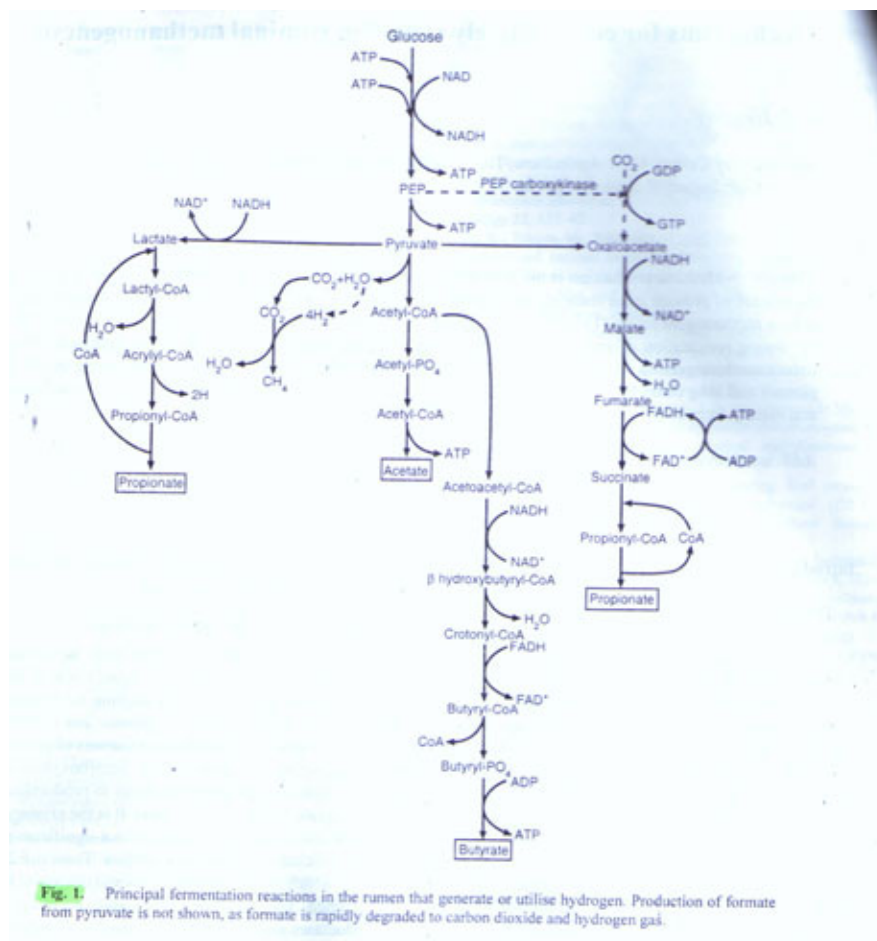


Figura 4. Principais reações de fermentação ruminal que geram ou utilizam hidrogênio. (Fonte: Hegarty, 1999).

Na Figura 4 pode-se ver que a produção de acetil-CoA a partir da descarboxilação do piruvato é o processo que liga a via glicolítica a produção de acetato e butirato, sendo que esta é a fonte primária de CO_2 no rúmen e também do H_2 fosforoclástico. Este processo de descarboxilação pode ocorrer por duas vias. A primeira catalizada pela enzima piruvato-oxiredutase transfere prótons e elétrons a ferredoxina a qual libera H_2 pela ação da enzima hidrogenase. A segunda, por ação da piruvato-formato-liase gera acetil-CoA e formato, sendo este último rapidamente degradado pela enzima formato-hidrogênio-liase, liberando H_2 e dióxido de carbono (Hungate, 1970 e Gottschalk, 1986; *apud* Hegarty, 1999).

Aumentando-se a quantidade de carboidratos solúveis na dieta, altera-se a proporção acetato/propionato e portanto a produção de H_2 , devido a baixa produção deste pelas bactérias amilolíticas e também devido a baixa tolerância das bactérias metanogênicas a diminuição do pH produzida por esta alteração na dieta.

A produção de H₂ ruminal pode também ser reduzida pela introdução de ionóforos na dieta (monensina). A monensina diminui a produção de H₂ por três mecanismos concomitantes: reduz o consumo voluntário dos animais, portanto reduz o volume total de H₂ produzido, altera a proporção acetato/propionato, pela modulação que exerce sobre a flora ruminal e inibe a liberação do H₂ do formato pela enzima formato-liase. Porém, apresenta também efeitos que podem aumentar a liberação de H₂ como a inibição da hidrogenação dos ácidos graxos e a diminuição da síntese microbiana, o que aumenta a produção total de AGV.

Estimulação de reações que utilizem o NAD(P)H mas não liberem H₂

Independentemente da via de produção, a síntese de propionato está em competição direta com a metanogênese pelo hidrogênio disponível e uma relação inversa entre a produção de metano e de propionato têm sido estabelecida (Van Nevel, 1974 *apud* Hegarty, 1999).

A produção de propionato pode ser aumentada através do uso de ionóforos como a monensina e a lasalocida. Este aumento relativo de produção de propionato causada pela administração de ionóforos, o qual tem sido objeto de inúmeros trabalhos desde sua descoberta, provavelmente seja reflexo do maior crescimento de microorganismos tais como *Selenomonas*, *Succinomonas*, *Megasphaera* os quais não são afetados por concentrações normais destes, enquanto *Ruminococcus* e *Butyrivibrio* têm seu crescimento inibido.

Porém, Hegarty (1999) citando diversos autores, afirma existirem relatos na literatura de que a administração continuada de ionóforos poderia levar a uma adaptação da flora ruminal, cessando assim os efeitos benéficos sobre a metanogênese de sua aplicação.

A síntese de *novos* ácidos graxos de cadeia longa (LCFA) é um processo que demanda grandes quantidades de hidrogênio o qual usa o NADPH demandando 16 moles de hidrogênio para a síntese de 1 mol de ácido palmítico sintetizado. Hegarty cita que a produção microbiana de LCFA pode ser aumentada através da suplementação com metionina, pela alteração da flora ruminal produzida pela monensina ou ainda pelo aumento de lipídeos na dieta, porém o mesmo afirma que esta área necessita de maiores pesquisas e que nestes processos há muitos fatores envolvidos que ainda não são bem conhecidos.

Estimulação de reações alternativas que utilizem H₂.

A biohidrogenação de ácidos graxos poliinsaturados é uma reação que demanda grandes quantidades de elétrons do NADH, necessitando que os ácidos graxos sejam absorvidos pela célula bacteriana. Muitos microorganismos, assim como o *Butyrivibrio* são capazes de hidrogenar os ácidos graxos fornecidos na dieta.

O efeito supressivo do fornecimento dietético de gorduras insaturadas sobre a metanogênese é maior do que o explicado pela hidrogenação das duplas ligações destes ácidos graxos. Hegarty (1999) cita que as gorduras insaturadas exercem ainda um efeito tóxico sobre os microorganismos ruminais, incluindo os metanogênicos sendo este efeito mais importante na redução da metanogênese do que a simples competição pelos hidrogênios.

Manipulação da qualidade do produto.

No final da década de 1980, foi identificado um ácido graxo de origem animal com propriedades anticarcinogênicas denominado ácido linoléico conjugado (CLA). Santos et al.(2002) citando diversos autores afirmam que o CLA tem sido estudado em modelos animais, com respostas positivas, como uma substância que diminui a incidência de células carcinogênicas de melanomas, cólon, próstata, pulmão, ovários e tecido mamário.

O ácido linoléico conjugado pode ser definido como um conjunto de isômeros geométricos do ácido linoléico (18:2) com distintas propriedades bioativas, sendo sua forma mais comum (80-90%) nos alimentos o isômero cis-9, trans 11 (Staples et al., s/d)

A gordura do leite e seus derivados são as fontes naturais mais ricas em CLA dos alimentos, embora ele também esteja presente na carne bovina. A Tabela 1 mostra as concentrações de CLA em alguns alimentos.

Vários estudos sugerem diferentes mecanismos pelos quais os CLA poderiam atuar como anticarcinogênicos: como antioxidantes, inibindo a síntese de nucleotídeos, reduzindo a atividade proliferativa das células tumorais, inibindo a formação de DNA tumoral e inibindo a carcinogênese.

O consumo diário de CLA de um homem ocidental adulto é de cerca de 1g por dia, sendo recomendada a ingestão de cerca de 3,5g/dia. Surge então a

necessidade de se aumentar os níveis de CLA nos alimentos de origem animal, constituindo um possível diferencial competitivo para a cadeia da carne bovina.

Tabela 1. Concentração de ácido linoléico conjugado (CLA) em alguns alimentos.

Alimento	Total de CLA (mg/g de gordura)
Produtos lácteos	
Leite integral	4,5-10,1
Queijo parmesão	1,9-8,6
Ricota	5,6-24,2
Produtos cárneos	
Carne bovina	1,2-8,5
Carne de frango	0,03-0,9
Carne suína	0,2-0,6
Gema de ovo	0,0-0,6

Fonte: Adaptado de Santos et al., 2002

A bioquímica dos lipídios no rúmen.

Os lipídeos dietéticos fornecidos aos ruminantes sofrem marcadas modificações no ambiente ruminal, caracterizadas basicamente por dois processos: a hidrólise e a biohidrogenação os quais serão descritos a seguir.

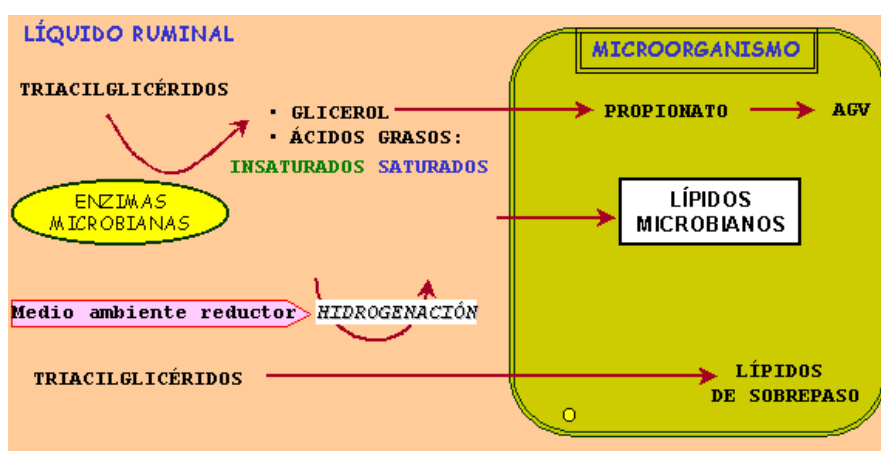


Figura 5. Digestão e biohidrogenação dos lipídeos da dieta (adaptado de Cuellar & Cruz, 2002).

Hidrólise dos lipídeos.

Os microorganismos do rúmen modificam rápida e amplamente os lipídeos da dieta durante sua permanência no rúmen e em condições típicas, muito pouca gordura escapa ilesa do rúmen. Os microorganismos hidrolizam os lipídeos até ácidos graxos e glicerol (ou outros compostos, dependendo da natureza do lipídeo consumido) (Church, 1988).

O glicerol (e/ou galactose) liberado pela hidrólise é utilizado pelas bactérias para a produção de AGV, entretanto as bactérias não são capazes de utilizar os ácidos graxos para a produção de energia por tratarem-se de compostos extremamente reduzidos. Todavia, elas podem incorporar os ácidos graxos em seu citoplasma como ácidos graxos livres ou ainda utiliza-los em sua membrana citoplasmática como fosfolipídeos.(Bauchart et al., 1990 *apud* Staples et al., s/d). Após serem hidrolizados, os ácidos graxos são neutralizados pela adição de cálcio ou magnésio.

Biohidrogenação e isomerização dos ácidos graxos.

Uma vez tenham sido hidrolizados, os ácidos graxos no rúmen sofrem um processo de biohidrogenação e isomerização. A biohidrogenação consiste na adição de H aos ácidos graxos nos locais de suas duplas ligações (Church, 1988) aumentando o grau de saturação destes.

A isomerização ocorre como um passo intermediário da biohidrogenação dos ácidos graxos. Neste ponto por ação de isomerases produzidas pelos microorganismos, os locais e conformação geométrica de algumas ligações cis das cadeias lipídicas são convertidas a ligações trans. A Figura 6 ilustra o processo de biohidrogenação e isomerização dos ácidos graxos.

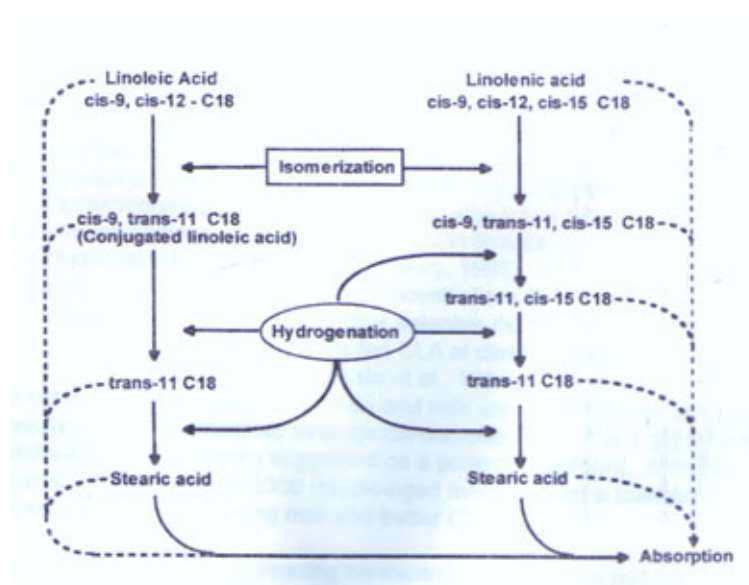


Figura 6. Modelo esquemático da isomerização e biohidrogenação do ácido linoleico e linolênico até ácido esteárico (Staples et al., s/d).

As razões para a biohidrogenação dos ácidos graxos pelos microorganismos ruminais não são completamente conhecidas. Tem sido sugerido por diversos autores que sua função seria de detoxificação pois os ácidos graxos insaturados seriam tóxicos para muitos microorganismos, sendo que os ácidos graxos poliinsaturados são biohidrogenados mais rapidamente que os monoinsaturados.

Suplementação dietética com gorduras para aumentar a quantidade de CLA nos produtos.

As gorduras são compostos altamente energéticos encontrados na natureza em produtos de origem animal e vegetal. A composição destas varia grandemente segundo sua fonte, sendo as gorduras de origem vegetal ricas em ácidos graxos insaturados e as gorduras de origem animal ricas em ácidos graxos saturados. A Tabela 2 mostra a composição de ácidos graxos de diferentes fontes naturais de gorduras que potencialmente podem ser utilizadas na alimentação de ruminantes.

Tabela 2. Composição (%) de ácidos graxos do sebo animal, óleo de soja e óleo de peixes.

Ácido graxo	Sebo animal	Óleo de soja	Óleo de peixes
C12:0	-	-	-
C14:0	4,4	-	11,1
C14:1	6,6	-	0,2
C15:0	0,7	-	0,7
C16:0	26,6	11,3	26,9
C16:1	2,4	-	12,7
C17:0	1,7	-	2,1
C17:1	0,8	-	1,2
C18:0	21,0	3,9	4,1
C18:1	39,8	23,8	11,4
C18:2	2,0	53,5	1,8
C18:3	1,0	7,5	3,1
C20:0	-	-	0,4
C20:1	-	-	1,6
C20:4	-	-	0,9
C20:5	-	-	13,0
C22:5	-	-	-
C22:6	-	-	8,8

Fonte: Adaptado de Thomas et al.(1997).

A suplementação dietética com gorduras insaturadas pode aumentar a quantidade de CLA no leite (Staples et al.,s/d). Porém, o fornecimento de grandes quantidades de gorduras (>5% do consumo total de matéria seca) na dieta dos

ruminantes pode alterar e até prejudicar a fermentação ruminal, diminuindo a digestibilidade ruminal da fibra e o consumo de matéria seca. Outro efeito que é observado quando da adição de gordura a dieta é uma alteração na proporção dos AGV produzidos, em grande parte devido ao efeito negativo sobre a digestibilidade da fibra, além da redução na produção de metano.

O nível de gordura que pode ser administrado ao animal também depende da forma dos alimentos dos quais ela é derivada, sendo que a quantidade máxima em todas as condições não deve exceder 5-7% do total da matéria seca. A gordura proveniente de sementes oleaginosas, por exemplo, pode ser administrada em doses maiores que a do óleo de soja misturado a dieta, pois a mastigação não é eficiente o suficiente para liberar simultaneamente todo o óleo das sementes e, portanto, este será liberado no rúmen mais lentamente (Williams, 2001)

Uma parte dos ácidos graxos poliinsaturados (PUFA) ingeridos pode escapar da biohidrogenação ruminal e constituem uma importante fonte de energia para a produção de leite, pois podem então ser absorvidos a nível de intestino delgado.

A extensão da biohidrogenação ruminal é sensível ao pH, à medida que o pH diminui, diminui também o percentual de ácidos graxos que são biohidrogenados. Isto deve-se principalmente a redução na lipólise que é um passo anterior a biohidrogenação.

O fato inverso ocorre quando as gorduras são fornecidas sob a forma de sabões de cálcio e magnésio, pois a medida que o pH diminui, aumenta seu grau de biohidrogenação pois estes são mais disponíveis a baixos pH. A figura 7 mostra o efeito do pH sobre a biohidrogenação do ácido linoleico de duas fontes de gordura utilizadas na alimentação animal.

A inclusão de tamponantes na dieta concomitantemente a administração de gordura protegida reduz a biohidrogenação dos sabões de cálcio e magnésio.

O tratamento térmico (tostagem) dos grãos de soja também diminui a biohidrogenação de seus ácidos graxos devido a liberação mais lenta deste. Outra forma comumente utilizada para conduzir a gordura através do rúmen é sua ligação a caseína, tratada com formaldeído.

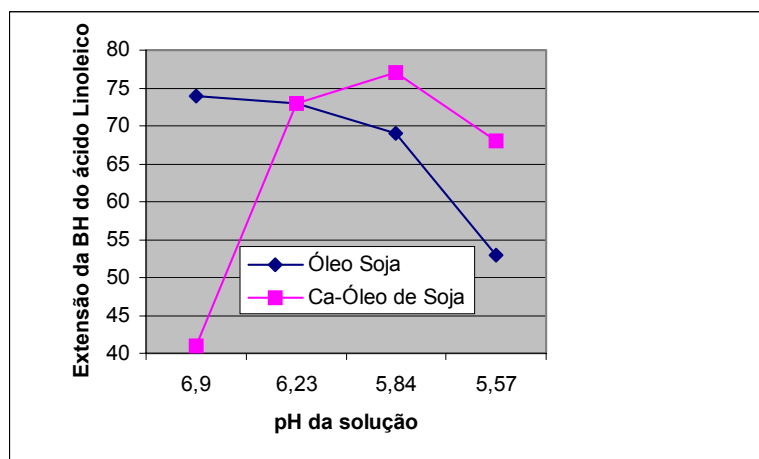


Figura 7. Influência do pH na biohidrogenação do ácido linoléico do óleo de soja na forma livre ou ligada ao cálcio (sabões de cálcio) (Adaptado de Staples et al., s/d).

Efeito do sistema de alimentação sobre a composição da gordura da carcaça.

As gorduras animais, mais que a carne por si mesma, são responsáveis pelo aumento dos níveis de colesterol sérico. Existem evidências que a carne produzida em pastagens tem uma melhor composição de gordura (maior percentagem de gordura insaturada) do que a produzida com alimentação a base de grãos. Trabalhos realizados na Argentina citados por Gil e Huertas (1999) têm mostrado níveis de colesterol até 8% inferiores em a carne produzida em dietas ricas em grãos. A Tabela 3 ilustra o acima afirmado. Trata-se de dados de um trabalho realizado por Gil & Huertas (1999) no INIA (Instituto Nacional de Investigacion) no Uruguai, comparando, entre inúmeros outros aspectos, o perfil de ácidos graxos de dois grupos de animais. No primeiro grupo, os animais foram confinados e os animais do segundo grupo terminados m pastagem.

Tabela 3. Comparação das características da gordura da carcaça de dois sistemas de terminação de bovinos de corte.

Variáveis	Pastagem	Confinamento	Nível de significância
Colesterol (mg/100g carne)	54,92	56,12	0,0231
Relação carne/gordura no músculo <i>L.dorsi</i>	6,40	4,99	0,0224
Total de ácidos graxos saturados	56,77	55,60	0,0004
Total de ácidos graxos monoinsaturados	42,99	42,86	N.S.
Total de ácidos graxos poliinsaturados	17,32	17,23	N.S.
Relação poliinsaturados/saturados	0,537	0,402	0,0000

Fonte: Adaptado de Gil & Huertas (2001).

Os animais terminados em pastagens apresentaram menores níveis de colesterol por 100g de carne, maior composição de carne em relação a gordura, produzindo uma carne mais magra, e principalmente, uma melhor relação entre ácidos graxos poliinsaturados/saturados, sendo esta relação altamente significativa.

Eficiência na transformação de alimentos em proteína microbiana.

O objetivo principal da produção de carne é a eficiente conversão de alimentos em carne, com um mínimo de impacto ambiental, produzindo um produto com as características desejadas pelo consumidor de maciez, suculência, baixo conteúdo de gorduras saturadas e alto teor de proteínas, o que pode ser conseguido através do uso de pastagens na alimentação animal.

A manutenção de bons níveis de produção durante todo o ano não é possível somente com a utilização de pastagens, devido à conhecida estacionalidade destas que em alguns períodos apresentarem deficiências de qualidade e/ou quantidade para atingir os desempenhos desejados. Nesse contexto está inserida a suplementação em pastejo visando atingir maiores desempenhos, tanto biológicos quanto econômicos.

Um dos principais problemas é a escolha do suplemento. Vários trabalhos têm citado a depressão no consumo e digestibilidade do volumoso quando é utilizada uma grande quantidade de carboidratos solúveis ou amido na suplementação (Silveira, 2002)

Na avaliação de alimentos, Van Soest (1994) define como os principais componentes do valor nutritivo a digestibilidade, o consumo e o desempenho (eficiência energética). Neste ponto, a otimização do ambiente ruminal pode trazer benefícios em termos de melhora na digestibilidades dos alimentos consumidos e na otimização do consumo de forragens, produzindo assim uma maior eficiência energética.

Fatores que influenciam a utilização da energia.

Os níveis de produtividade animal são influenciados principalmente pela quantidade de nutrientes e, em particular, pela quantidade de energia consumida. Nos sistemas pastoris, a maior parte da energia consumida pelos animais é oriunda de carboidratos estruturais como a hemicelulose e a celulose, sendo o

consumo de forragem em grande parte limitado fisicamente. Neste contexto, a digestibilidade ruminal das forrageiras exerce influencia direta sobre o consumo total de energia pelo animal.

Os carboidratos digeridos são utilizados pelos microorganismos ruminais para síntese de biomassa microbiana e produção de ATP para sua manutenção e crescimento. Concomitantemente são produzidos AGV os quais suprem 70-80% das exigências energéticas do animal.

Os principais AGV resultantes da fermentação ruminal dos carboidratos são acetato, propionato e butirato, e sua proporção vai depender da população microbiana existente, a qual está intimamente relacionada à dieta administrada ao animal.

A eficiência com que a energia metabolizável é usada para manutenção e produção varia conforme a fonte desta energia, se de forragem ou de amido. A explicação para este tipo de diferença pode estar associada ao incremento de calor. Esta diferença deve-se ao desequilíbrio de nutrientes existente nas dietas baseadas em forragens. As dietas baseadas em forragens caracterizam-se por promover uma grande formação de acetato, e provêem pouco propionato e aminoácidos glicogénicos. A síntese de ácidos graxos a partir de acetato requer NADPH, o qual nos ruminantes é derivado mais eficientemente do metabolismo da glicose na via das pentoses-fosfato ou na via da isocitrato desidrogenase. Portanto, é necessário um adequado suprimento de precursores da glicose. Dietas ricas em fibras podem estar limitando a síntese de precursores da glicose e conseqüentemente a incorporação de acetato em lipídeos pode ser comprometida. Se isto ocorre, para prevenir um excesso metabólico de acetato, este é convertido em calor pelo ciclo do substrato (ciclos fúteis), possivelmente entre acetato e acetil-CoA. Em troca, o ciclo do substrato vai ajudar a dissipar o ATP produzido e sendo o principal fator que limita a oxidação do acetato e a produção de NADPH (MacRae & Lobley, 1982 *apud* Scollan et al., s/d).

O uso da suplementação.

A técnica da suplementação é utilizada para incorporar a dieta de animais em pastejo largas quantidades de nutrientes como energia e proteínas de forma a maximizar seu desempenho ou, em um enfoque mais atual, adicionando as dietas quantidades catalíticas de nutrientes, buscando desta forma, otimizar o

funcionamento do sistema ruminal, permitindo assim um melhor aproveitamento da forragem consumida pelo animal e um maior consumo de forragem.

Suplementação com PDR.

Em situações de dietas pobres em proteína degradável no rúmen (PDR), como ocorre nas situações de inverno, onde o amadurecimento das plantas forrageiras faz com que diminua substancialmente seu conteúdo de nitrogênio, há uma situação onde a quantidade de nitrogênio, e especialmente de nitrogênio solúvel no rúmen, é limitante para um adequado crescimento e multiplicação dos microorganismos ruminais, levando assim a uma baixa digestibilidade das forrageiras consumidas, refletindo-se diretamente em uma queda acentuada no consumo destas forragens, e portanto, visto que no caso de animais em pastejo as forragens são a principal fonte de nutrientes para a produção animal, baixas produtividades.

O total de proteína disponível para a produção animal é derivado das seguintes fontes:

- proteína microbiana,
- proteína dietética não degradada no rúmen,
- secreção endógena.

A proteína das forragens está constituída de proteína verdadeira e nitrogênio não protéico. Esta última fração consiste de aminoácidos, peptídeos, amidas, ácidos nucleicos, nitrato e amônia e podem representar entre 15 – 50 % do conteúdo total de nitrogênio em forragens frescas e leguminosas, respectivamente.

A proteína microbiana é formada a partir do nitrogênio não protéico e da proteína verdadeira que é degradada no rúmen, sendo esta fração (NNP + proteína degradável no rúmen) chamada de PDR.

Buscando determinar as quantidades adequadas de PDR para maximizar o aproveitamento das forragens pelos animais em pastejo, inúmeros trabalhos têm sido conduzidos. Cochran (1995) revisando e tabulando uma série de trabalhos realizados nos Estados Unidos verificou que havia respostas positivas da suplementação com PDR até certo nível, onde os acréscimos de PDR passaram a ter um efeito decrescente no consumo de forragens. A Figura 8 a seguir é

resultado de seus trabalhos e mostra uma relação ótima entre matéria orgânica digestível e PDR.

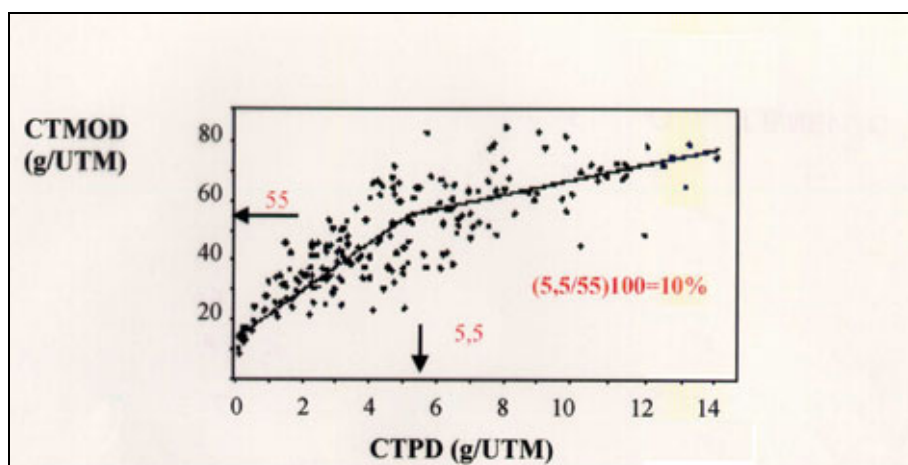


Figura 8. Relação entre o consumo total de PDR (CTPD) em relação ao consumo total de matéria orgânica(CTMOD) em g/UTM ($PV^{0,75}$) (Fonte: Cochran, 1995).

O autor sugere, que quando os requerimentos de proteína do animal sejam superiores a este valor, estes devam ser suplementados na forma de proteína não degradável no rúmen pois o ambiente ruminal já estará sendo suprido com uma quantidade ótima de N e este montante adicional de proteína terá um melhor aproveitamento na forma passante.

Ospina et al. (2002) realizaram um experimento onde foi comparado o consumo de matéria orgânica digestível (MOD) de animais alimentados com feno de baixa qualidade, suplementados ou não com PDR. Os autores identificaram diferenças significativas entre os animais suplementados e não suplementados, sendo que este último grupo apresentou um consumo de MOD de 37,25 g/UTM/dia. Os animais que receberam os tratamentos apresentaram consumos de MOD da ordem de 48,03 e 44,23 g/UTM/dia, os quais não diferiram entre si.

Um segundo enfoque na suplementação é a inclusão de nutrientes nas dietas a fim de maximizar a produção animal. Neste sentido, costuma-se suplementar os animais com grãos a fim de obter-se melhores desempenhos, especialmente na terminação de animais jovens. Muitos relatos encontrados na literatura afirmam que quando suplementamos animais com grãos, provoca-se uma queda no pH ruminal, a qual produz uma diminuição da digestibilidade e consumo da fibra. Em um outro trabalho, produzido no Brasil, Silveira (2002) trabalhando com dietas baseadas em feno de qualidade mediana, suplementado

com 1% do peso vivo de milho moído, mostrou que a adição de PDR a dieta foi capaz de reverter os efeitos negativos sobre o consumo de matéria orgânica, o qual tem sido atribuído à queda no pH. Semelhantes respostas foram obtidas por Bodine et al. (2000) ao aumentar os níveis de PDR em dietas baseadas em feno de baixa qualidade e suplementadas com milho a 0,75 % do PC.

Conclusões.

A nutrição animal é um vasto campo para desenvolvimento e pesquisa, e ainda temos muito a aprender com os animais, visando otimizar seu desempenho, diminuir as perdas energéticas no sistema como um todo e produzir alimentos mais saudáveis e palatáveis ao consumidor.

O entendimento da natureza química dos processos vitais é de fundamental importância quando se pretende obter os melhores desempenhos possíveis do animal, principalmente no caso de ruminantes, onde temos um complexo sistema bioquímico de digestão dos alimentos.

Referências bibliográficas.

- BAKER, S. K. Rumen methanogens, and inhibition of methanogenesis. **Aust. J. Agric. Res.**, v. 50, 1293 – 1298. 1999.
- BODINE, T. N. PURVIS II. Effects of supplementing prairie hay with corn and soybean meal on intake, digestion, and ruminal measurements by beef steers. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 78, p. 3144-3154. 2000.
- CUELLAR, C. N.; CRUZ, A.D. Introducción a la nutrición animal. **In: <http://www.veterin.unam.mx/fmvz/enlinea/ruminal/introduccion.htm>**. Universidad Nacional Autónoma de México. 2002.
- CHURCH, D. C. **El Rumiante: fisiologia digestiva y nutrición**. Ed. Acribia. Zaragoza, 1998. 630p.
- COCHRAN, R. C. Developing optimal supplementation programs for range livestock. **In: KSU range field day**, p. 58-72.1995
- GIL, A. D.; HUERTAS, S. **Efectos del sistema de producción sobre las características de la carne vacuna**. Serie FTPA-INIA. v.4. 2001.
- HEGARTY, R. S. Mechanisms for competitively reducing ruminal methanogenesis. **Aust. J. Agric. Res.**, v. 50, p.1299 – 1305. 1999.
- HOWDEN, S. M.; REYENGA, P. J. Methane emissions from Australian livestock: implications of the Kyoto Protocol. **Aust. J. Agric. Res.**, v. 50, p.1285 – 1291. 1999.
- JOUANY, J. P.; MICHALET-DOREAU, B.; DOREAU, M. **Manipulation of rumen ecosystem to support high-performance beef cattle**. s/d.
- OSPINA, H. P.; LANGWINSKI, D; SILVEIRA, A. L. F. MEDEIROS, F. S. Formulação de rações para ruminantes. **In: Curso de formulação de rações para ruminantes**. Rosário. 2002. 59p.
- OSPINA, H. P.; SCHAFHAUSER JR, J.; KNORR, M.; FERRARI, R. V.; LIMA, L. B.; SENGER, C. C. D. Efeito da suplementação com sais proteinados sobre o consumo e a digestibilidade de

- bezerros alimentados com feno de baixa qualidade. In: REUNIÃO ANUAL DA SOC. BRAS. DE ZOOT., 23, 2002, Recife, PE. *Anais...* Recife, 2002. no prelo.
- SANTOS, F. L.; LANA, R. P.; SILVA, M. T. C. Ácido linoleico conjugado: estratégia para a elevação do ácido linoleico conjugado em leite de vacas. **Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento**. n. 24. 2002.
- SCOLLAN, N. D.; LEE, M. R. F.; KIM, E. J. **Alteration of efficiency of meat production in beef cattle by manipulating diets**. s/d.
- SILVEIRA, A. L. F. **Avaliação nutricional da adição de uréia a dieta baseada em feno de média qualidade suplementada com milho moído**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- STAPLES, C. R.; MATTOS, R.; BOKEN, S. L.; TATCHER, W. W. Unsaturated fatty acids – the rumen end beyond. s/d.
- VAN SOEST, P. J. **Nutritional ecology of the ruminant**. New York: Cornell University Press, 1994. 476 p.