

Diversidade microbiana no ecossistema ruminal (Microbial diversity in the ecossistema ruminal)

Juliana Silva de Oliveira¹, Anderson de Moura Zanine¹, Edson Mauro Santos¹

¹Doutorando em Zootecnia, UFV, Viçosa, MG, Brasil, Bolsista do CNPq.

e-mail: julianazootecnista@yahoo.com.br; anderson.zanine@ibesst.com.br

REDVET: 2007, Vol. VIII Nº 6

Recibido: 16 Abril 2007 / Referencia: 060703_REDVET / Aceptado: 30 Mayo 2007 / Publicado: 01 Junio 2007

Este artículo está disponible en <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n060607.html> concretamente en <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n060607/060703.pdf>

REDVET® Revista Electrónica de Veterinaria está editada por Veterinaria Organización®.
Se autoriza la difusión y reenvío siempre que enlace con Veterinaria.org® <http://www.veterinaria.org> y con REDVET®
- <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet>

Resumo

Os ruminantes alimentam-se basicamente de alimentos fibrosos, o que, evolutivamente, os levou a desenvolverem uma grande capacidade ingestiva acompanhada por simbiose com microrganismo que fazem digestão da fibra celulolítica, obtendo-se desta forma, a principal fonte de energia para seu crescimento, produção e reprodução. O rúmen contém uma complexa mistura de partículas

alimentares e de microrganismos: protozoários ciliados e flagelados, fungos, bactérias, micoplasmas e bacteriófagos, os quais estabelecem entre si diversas interações. As bactérias e os protozoários ciliados representam, na maior parte das condições, os componentes mais importantes da população microbiana.

Palavras-chave: Rúmen | bactérias | protozoários | fungos

Abstract

The ruminant eat basically fibrous foods and throughout evolution period they had developed a great ingestive capacity owing to the symbiosis with microorganism that promote digestion of the celulolitic fiber. Thus, they obtain the main energy source for their growth, production and reproduction. The rumen houses a complex mixture of food particles and of microorganisms: ciliated and

flagellated protozoa, molds, bacteria, micoplasmas and bacteriophages, which establish several interactions among themselves. The bacteria and the ciliated protozoa are, in most of the conditions, the most important components of the microbial population.

Key-words: Rumen | bacteria | protozoa | molds

1. Introdução

Os microrganismos desempenham papel importante na produção animal, através de suas atividades sobre os componentes da dieta dos animais ruminantes transformando as substâncias indigeríveis como celulose, lignina e outros compostos em ácidos orgânicos, aminoácidos e vitaminas bem como substâncias que estimulam o crescimento e a produção de carne, leite e lã.

O rúmen fornece um ambiente favorável ao desenvolvimento contínuo da população microbiana, atuando como câmara de fermentação, pelos seguintes fatores: 1) temperatura entre 38 a 42°C (média de 39°C); 2) anaerobiose; 3) pH tampão variando entre 5,5 a 7,0 (média de 6,8); presença de bactérias, protozoários e fungos; 4) suplemento de nutriente e contínua remoção de digesta e dos produtos de fermentação; 5) outros: matéria seca entre 10 a 15%, gravidade específica entre 1,022 e 1,055, tensão superficial do líquido de 50 dinas/cm e pressão osmótica constante (Lana, 2005).

Os ruminantes têm a capacidade de utilizar grande variedade de alimentos como fonte de nutrientes. O sucesso destes animais se deve a relação simbiótica do hospedeiro (animal) com microrganismos ruminais que possibilita a utilização da parede celular de vegetais e nitrogênio não protéico como fonte de nutrientes, compostos complexos e inutilizáveis para a maioria dos outros animais. A relação simbiótica se dá da seguinte maneira, o animal fornece alimento e um ambiente (rúmen) para o crescimento dos microrganismos que por sua parte, supre o animal com ácidos resultantes da fermentação e com proteína microbiana.

O ecossistema do rúmen consiste principalmente de bactérias (10^{10} - 10^{11} células/ml), protozoários (10^4 - 10^6 /ml), fungos anaeróbios (10^3 - 10^5 zoospóro/ml) e bacteriófagos (10^8 - 10^9 /ml) (Kamra, 2005). O sinergismo e antagonismo de diferentes grupos de microrganismos e também de gêneros de um mesmo grupo são diversos e complicados. Os resultados destas relações no rúmen que é responsável pela bioconversão dos alimentos na forma que é utilizada pelo animal. A qualidade e quantidade dos produtos da fermentação são dependentes do tipo e atividade dos microrganismos no rúmen (Towne & Nagajara, 1990; Towne, 1990; Russel *et al.*, 1992).

Em função disto, a presente revisão tem como objetivo, caracterizar os principais microrganismos que habitam o rúmen, suas relações e metabolismo.

2. Rúmen

Em animais adultos, o rúmen tem um volume aproximadamente de 100 litros para bovinos e 10 litros para ovinos, ocupando uma grande proporção da cavidade corporal. (Hobson & Stewart, 1997).

O rúmen apresenta um ecossistema microbiano estável e ao mesmo tempo dinâmico. O ecossistema é estável porque o ruminante saudável não sofre a contaminação do ecossistema, apesar de entrada de milhões de microrganismos no rúmen diariamente, através dos alimentos, água e ar. É dinâmico pela população mudar consideravelmente por mudanças na dieta do animal. Estas características são por causa da adaptação de certos microrganismos ao ambiente ruminal, enquanto os microrganismos contaminantes não sobrevivem a este ambiente.

O rúmen é considerado um ecossistema aberto e contínuo, que proporciona um ambiente ideal para o mantimento de uma população microbiana estável pela evolução de milhões de anos de seleção. Seu meio é anaeróbico, com temperatura em torno de 39-42°C, pH entre 6,0 e 7,0, e com presença permanente de substratos e de atividade fermentativa (Kozloski, 2002).

O alimento ingerido pelo animal proporciona um aporte constante de substratos que é retido por tempo e volume necessário para que os componentes da dieta sejam degradados e fermentados pelos microrganismos ruminais. A diferença no tempo de abandono do rúmen da fase líquida e das partículas possibilita uma fermentação eficaz. Muito dos produtos finais da fermentação são absorvidos diretamente na parede do rúmen na fase líquida, e as partículas de maiores tamanhos são retidas por mais tempo para que sofram a degradação.

A anaerobiose dentro do rúmen é um dos maiores obstáculos no ecossistema do rúmen, como também ajuda a conservar a energia que será usada pelo animal. As condições anaeróbicas do rúmen são mantidas por gases gerados durante a fermentação, gás carbônico, metano e traços de hidrogênio. O oxigênio que entra no rúmen é consumido por microrganismos facultativos presentes no rúmen, mantendo a condição anaeróbia. Assim, somente microrganismos capazes de tolerar um baixo potencial redox (-350 mV) são capazes de sobreviver no rúmen (Kamra, 2005).

A alta capacidade tamponante e a pressão osmótica também limitam o crescimento de microrganismos invasores. Alguns microrganismos produzem, ainda, compostos microbianos que limitam o crescimento de outros microrganismos presentes no ecossistema.

3. Diversidade microbiana do rúmen

3.1. Bactérias

A identificação e o estudo do metabolismo das espécies bacterianas ruminais foram viabilizado somente após a Segunda Guerra Mundial (meados do século XX), pelo desenvolvimento de técnicas de cultivo bacteriano em meio anaeróbio. Antes disto, pouco se sabia sobre a fermentação ruminal.

Vários tipos de bactérias são ativas na degradação da celulose, hemicelulose, lignina, amido, proteína e pouca quantidade de óleo. A interação entre elas mesmas e outros grupos de microrganismos são responsáveis pelo efeito sinérgico na produção de ácidos graxos voláteis e proteína microbiana no rúmen.

Algumas das características comuns de bactérias encontradas no rúmen de animais consumindo dietas ricas em forragens são (Kamra, 2005):

- A maioria das bactérias são gram-negativa. O número de bactérias gram-positivas tende a aumentar com a elevação da energia na dieta.
- A maioria das bactérias são anaeróbias obrigatórias. Existem algumas anaeróbias facultativas.
- O ótimo pH de crescimento de bactérias ruminais é entre 6,0 e 6,9.
- Temperatura ótima em torno de 39°C.
- Toleram níveis altos de ácidos orgânicos sem prejudicar seu metabolismo

As bactérias são classificadas mediante a utilização de substratos ou características fermentativas comum. Entretanto, se produz uma grande superposição de bactérias nos grupos, porque a maioria das espécies é capaz de fermentar vários substratos (Church, 1993).

3.2. Fermentadoras de carboidratos estruturais

Degradam a celulose e hemicelulose da parede celular dos vegetais, apresentam uma taxa de crescimento relativamente mais lenta e dependem de amônia e de ácidos graxos de cadeia ramificada (isovalerato, isobutirato e 2-metilbutirato) para síntese de proteínas. Na tabela 1, são apresentadas as bactérias do rúmen fermentadoras de carboidratos estruturais.

Tabela 1. Grupo das bactérias do rúmen segundo o tipo de substrato de fermentação

Fermentadoras de carboidratos estruturais	
CELULOSE	HEMICELULOSE
<i>Fibrobacter succinogenes</i>	<i>Butyrivibrio fibrisolvens</i>
<i>Bacteroides succinogenes</i>	<i>Prevotella ruminicola</i>
<i>Ruminococcus flavefaciens</i>	<i>Bacteroides ruminicola</i>
<i>Ruminococcus albus</i>	<i>Eubacterium xylanophilum,</i>
<i>Clostridium cellobioparum</i>	<i>E. uniformis</i>
<i>Clostridium longisporum</i>	<i>Butyrivibrio fibrisolvens</i>
<i>Clostridium lochheadii</i>	<i>Prevotella ruminicola</i>
<i>Eubacterium cellulosolvens</i>	<i>(Bacteroides ruminicola)</i>
<i>Cillobacterium cellulosolvens</i>	

3.3. Fermentadoras de carboidratos não-estruturais

Degradam os carboidratos de natureza não estrutural, como amido, dextrinas, frutanas e açúcares; apresentam a taxa de crescimento alta e podem utilizar amônia, aminoácidos e peptídeos para síntese de suas proteínas. Na tabela 2, as fermentadoras de carboidratos não-estruturais.

Tabela 2. Grupo das bactérias do rúmen segundo o tipo de substrato de fermentação.

Fermentadoras de carboidratos não-estruturais	
AMIDO	LIPOLÍTICAS
<i>Streptococcus bovis</i>	<i>Anaerovibrio lipolytica</i>
<i>Ruminobacte ramylophilus</i>	UREOLÍTICAS
<i>Bacteroides amylophilu</i>	<i>Megasphaera elsdenii</i>
<i>Prevotella ruminicola</i>	UTILIZADORAS DE ÁCIDO
AÇUCAR/DEXTRINA	<i>Megasphaera elsdenii</i>
<i>Bacteroides ruminicola</i>	<i>(Peptostreptococcus elsdenii)</i>
<i>Succinivibrio dextrinosolvens</i>	<i>Wollinella succinogenes</i>
<i>Succinivibrio amylolytica</i>	<i>(Vibrio succinogenes)</i>
<i>Selenomonas ruminantium</i>	<i>Veillonella gazogenes</i>
<i>Lactobacillus acidophilus</i>	<i>(Veillonella alcalescens,</i>
<i>L. fermentum, L. plantarum,</i>	<i>Micrococcus lactolytica)</i>
<i>L. helveticus</i>	<i>Oxalobacter formigenes</i>
<i>Bifidobacterium globosum,</i>	<i>Succiniclasticum ruminis</i>
<i>B. thermophilum</i>	ACETOGÊNICAS
<i>B. ruminale</i>	<i>Eubacterium limosum</i>
<i>B. ruminantium</i>	<i>Acetitomaculum ruminis</i>
PROTEOLÍTICA	DEGRADADORAS DE TANINO

<i>Prevotella ruminicola</i>	<i>Streptococcus caprinus</i>
<i>Ruminobacter amylophilus</i>	<i>Eubacterium oxidoreducens</i>
<i>Clostridium bifermentans</i>	DEGRADADORAS DE MIMOSINA
METANOGENICA	<i>Synergistes jonesii</i>
<i>Methanobrevibacter ruminantium</i>	EUBACTERIUM
<i>Methanobacterium formicicum</i>	<i>E. uiforms</i>
<i>Methanosarcina barkeri</i>	<i>E. xylanophilum</i>
<i>Methanomicrobium mobile</i>	BIFIDOBACTERIUM
PECTINOLITICA	<i>B. globosum</i>
<i>Treponema saccharophilum</i>	<i>B. longum</i>
<i>Lachnospira multiparus</i>	<i>B. adolescentis</i>

Adaptado de Kamra, 2005.

3.4. Proteolíticas

Utilizam aminoácidos como principal substrato energético; degradam proteínas mais intensamente que os demais.

3.5. Metanogênicas

São as mais estritamente anaeróbias do rúmen; produzem metano a partir de CO₂ e H₂.

3.6. Lácticas

Crescem em condições de baixo pH ruminal e utilizam ácido láctico como substrato energético.

3.7. Pectinolíticas

Fermentam pectina; são semelhantes às bactérias que utilizam carboidratos não-estruturais.

3.8. Lipolíticas

Hidrolisam triglicerídeos em glicerol e ácidos graxos.

3.9. Ureolíticas

Se encontram no rúmen aderidas no epitélio ruminal; hidrolisam uréia liberando amônia. Existe ainda no rúmen, espécies de *Clostridium*, *Eubacterium*, *Bifidobacterium* e bactérias que não fermentam açúcares.

3.10. Archeaea

Sete diferentes espécies representam os cinco gêneros de metanogênicas que tem sido encontradas no rúmen de diferentes animais, *Methanobrevibacter ruminantium*, *Methanobacterium bryanti*, *Methanobacterium vibacter smithii*, *Methanosarcina barkeri*, *Methanoculleus olentangyi*, *Methanobacterium formicicum*, *Methanosarcina barkeri*, e *Methanomicrobium mobile*. As metanogênicas são presentes no rúmen em grande quantidade que varia de 10⁷ a 10⁹ cel/ml de líquido ruminal que irá depender do tipo da dieta dada ao animal, especialmente o conteúdo de fibra na ração (Kamra, 2005).

As metanogênicas são de importância vital no rúmen retirando o hidrogênio molecular gerado durante a fermentação no rúmen, em um contínuo processo, que representa uma significativa perda de energia consumida pelo animal (Dehority, 1987)

Existe no rúmen, uma associação entre protozoários entodiniomorfos e algumas Archeaea, que se ligam à película dos protozoários. Dez espécies de protozoários entodiniomorfos têm grande afinidade de ligação com metanogênicas. As metanogênicas se ligam com os protozoários ciliados que produzem um constante suplemento de hidrogênio.

3.11. Protozoários

Os protozoários do rúmen foram detectados nos animais domésticos desde o século dezenove por Gruby e Delafond (1843). Nenhum trabalho foi feito por várias décadas. Somente em 1920 que foi dada atenção significativa novamente aos protozoários.

A maior parte dos protozoários no rúmen são ciliados e dividem-se em dois grupos dependendo de características morfológicas: os Entodiniomorfos, que ingerem preferencialmente partículas insolúveis suspensas no fluido ruminal e estão presentes em maior número quando a dieta é a base de forragem, e os Holotriquiias, que tem maior capacidade de ingerir materiais solúveis e grânulos de amido e estão presentes em maior número quando a dieta é rica em grãos de cereais. Os protozoários podem ser classificados como utilizadores de açúcar, os que degradam amido e os que hidrolisam lignina e celulose (Ogimoto & Imai, 1981).

Os entodiniomorfos são capazes de aderirem-se às fibras e possuem atividade celulolítica e hemicelulolítica.

Os protozoários holotriquiias são representados por 15 diferentes gêneros no rúmen de diferentes animais. Entre esses gêneros, *Isotricha*, *Dasytricha*, *Buestchilia* e *Charonina* são amplamente distribuídos no rúmen de ruminantes domésticos e selvagens. O perfil enzimático de protozoários holotriquiia indica que eles têm amilase, invertase, esterase pectina e poligalacturonase podendo utilizar suficientes quantidades de amido, pectina e açúcar solúvel como fonte de energia. As enzimas responsáveis pela degradação de celulose e hemicelulose têm sido reportadas em protozoários holotriquiia, mas os níveis são baixos comparados com os protozoários entodiniomorfos (Willians & Coleman, 1991).

Todos os protozoários utilizam bactérias como principal fonte de aminoácidos e de ácidos nucléicos, sendo que o engolfamento é mais intenso em dietas ricas em grãos. Em dietas ricas em forragens, as bactérias constituem sítios de aderência e dificultam o engolfamento pelos protozoários (Kozloski, 2002).

O material ingerido pelos protozoários é digerido em vacúolos presentes no interior do portoplasma. Grânulos de amido ingeridos são digeridos mais lentamente que pelas bactérias, limitando a queda do pH ruminal. Entretanto, o excesso de ingestão de amido pode matar a célula.

Como nas bactérias, os carboidratos são fermentados até ácidos graxos voláteis, CO₂ e metano. Os protozoários são ativos fermentadores de lactato, que também pode diminuir o efeito depressivo do pH ruminal em dietas ricas em amido (Willians, 1993).

No caso de proteínas, mais da metade daquelas digeridas são excretadas novamente para o fluido ruminal na forma de amônia, aminoácidos e peptídeos.

Os protozoários são, ainda, ativos na biohidrogenação de ácidos graxos insaturados. A maior parte dos protozoários são reciclados no interior do rúmen, não saindo para o abomaso.

Na tabela 3, podem ser observadas as diversidades de protozoários no ecossistema microbiano no rúmen de animais domésticos e selvagens.

O benefício dos protozoários para os ruminantes é controverso. Alguns estudos demonstram uma melhora na digestibilidade e no ganho de peso de bovinos quando se tem protozoários no rúmen (Church, 1993). Outros estudos sugerem que os protozoários não realizam função específica que seja essencial para ruminantes.

Entretanto, alguns efeitos da defaunação na performance do animal são observados:

- A não estabilização do pH no rúmen na ausência de protozoários ciliados e portanto, um baixo pH é sempre observado.
- Um aumento no nível de ácido láctico e ácido propiônico no líquido ruminal.
- Amônia decresce significativamente na defaunação.
- Metanogênese reduz consideravelmente na ausência de protozoários ciliados.
- Significante aumento no número de bactérias e fungos no líquido ruminal quando protozoários são eliminados.
- Aumento na eficiência de conversão do alimento em algumas dietas, especialmente dietas ricas em forragens.

Tabela 3. Diversidade de protozoários no ecossistema microbiana no rúmen de animais domésticos e selvagens

Protozoários	Hospedeiro
Holotriquiás	
<i>Isotricha prostoma</i>	Ovelha Bovino Zebu Blackbuck Búfalo Veado Cabra
<i>Isotricha intestinalis</i>	Bovino Bisão Cervo Veado
<i>Dasytricha ruminantium</i>	Ovelha Blackbuck Búfalo
<i>Oligoisotricha bubali</i>	Búfalo Bovino
Entodiniomorfos	
<i>Entodinium bovis</i>	Bovino iugoslavo
<i>E. bubalum</i>	Bovino Zebu
<i>E. bursa</i>	Búfalo
<i>E. caudatum</i>	Ovelha, Bovino e cabra
<i>E. chatterjeei</i>	Ovelha, Bovino e cabra
<i>E. longinucleatum</i>	Cabra da Índia e búfalo

<i>Diplodinium dendatum</i>	Bovino e búfalo
<i>D. indicum</i>	Amplamente distribuído
<i>Eremoplastron asiaticus</i>	Bovino indiano
<i>E. bubalus</i>	Bovino do Brasil e búfalo
<i>Ostracodinium trivesiculatum</i>	Bovino e búfalo
<i>Polyplastron multivesiculatum</i>	Bovino, ovelha, cabra, e blackbuck
<i>Metadinium medium</i>	Bovino, búfalo e reedbuck africano
<i>Ophryoscolex caudatus</i>	Amplamente distribuído
<i>Caloscolex camelicus</i>	Camelo e dromedário

Adaptado de Kamra, 2005.

3.12. Fungos

Os fungos flagelados foram observados no rúmen em 1910, mas se acreditava que eram protozoários flagelados (Kamra, 2005). Na década de 70 do século passado é que descobriram que estes organismos flagelados eram fungos, que foram identificados como *Callimastix*, *Sphaeromonas*, *Oikomonas*, entre outros. A confirmação foi devido a presença de quitina na parede celular desses microrganismos.

As estirpes de fungos que foram encontrados no rúmen são todos anaeróbios restritos. Estes fungos, juntamente com aqueles encontrados em outras partes do trato gastrintestinal de animais herbívoros, têm uma ativa degradação de fibra por apresentar diferentes enzimas envolvidas na sua degradação (Kamra, 2005). Recentes experimentos têm mostrado que se remover os fungos do conteúdo ruminal, ocorre significativa redução na produção de gás e degradação da fibra *in vitro* de dietas fibrosas (Kamra, 2005).

Os zoósporos dos fungos crescem dentro de micelas, após se transformam para estágio reprodutivo de rizoídes com zoosporângios. Grandes quantidades de açúcares inibem a germinação de zoósporos no tecido das plantas. Provavelmente, isto acontece devido a queda de pH no líquido de rúmen na presença de altas concentrações de açúcares, inibindo a produção de zoósporos no rúmen.

Na tabela 4 podem ser observados os fungos presentes no sistema ruminal dos animais e seus respectivos hospedeiros.

Tabela 4. Fungos do ecossistema microbiano ruminal de animais domésticos e selvagens

Fungos	Hospedeiro
<i>Neocallimastix frontalis</i>	Vaca
<i>N. patriciarum</i>	Ovelha
<i>N. hurleyensis</i>	Bovino
<i>Sphaeromonas communis</i>	Bovino
(<i>Caecomyces communis</i>)	
<i>Caecomyces equi</i>	Cavalo
<i>Orpinomyces bovis</i>	Bovino
<i>Anaeromyces mucronatus</i>	
(<i>Ruminomyces mucronatus</i>)	Bovino

<i>Ruminomyces elegans</i>	Bovino
<i>Piromyces communis</i> ,	Cavalo, elefante
<i>Piromyces mae</i> ,	Cavalo, elefante
<i>Piromyces dumbonica</i>	Cavalo, elefante

Adaptado de Kamra, 2005.

3.13. Bacteriófagos

Os bacteriófagos são vírus de bactérias e são presentes no rúmen em larga quantidade. Eles são específicos para diferentes bactérias presentes no rúmen e são considerados patógenos obrigatórios para bactérias. Os bacteriófagos são capazes de destruir as bactérias (lise).

Entretanto, estes patógenos ajudam no turnover da massa bacteriana no rúmen, que talvez seja útil para os animais em diferentes dietas, por disponibilizar, através da lise, proteína bacteriana como fonte de aminoácidos para o animal (Kamra, 2005).

A variação diurna dos bacteriófagos é bastante diversa, variando entre 5 a 10^7 fagos/ml de fluido ruminal (Church, 1993). Entre 8 -10 horas após a alimentação ocorre um grande aumento destes organismos no rúmen.

4. Inter-relação entre diferentes grupos de microrganismos no rúmen

Alguns microrganismos ruminais dependem de outros para suplemento de nutrientes requeridos por ele, enquanto outros são antagonistas por excreção de compostos anti-microbianos.

Algumas das bactérias que degradam celulose como *R. albus* e *R. flavefaciens* produzem uma proteína solúvel que inibe a degradação da celulose por fungos anaeróbios do rúmen enquanto outras inibem o crescimento de estirpes de fungos (Kamra, 2005).

Polyplastron multivesulatum predam outros protozoários ciliados presentes no rúmen como *Epidinium*, *Eudiplodinium*, *Diplodinium* e *Ostracodinium*. Os protozoários em geral alimentam-se de bactérias ruminais fazendo um papel crítico no turnover de proteínas bacterianas no rúmen.

Estas interações (promoção de crescimento e antagonismo) entre diferentes microrganismos são importantes para manter um estável equilíbrio que ajuda a ótima atividade fermentativa no rúmen e não permite que os microrganismos contaminantes sobrevivam no rúmen.

5. Fixação bacteriana

Os alimentos que chegam ao rúmen são constituintes de estruturas moleculares complexas e de alto peso molecular, indisponíveis às células bacterianas ruminais. Assim, para atender as necessidades nutricionais bacterianas, estas estruturas são degradadas extracelularmente até porções menores como os monômeros que são passíveis de entrarem na célula e serem metabolizadas. Como exemplo, o amido ou celulose são degradados até mono ou dissacarídeos e proteínas até aminoácidos ou pequenos peptídeos (Whiters, 1992).

No interior da célula, os aminoácidos e monossacarídeos podem, então, ser degradados ou utilizados na síntese de moléculas estruturais.

Para o início da degradação das moléculas, o primeiro passo é a aderência da célula bacteriana à partícula de alimento. No caso de espécies que degradam carboidratos não estruturais, a aderência da bactéria à partícula de alimento permite a aproximação de enzimas presentes na superfície externa da membrana das células bacterianas aos

substratos. A digestão é concentrada numa pequena área, em que as enzimas ficam protegidas e uma maior proporção de nutrientes que são liberados por hidrólise são capturados por está célula aderida. A população de bactérias aderentes crescerá sobre o substrato com o avanço da digestão até que as células são liberadas passando para o fluido ruminal para recolonizarem um novo substrato (Church, 1993).

Estes mecanismos de aderência envolvem a participação de moléculas de natureza protéica e lipídica presentes na superfície externa da célula bacteriana, que interagem com componentes das partículas por meio de interações iônicas, hidrofóbicas e forças de Van Der Walls (Kozloski, 2002). Em torno de 70 a 80% da biomassa bacteriana ruminal é representada por bactérias aderidas. As espécies celulolíticas do rúmen se aderem a membrana das células vegetais por meio da envoltura de glicoproteínas extracelular que rodeiam a célula. Espécies de bactérias que degradam carboidratos não estruturais se fixam da mesma maneira nos grânulos de amido (Church, 1993).

Entretanto, a camada cuticular da superfície de grãos e forragens, a lignina da parede celular, as camadas protéicas que envolvem grânulos de amido e excesso de gordura na dieta prejudicam esta aderência e à atividade hidrolítica bacteriana (Kozloski, 2002).

Existe uma abundante população de bactérias aderidas, também, a parede do rúmen. Muitas desses microrganismos são anaeróbios facultativos, e ureolíticas (Church, 1993). O tipo de dieta consumida pelo animal pode influenciar notadamente a distribuição das bactérias sobre a parede ruminal.

Ocorre, ainda, uma fixação de archaea sobre os protozoários. As metanogênicas associam-se com protozoários para a transferência interespecífica de H_2 .

6. Transporte de nutrientes através das membranas bacterianas

As bactérias utilizam de diferentes sistemas de transporte de nutrientes para o interior da célula (figura 1). Os principais são: difusão passiva; difusão facilitada e o transporte ativo.

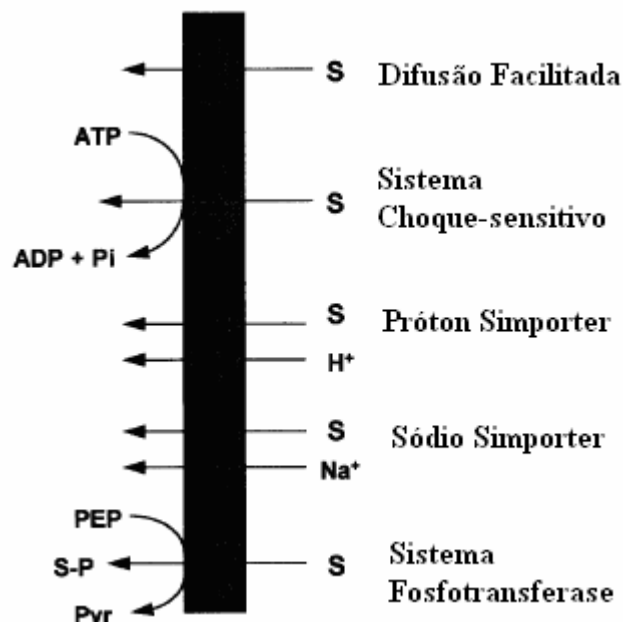


Figura 1. Mecanismos de transporte que identificado em bactérias.

6.1. Difusão passiva

A difusão passiva é caracterizada pela passagem de moléculas através das membranas sem gasto de energia e sem envolvimento de proteínas carreadoras (Kozloski, 2002). Este

transporte só ocorre para moléculas ionicamente neutras ou hidrofóbicas e a favor do gradiente de concentração. No rúmen, isto é o caso dos ácidos graxos de cadeia longa, parte da amônia e ácidos graxos voláteis (AGV) transportados através das membranas bacterianas.

6.2. Difusão facilitada

Este sistema de transporte ocorre, também, sem gasto de energia, e somente a favor do gradiente de concentração (Kozloski, 2002). A diferença, é que envolve uma proteína carreadora de membrana e permite a passagem de moléculas polares ou eletricamente carregadas. Este mecanismo é utilizado para o transporte de aminoácidos (glutamato e glutamina) e de glicerol e glicose, mas com pouca significância no rúmen.

6.3. Transporte ativo

As principais características deste sistema são: o gasto de energia; o envolvimento de proteínas carreadoras de membrana e o fluxo de substrato contra gradientes de concentração (Kozloski, 2002). A passagem de açúcares, aminoácidos, peptídeos e ácidos orgânicos ocorrem predominantemente através deste sistema.

A energia utilizada é derivada da hidrólise do ATP, acetil-fosfato ou da força próton-motora gerada pelo gradiente iônico existente na membrana celular bacteriana (Kozloski, 2002).

Sistema Choque-sensitivo – Sistema dirigido pela hidrólise de uma molécula de ATP, liberando ADP e Pi. Envolve proteínas carreadoras e participação de uma proteína periplasma capaz de ligar-se na molécula a ser transportada. Utilizado no transporte de açúcares.

Próton Simporter – Este sistema ocorre pela ação de H⁺ e Na-ATPases, em que ocorre a passagem de prótons para dentro das células, através de proteínas carreadoras, liberando uma energia associada à força próton-motora, que dirige a entrada simultânea na célula de uma molécula de substrato. Utilizado principalmente no transporte de açúcares e ácidos orgânicos (malato, fumarato e succinato).

Sódio Simporter - Como no caso dos prótons, a entrada de substrato na célula bacteriana, através de proteínas carreadoras, dirigida pela entrada simultânea de um átomo de sódio. Associado principalmente ao transporte de aminoácidos.

Sistema Fosfotransferase – Este sistema de transporte envolve uma seqüência de translocação de um grupo fosfato a partir do fosfoenolpiruvato até a fosforilação da molécula de substrato que entra na célula. Sua atividade é restrita a somente algumas espécies de bactérias ruminais, como as anaeróbias facultativas e que degradam carboidratos não-estruturais (Jouany, 1990; Kozloski, 2002). Utilizado fundamentalmente para o transporte de açúcares, e é importante somente em condições de baixa disponibilidade de substrato, baixa taxa de crescimento bacteriano e em pH próximo ao neutro.

6.4. Regulação de sistemas de transporte

A maior parte das bactérias ruminais têm uma capacidade limitada de controlar a entrada de substratos na célula, principalmente quando a concentração destes é alta no meio.

7. Conclusão

O rúmen contém uma complexa mistura de partículas alimentares e de microrganismos: protozoários ciliados e flagelados, fungos, bactérias, micoplasmas e bacteriófagos, os quais estabelecem entre si diversas interações. As bactérias e os protozoários ciliados representam, na maior parte das condições, os componentes mais importantes da população microbiana.

8. Referências bibliográficas

1. CHURCH, D.C. **Fisiología digestiva y nutrición de los ruminantes**. Zaragoza: Acríbia, 1993. 641p.
2. HOBSON, P.N.; STEWART, C.S. **The rumen microbial ecosystem**. 2.ed. London: Blackie Academic & Professional. 1997, 719p.
3. DEHORITY, B.A. **Rumen microbiology**. The Ohio State University, 1987. 125p.
4. GRUBY, D.; DELAFOND, O. Recherches sur des animalcules se développant en grand nombre dans l'estomac et dans les intestins, pendant la digestion des animaux herbivores et carnivores. **Compt. Rend. Acad. Sci.**, v.17, p.1304-1308, 1843.
5. JOUANY, J.P. Defaunation of the rumen. **Indian Summer Course on Rumen Microbial Metabolism and Ruminant Digestion**, v.2, France, Clermon-Ferrand/Theix, 1990.
6. KAMRA, D.N. Rumen microbial ecosystem. **Current Science**, v.89, n.1, p.124-134, 2005.
7. Kozloski, G.V. **Bioquímica dos ruminantes**. 1 ed. Santa Maria: UFSM. 2002, 140p.
8. RUSSEL, J.B.; CONNOR, J.D.; FOX, D.C.; A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: I. Ruminant Fermentation. **Journal Animal Science**, v.70, p.3553-3561, 1992.
9. LANA, R.P. **Nutrição e alimentação animal**. 1. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. 2005, 343p.
10. Ogimoto, K., Imai, S. **Atlas of rumen microbiology**. Tokyo: Japan Scientific Societies Press, v. 31, p.302, 1981.
11. Towne, G.; Nagajara, T.G. Omasal ciliated protozoa in cattle, bison and sheep. **Applied Environment Microbiology**, v.56, p.409-412, 1990.
12. TOWNE, G.; NAGAJARA, T.G.; BRANDT, R.T. Ruminant ciliated protozoa in cattle fed finishing diets with or without supplemental fat. **Journal Animal Science**, v.68, p.2150-2155, 1990.
13. WHITERS, P.C. **Comparative animal physiology**. New York: Saunders College Publishing, 1992. 949p.
14. WILLIAMS, A.G.; COLEMAN, G.S. **The rumen protozoa**. Springer-Verlag, New York Inc., 1991. 423p.
15. WILLIAMS, A.G., JOBLIN, K.N., BUTLER, R.D. Interactions bactéries-protiste dans le rumen. **Annals Biology**, v.32, p.14-29, 1993.

REDVET® Revista Electrónica de Veterinaria (ISSN nº 1695-7504) es medio oficial de comunicación científico, técnico y profesional de la Comunidad Virtual Veterinaria, se edita en Internet ininterrumpidamente desde 1996. Es una revista científica veterinaria referenciada, arbitrada, online, mensual y con acceso a los artículos íntegros. Publica trabajos científicos, de investigación, de revisión, tesis, tesis doctorales, casos clínicos, artículos divulgativos, de opinión, técnicos u otros de cualquier especialidad en el campo de las **Ciencias Veterinarias** o relacionadas a nivel internacional.

Se puede acceder vía web a través del portal **Veterinaria.org®** <http://www.veterinaria.org> o en **REDVET®** <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet>

Se dispone de la posibilidad de recibir el Sumario de cada número por **correo electrónico** solicitándolo a redvet@veterinaria.org

Si deseas postular tu artículo para ser publicado en **REDVET®** contacta con redvet@veterinaria.org después de leer las Normas de Publicación en <http://www.veterinaria.org/normas.html>

Se autoriza la difusión y reenvío de esta publicación electrónica siempre que se cite la fuente, enlace con **Veterinaria.org®**. <http://www.veterinaria.org> y **REDVET®** <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet>

Veterinaria Organización S.L.® - (Copyright) 1996-2007- E_mail: info@veterinaria.org