

# Nutrição Animal

## **Nutrição Animal**

### **Nutrição Animal**

Nutrição – ciência que se ocupa desde a ingestão dos alimentos, ao processamento, metabolismo de nutrientes e excreção dos produtos de excreção.

Os fatores nutricionais afetam a produção e bem-estar animal.

Um alimento pode ter os nutrientes todos necessários mas se não for apelativo, ou seja, se a sua textura e sabor não agradar ao animal, ele não come.

Metabolitos secundários (anti nutrientes) – substâncias produzidas pelas plantas que têm como finalidade proteger a planta do herbivorismo é necessário saber como os processar e eliminar (por exemplo a aplicação de calor modifica-os e torna-os comestíveis).

Digestibilidade da matéria é importante pois é necessário que o animal digira o alimento.

Otimização da energia e da fração proteica. Só tendo um balanço adequado entre energia e proteína é que se consegue uma nutrição adequada. Muita proteína significa que o animal tem de desaminar a proteína para a usar como energia. A amina excretada tem impacto ambiental (é necessário uma sensibilidade para os problemas ambientais).

Quanto mais digerível a matéria orgânica, menos perdas sob a forma de fezes existe.

### **Crescimento da População Humana**

A nutrição animal é importante para otimizar o crescimento animal que também será necessário para a alimentação humana, população esta que tem aumentado exponencialmente.

Com o aumento da população humana mundial, aumentam as necessidades nutricionais da mesma. A pressão a nível de recursos vai incidir em áreas geográficas subnutridas, principalmente.

A população humana tem vindo a aumentar exponencialmente desde 1804 (data na qual atinge o primeiro milhar de milhões de habitantes).

Projeção do crescimento da população – a tendência da população mundial é aumentar, no entanto quando se consideram em separado as várias regiões pode-se dizer que há uma tendência geral para o aumento da população (até 2050), exceto na China, União Europeia e Rússia, nos quais esta tendência é para a diminuição.

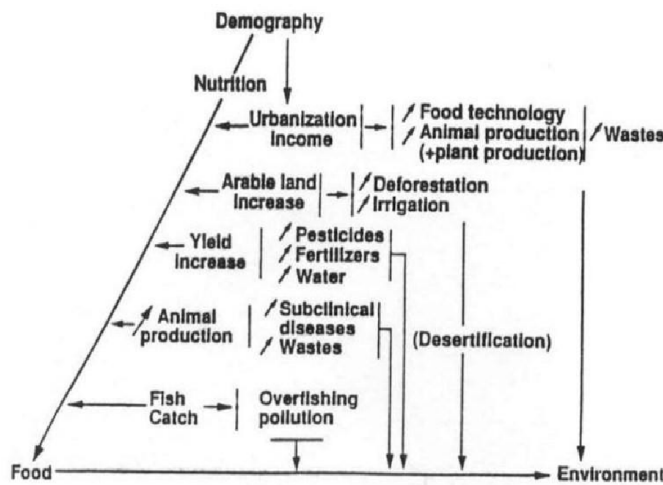
Crescimento da população Portuguesa – esta tem vindo a aumentar desde 1864, no entanto a tendência tem sido a de diminuir a percentagem desse mesmo aumento, apesar de aumentar em número de ano para ano.

A produção de alimentos vai deparar-se com obstáculos futuros devido ao crescimento da população e a alterações a nível da agricultura, colheita de cereais, disponibilidade de água e qualidade do solo, o que pode efetivamente implicar mudanças na dieta das populações.

## Demografia, alimentação e meio ambiente

O aumento da população provoca o aumento das necessidades de alimento, que tem impactos ambientais. O aumento dos animais, que produzem dejetos

prejudica o ambiente, assim como a utilização de pesticidas para aumentar a produção e o aumento do consumo de água. Existe uma pressão a nível de recursos. As áreas com maiores carências nutricionais localizam-se a sul.



## Evolução do consumo mundial de alimentos

A tendência mundial é para o aumento do consumo, por pessoa, por ano, de cereais, açúcar, óleos vegetais, carne e leite. No entanto o consumo de tubérculos e raízes tem diminuído, mas no geral, o consumo de comida aumenta.

O consumo de cereais aumenta. Não são utilizados só para consumo humano, são também utilizados para a alimentação de animais domésticos.

A melhoria na alimentação passa pelo aumento da qualidade dos produtos.

Em termos médios temos uma população mundial mais saudável.

Evolução do consumo de alimentos em países desenvolvidos – aumento do consumo semelhante à evolução do consumo alimentar mundial. Nestes dados exclui-se a China, pois representa 1/6 da população humana e pode enviesar os resultados. Nos países desenvolvidos o consumo de carne e de cereais para transformação é muito maior.

Evolução do consumo de alimentos em países em desenvolvimento – há um maior consumo de cereais e menor consumo de açúcar.

Evolução do consumo de carne no mundo – prevê-se que em 2030 o consumo de carne de aves será superior ao consumo de carne de porco e bovina, apesar do consumo da mesma ser também elevado. No entanto, o consumo de carne caprina e bovina é muito reduzido.

Consumo de carne e PIB – a Índia aparece como um país com um consumo de carne *per capita* muito baixo, enquanto os Estados Unidos da América aparecem como um país em que esse mesmo consumo é elevadíssimo, por ano.

## **Evolução da produção mundial**

Evolução da produção mundial de carne – a produção de aves tem aumentado muito mais que a produção dos restantes tipos de carne, apesar de a produção de carne de porco também ter vindo a aumentar significativamente. A produção de gado e caprinos continua bastante reduzida comparativamente.

Evolução da produção mundial de carne e pescado – a produção de carne é muito superior à produção de pescado (seja por aquacultura ou por pesca), mas mesmo assim, a produção de pescado através da captura de peixes tem-se mantido em valores mais ou menos semelhantes enquanto a produção de peixes através de aquacultura, de ano para ano, tem aumentado muito significativamente.

## **Consumo de Produtos Vegetais e Animais na União Europeia**

Produtos vegetais – maioritariamente, de trigo e batata. Também açúcar e óleos vegetais.

Produtos animais – maioritariamente, de porco, de peixe e aves domésticas.

Outros produtos animais – maioritariamente, leite. Também queijo, ovos e manteiga.

Portugal consome muito arroz comparativamente à Europa.

O consumo de carne está ligado à disponibilidade económica (a carne de aves é mais barata).

As plantas têm muito pouca gordura. Mas a soja já tem muito mais. Quanto mais nova é a planta tem menos fibras e proteínas.

## **Evolução da produção Europeia de alimentos**

A Europa, a nível da produção agrícola contribui com 22% de bovinos e leite, 9,5% de suínos, 7,5% de aves e ovos, 3% de produtos animais e 58% de outros produtos agrícolas. A produção de carne, desde 2007 até 2009 tem aumentado, nomeadamente a produção de carne suína, a produção de carne de aves e bovina tem-se mantido relativamente estável.

## **Produção de Alimentos Compostos**

Para existir produção animal na quantidade necessária é preciso utilizar alimentos compostos. Consoante o tipo de animal produzido, será mais ou menos quantidade de alimento composto utilizada, pois, por exemplo, animais com pastos necessitam de menor quantidade deste alimento.

A produção de alimentos compostos para aves é muito superior à verificada para ruminantes ou porcos, mas que também é bastante positiva. A produção de alimentos compostos para outros animais (como os peixes) é muito reduzida.

Houve uma intensificação da produção de aves e porcos, enquanto gado bovino e caprino tem-se mantido. Os Estados unidos da América, União Europeia e China são os países que asseguram a maior parte da produção mundial de alimentos compostos (dados de 2009).



Para produzir grandes quantidades de carne é necessário produzir elementos compostos. Diferentes animais necessitam diferentes quantidades de alimentos compostos (bovinos necessários em menor quantidade porque se alimentam em pastos).

China e Brasil – aumentaram a produção dos alimentos compostos. Os alimentos compostos para a produção animal têm um peso muito significativo nos custos variáveis das produções.

Produções intensivas – custos com a alimentação muito elevados.

Pastos – parecem ter poucas proteínas comparando com os alimentos composto mas retirando a água e fazendo as contas dá cerca de 15% de proteínas, por isso a diferença não é muita.

### **Produção em Pescas e Aquacultura na União Europeia e no Mundo**

Produção em pescas e aquacultura na UE e no mundo - a União Europeia representa cerca de 4,6 % da produção global de pesca e aquacultura, sendo então o 4º produtor a nível mundial. Como tem sido caso, nos últimos 20 anos, a produção total da união europeia diminuiu consideravelmente comparado com os anos anteriores.

Produção em pesca na UE – na união europeia os principais produtores, em termos de volume de pesca são a Espanha, a França e o Reino Unido. Portugal ocupa a sétima posição.

Produção em aquacultura na UE – a aquacultura é a principal atividade em várias regiões europeias. A produção de aquacultura na União Europeia está na região dos 1,3 milhões de toneladas, o qual rende cerca de 3,2 biliões de euros. Isto representa 20,3% do volume total de produção de pesca da união europeia. Partilha do total da produção de aquacultura mundial, 2,6% em termos de volume e 5,1% em termos de valor. Portugal ocupa a posição 20.

Produção em pescas e aquacultura na UE – os maiores produtores de pescas e aquacultura na EU são Espanha, a França e o Reino Unido. Portugal ocupa a posição 9.

### **Consumo *per capita* de pescado na UE**

Os produtos da pesca e aquacultura desempenham um papel significante na dieta humana, tanto na Europa como a nível mundial, como fonte de proteína.

Mundialmente, o consumo destes produtos representa 16,4 kg / pessoa / ano ou 15,6% da proteína animal. Na União Europeia, o consumo médio de peixe é 22,3 kg/pessoa/ano. O consumo varia desde 4,2 kg/pessoa/ano na Bulgária a 55,6 kg/pessoa/ano em Portugal.

O pescado é razoavelmente elevado na União Europeia. Contudo, mesmo assim, existem diferenças entre países (3 kg na Hungria ou 45 Kg na Alemanha).

### **Consumo *per capita* de carne em Portugal**

O consumo de carne em Portugal é de 110 kg *per capita*.

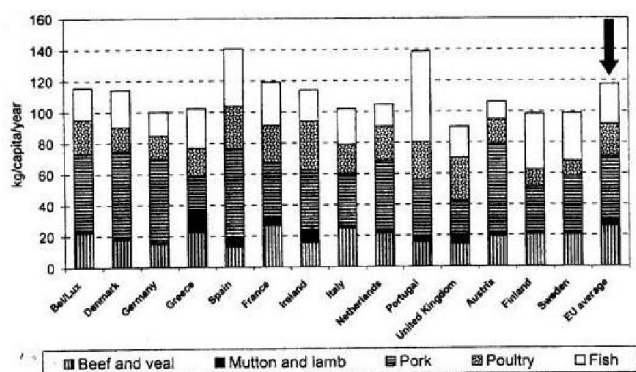
## Consumo de carne por categoria na UE e em Portugal

Na EU, consome-se por categoria, 45,8% de carne suína, 25,9% de carne de aves, 18,2% de carne bovina, 2,7% de carne caprina e 7,5% de outras carnes.

Em Portugal, consome-se por categoria, 42% de carne suína, 31% de carne de aves, 17% de carne bovina, 5% de miudeza, 2% de carne caprina e 3% de outros.

Em Portugal o autoaprovisionamento de produtos animais, entre 2007 e 2009 tem-se mantido relativamente constante.

## Consumo de carne e pescado na EU e em Portugal



## Auto-suficiência em carne e vegetais na EU

No que diz respeito à carne, o país da EU que tem mais auto-suficiência é a Dinamarca.

A Bélgica é o país mais auto-suficiente a nível dos vegetais.

Portugal tem muito pouca auto-suficiência, tanto a nível de carne como a nível dos vegetais, sendo um país completamente dependente do exterior.

## Análise dos Alimentos

### Amostragem de matérias-primas e alimentos compostos

Os métodos de análise de alimentos utilizam pequenas quantidades de amostra (amostra representativa do material cuja análise se pretende conhecer, de modo a produzir rações adequadas), normalmente a amostra tem 100g.

Métodos de análise:

- Amostragem de produtos ensacados – a amostra é recolhida com sondas em toda a profundidade do saco. Tira-se aleatoriamente os sacos que têm de ser amostrados. Por exemplo, se tivermos entre 21 a 30 sacos, amostramos três.
- Amostragem de produtos a granel – também há um número de mínimos a recolher conforme o tamanho da carga. Utilizam-se sondas e um determinado número de toneladas conforme a carga.

Em animais pequenos, trituram-se os animais e os produtos são homogeneizados e depois retira-se a amostra. Em carcaças de bovinos retira-se uma amostra sempre em determinado local (20-30cm de amostra entre a 9ª e 11ª costela) porque é um bom indicador do estado da amostra.

Em plantas é necessário ter atenção para não tirar partes da planta sempre do mesmo local, porque há diferenças de contaminação entre as várias partes.

Durante a fase de subdivisão da amostra é necessário ter em atenção se a amostra se dividiu em fases, se houve sedimentação, estratificação, ...

### **Preparação das amostras para análise**

A amostra consiste numa porção representativa de um lote. Dessa amostra obtém-se a amostra para laboratório por divisão daquela segundo certas normas, dependendo do tipo de material. A amostra para análise consiste numa parte representativa da amostra para laboratório, moída, seca e desengordurada, se necessário.

1. Amostras com baixo teor em água
2. Amostras com elevado teor de água
3. Amostras com elevado teor em gordura
4. Amostras com elevado teor em gordura e em água

### **Erros durante a recolha/armazenamento da amostra**

Se recolher uma amostra heterogénea, a amostra não vai representar devidamente o alimento. Se existirem dúvidas quanto à homogeneidade da amostra deve-se aumentar o seu tamanho.

Modificações químicas durante a preparação/armazenamento da amostra. Podem existir perdas ou captação de humidade ou contaminação (se os moinhos forem mecânicos, por mudanças da temperatura ou por oxidação se contiver ácidos gordos).

### **Dois tipos erros durante o processo analítico**

- Erros indeterminados – difíceis de prever. São experimentais ou condições ambientais. Interessa eliminar. Exemplo cálculos matemáticos e vibrações da balança.
- Erros concretos – de origem operacional ou instrumental. Erros pessoais, instrumentos mal calibrados. Erros da calibração química do reagente.

### **Nutrientes necessários**

As plantas necessitam de menos nutrientes que os animais.

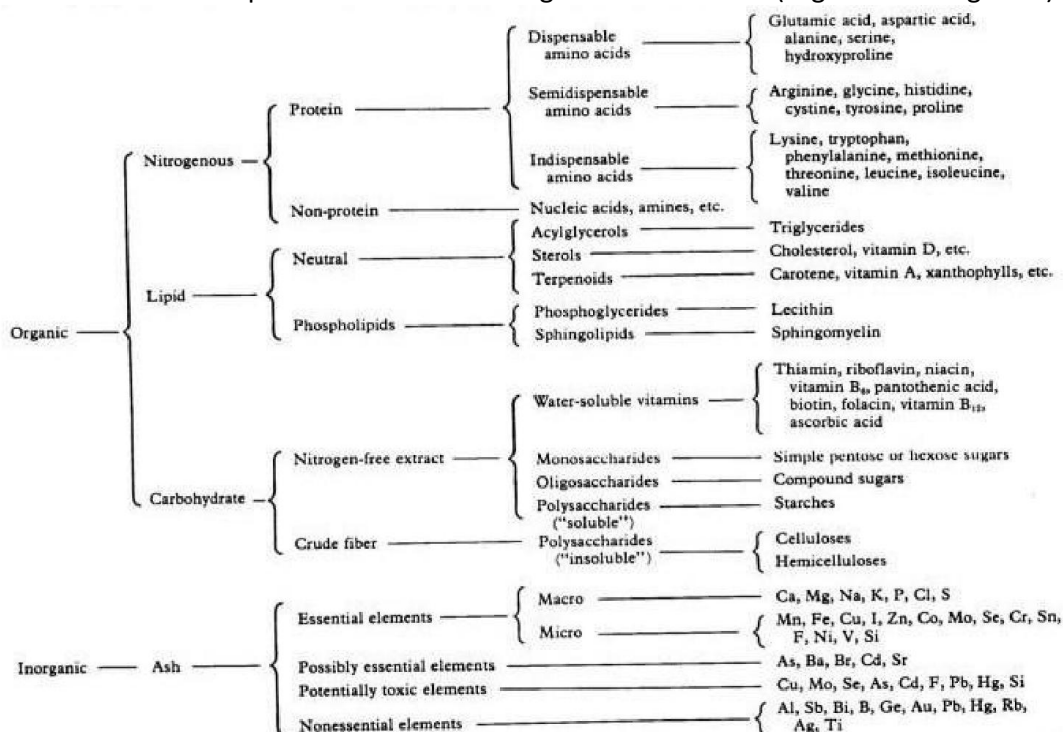
Plantas:

- Água
- Energia
- Fonte azotada (nitrato/amónia)
- Nutrientes minerais

Animais:

- Água
- Fonte azotada (aminoácidos essenciais na forma de azoto)
- Fonte de energia (gordura e hidratos de carbono)
- Lípidos (ácidos gordos essenciais)
- Elementos inorgânicos
- Vitaminas lipossolúveis e hidrossolúveis

Os animais e plantas necessitam de água e matéria seca (orgânica e inorgânica).



## Composição dos animais e plantas

Plantas – nos pastos (trevos) o grau de maturação influencia a quantidade de água. Os pastos têm mais água que os feno e grãos, mas menos proteínas. No entanto, em peso seco os pastos tem quase o mesmo que os feno. O fósforo está sob a forma de fitatos nas plantas.

Animais – a composição animal varia muito menos que as plantas. Nos animais adultos a quantidade de água é de 60%, tem também 16% de proteína, 20% de gordura e 3-4% de minerais.

## Análise dos Alimentos pelo Esquema de Weende

Usado na atualidade, mas com grandes defeitos porque é mais universal.

Composição de categorias na análise aproximada:

- Água.
- Proteína – aminoácidos essenciais e não essenciais.
- Extrato de éter – triglicerídeos, fosfolípidos, esteróides, lípidos.
- Fibras – polissacarídeos insolúveis.
- Extrato de azoto – monossacarídeos, oligossacarídeos, sacarídeos solúveis.
- Cinzas – elementos não essenciais, elementos tóxicos.

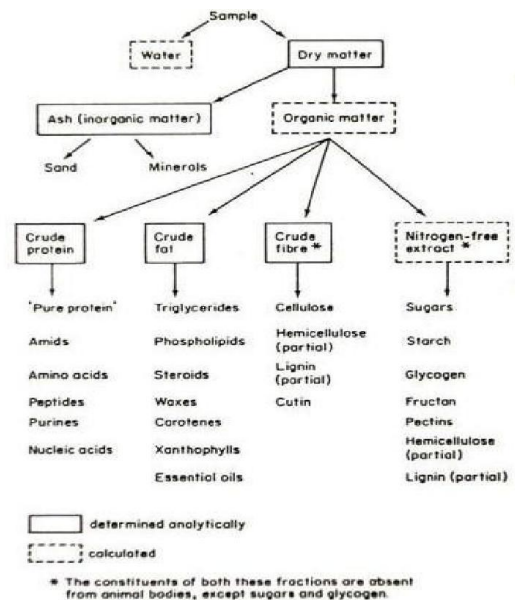
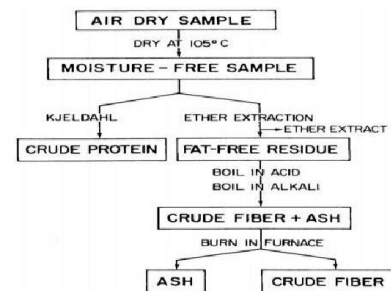


Diagrama de análise aproximada – a determinação da matéria seca é importante para se saber o que o animal adquire com determinado alimento e, também, para se poder comparar com outros.



## Humidade

A humidade de uma amostra é determinada como a perda total de peso da amostra, expressa em percentagem do peso original, após secagem em estufa a 105 °C, até peso constante.

## Cinzas

O conteúdo em cinzas de uma amostra é o resíduo inorgânico que permanece após destruição da matéria orgânica por incineração numa mufla entre 450°C e 600°C. Normalmente, 450°C durante 16 horas.

## Matéria orgânica

Diferença entre peso seco (peso da amostra menos humidade, em percentagem) e cinzas.

## Proteína Bruta

O conteúdo em proteína bruta de uma amostra é obtido determinando o azoto da amostra pelo método de Kjeldahl e multiplicando o valor obtido pelo fator 6.25. A aplicação deste fator pressupõe que uma proteína contém, em média, 16 % de azoto ( $100:16=6.25$ ), apesar do conteúdo azotado das proteínas poder variar entre 12 e 19%.

O método de Kjeldahl consta de três fases principais:

- 1) Digestão da amostra com ácido concentrado, na presença de catalisadores, levando à produção de sulfato de amónia;
- 2) Destilação por arrasto de vapor em meio básico e recolha da amónia produzida em meio ácido (ácido bórico);
- 3) Quantificação da amónia por titulação com ácido diluído (ácido clorídrico).

Além do azoto proteico, esta técnica também avalia o azoto não proteico. Ou seja, não doseia azoto dos nitratos nem dos nitritos, assim podemos determinar por complementaridade a proteína verdadeira.

### **Gordura Bruta**

A gordura bruta determina-se extraindo os lípidos de uma amostra finamente moída com éter de petróleo, continuamente, durante cerca de 6 horas, num aparelho de extração adequado (extrator tipo Soxhlet, por exemplo). Entende-se por gordura bruta o resíduo seco, não volátil, que fica depois de evaporar em estufa o extrato obtido pela ação do éter anidro na amostra durante um tempo adequado. Neste encontram-se todas as substâncias solúveis em éter, para além das gorduras verdadeiras (carotenóides, clorofilas, vitaminas lipossolúveis, etc.).

Os lípidos têm duas vezes mais energia do que as proteínas e os hidratos de carbono.

Existem outros métodos que permitem a determinação dos lípidos, e cuja extração é feita a frio, utilizam também misturas de clorofórmio e metanol – são métodos mais demorados.

### **Gordura Total**

Em determinadas matérias-primas ou alimentos compostos com elevado teor em gordura, este método não permite quantificar a totalidade da gordura. Para se determinar a gordura total é necessário proceder a uma digestão prévia da amostra com ácido clorídrico.

### **Fibra Bruta**

A fibra bruta é o resíduo orgânico que se obtém por tratamento da amostra com um ácido fraco (ácido sulfúrico diluído) seguido de uma base fraca (hidróxido de sódio diluído) e um solvente de lípidos. A fibra bruta é constituída essencialmente por homo- e hetero-polissacarídeos de elevado peso molecular. Nas amostras vegetais compreende essencialmente porções variáveis de celulose, hemicelulose e lenhina. Nas amostras animais é composta essencialmente por N -acetil-glucosamina.

A fibra nos ruminantes é maior do que nos monogástricos.

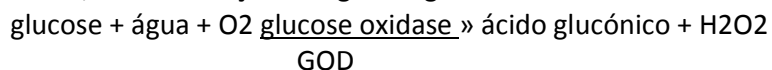
### **Extrato não azotado**

Obtêm-se por diferença, subtraindo ao peso inicial da amostra todas as outras frações: NFE = peso inicial – humidade – cinzas – proteína bruta – gordura bruta – fibra bruta

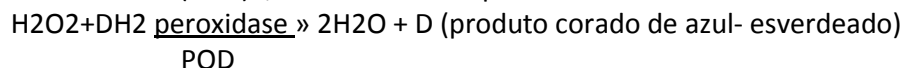
### **Amido**

O amido dispersa-se por tratamento com água quente, em seguida é autoclavado e hidrolisado quantitativamente pela amiloglucosidase (glucamilase). Esta enzima rompe as ligações -D (1-4) e --D (1-6) libertando assim a glucose, que é em seguida doseada pelo sistema glucose oxidase -peroxidase (GOP).

A glucose é transformada por oxidação catalítica pela glucose oxidase em ácido glucónico, com libertação de água oxigenada:



A água oxidada reage, na presença da peroxidase, com um dador de hidrogéneo, 2,2' - Azino-di-[3-athyl-benz thiazolin-sulfonato (6)] sal diamónio (C<sub>18</sub>H<sub>16</sub>N<sub>4</sub>O<sub>6</sub>S<sub>4</sub>-(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, e forma um composto colorido:



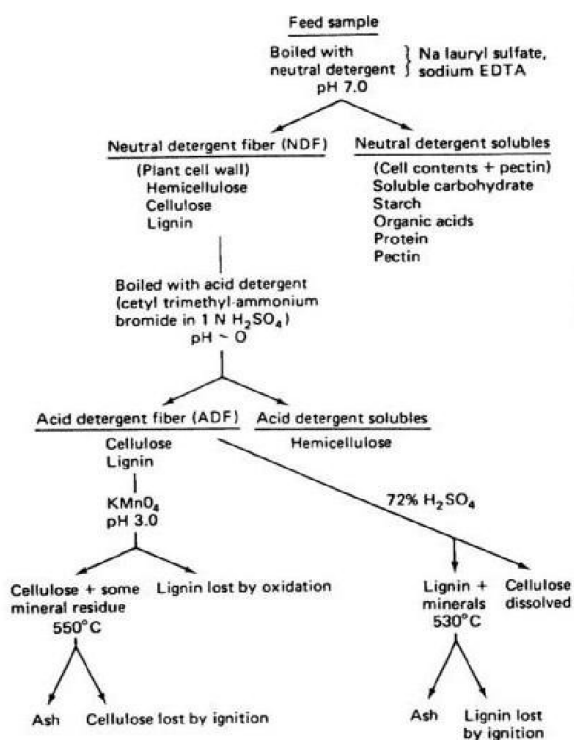
### Energia Bruta

A energia bruta corresponde à energia química de uma amostra que se estima a partir do calor produzido ao queimar completamente uma amostra numa atmosfera de oxigénio pressurizada. Os produtos da combustão são dióxido de carbono, água, ácido sulfúrico, azoto e cinzas. Num calorímetro adiabático (isto é, em que o calor não é perdido do sistema), durante a combustão da amostra o calor produzido transmite-se a uma massa de água de peso conhecido (num recipiente) e que envolve o contentor (bomba calorimétrica) onde se encontra a amostra, e esse aumento de temperatura correlaciona-se com o valor energético da amostra. A envolver completamente a massa de água no recipiente interior existe uma manga com água, que impede a perda de calor por condução para o exterior do sistema.

### Esquema de Van Soest

Uma vez que pelo método já referido anteriormente é complicado determinar os hidratos de carbono, Van Soest desenvolveu um método que permite analisar os hidratos de carbono conforme a disponibilidade nutritiva. Este método utiliza detergentes e EDTA.

A uma amostra é adicionado detergente neutro, essa amostra é colocada a ferver, de onde se obtém duas frações: conteúdos celulares e componentes da parede celular. Este último é colocado a ferver com detergente ácido, onde obtemos duas frações: celulose e lenhina e hemicelulose. À fração de lenhina e celulose, se quisermos obter apenas celulose, devemos oxidar com permanganato de potássio, e por inceneração obtém-se as cinzas. Se desta fração quisermos obter a lenhina, deve-se eliminar a celulose utilizando ácido sulfúrico.



#### Fraction

Cell contents (soluble in neutral detergent)

Cell wall constituents (fibre insoluble in neutral detergent)

1. Soluble in acid detergent

#### Components

Lipids  
Sugars, organic acids and water-soluble matter  
Pectin, starch  
Non-protein N  
Soluble protein

Hemicelluloses  
Fibre-bound protein

Table 3-1. Classification of forage fractions by the Van Soest method.<sup>a</sup>

Fraction	Components included	Nutritional availability	
		Ruminant	Non-ruminant
Cell contents (soluble in neutral detergent)	Sugars, soluble carbohydrates, starch	complete	complete
	Pectin	complete	high
	Non-protein N	high	high
	Protein	high	high
	Lipids	high	high
Cell walls <sup>b</sup>	Other solubles	high	high
	Hemicellulose	partial	low
	Cellulose	partial	low
	Heat-damaged protein	indigestible	indigestible
	Lignin	indigestible	indigestible
	Silica	not available	not available

<sup>a</sup>From Van Soest (4)<sup>b</sup>Cell walls also are known as neutral detergent fiber (NDF). This is fractionated further by extracting with acid detergent which solubilizes the hemicellulose, thus acid detergent fiber contains cellulose, lignin, heat-damaged protein and silica.

### Características de importantes componentes celulares

- Lenhina – principal porção da parede celular. Polímero tri-dimensional de fenilpropanos. Baixa disponibilidade de hemicelulose e celulose. Suporte estrutural da planta.
- Celulose – esqueleto de hidratos de carbono principal da planta. Enzimas de celulase não secretadas por mamíferos. Digestibilidade varia com quantidade de lenhina, sílica e cutina. Suporte estrutural da planta.
- Hemicelulose – polímero de xilose e outros 5 açúcares. Digestibilidade depende de lenhina. Suporte estrutural da planta.
- Pectina – polímero. Alta digestibilidade e disponibilidade, não influenciado por lenhina.
- Cutina – composto por ceras e polímeros. Pode estar integrado na lenhina e é medido. Baixa disponibilidade de celulose e hemicelulose.
- Sílica – efeito semelhante à lenhina em termos de digestibilidade de celulose e hemicelulose.

### Principais análises para concluir a análise de Weende

	Dosed Elements	Methods	Remarks
<u>Ash</u>	P	Colorimetry	Usually employed
	Ca, Na, K, Mg	Spectrophotometry	Only Ca employed
	Fe, Cu, Zn, Mn, Co	(atomic absorption)	
<u>Proteins</u>	Amino acids	Liquid phase chromatography, HPLC	Quite usually employed, Use of tables possible
	Available lysin	Colourimeter	Debatable
<u>Lipids</u>	Lipid categories	Solvent separation	
	Fatty acids	Gassy phase chromatography	Quite usually employed
<u>Cellulose</u>	Acid detergent extracts		Easy, should be generalized but the method to be adopted to particular cases
	Neuter detergent extracts		
<u>Glucids</u>	Starch	Acid hydrolysis Enzymatic methods	Numerous methods only to be chosen in accordance to the nature of the product
	Glucose	Reducing power Enzymatic methods	



## Crescimento e Desenvolvimento

### Noção de Crescimento e Desenvolvimento

Crescimento – aumento do animal.

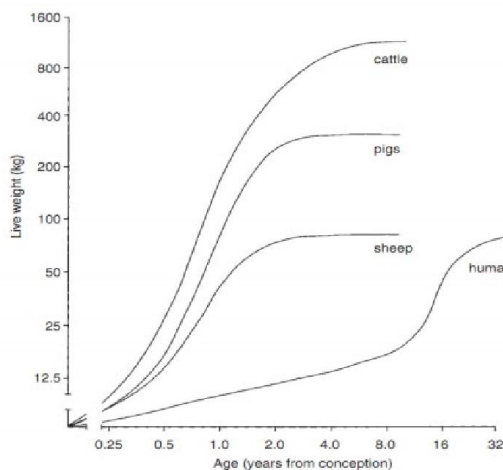
Desenvolvimento – modificações que ocorrem no animal à medida do crescimento. Mudanças fisiológicas no pós-natal, puberdade, maturação sexual e estrutura de determinados órgãos e tecidos. Mudanças quantitativas fisiológicas.

Hiperplasia – aumento do número de células.

Hipertrofia – uso dos músculos dificultando-se com a idade.

### Bases Fisiológicas do Crescimento Animal

Curva de crescimento para espécies de quintas e para o Homem - a idade em que atingem o peso adulto, consoante as espécies, varia. Nos animais domésticos, a curva é semelhante.



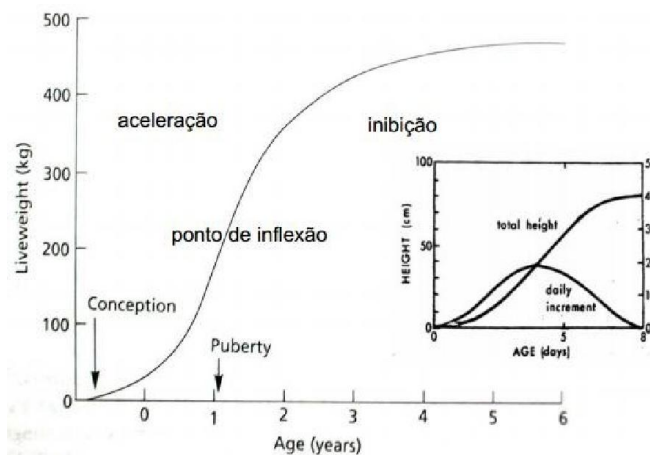
### Caracterização da Curva de Crescimento

Curva sigmoidal de crescimento: descreve normalmente o crescimento animal.

Aceleração – crescimento exponencial que abranda na puberdade (inflexão). Função do peso animal.

Inibição – segunda fase que é função do peso a atingir na idade adulta. Esta curva é boa para aves e animais domésticos.

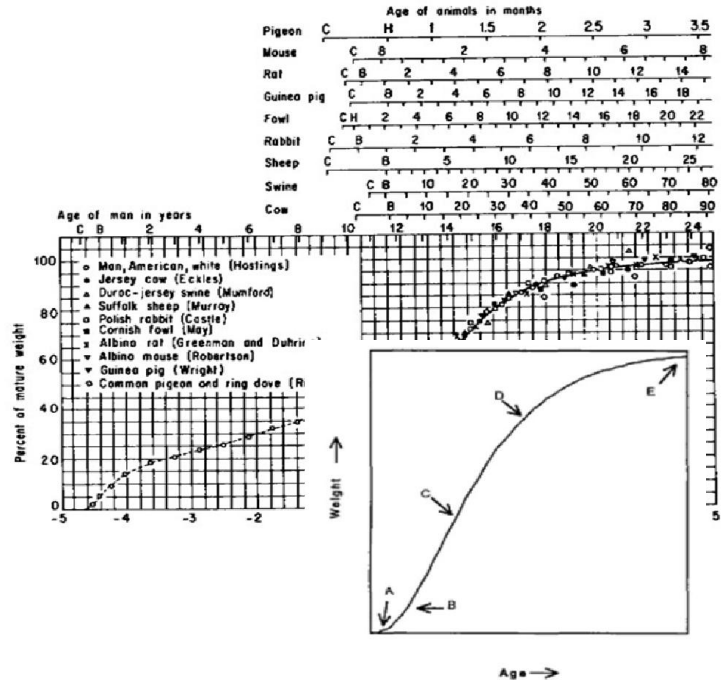
Ponto de inflexão – quando a velocidade de crescimento é nula. Ponto em que se atinge a puberdade. Nos humanos, o ponto de inflexão atinge-se mais tarde do que noutros animais, como o porco, a ovelha, etc., em que nestes se atinge mais cedo.



Curva de crescimento e equivalência peso / idade dos animais: ganho diário de peso é cada vez maior até à puberdade, a partir desta fase os animais começam a atingir o peso máximo. Quando a curva desce a ingestão / aproveitamento dos alimentos é máxima e a mortalidade é mínima.

Caracterização de curva de crescimento “segmentada”:

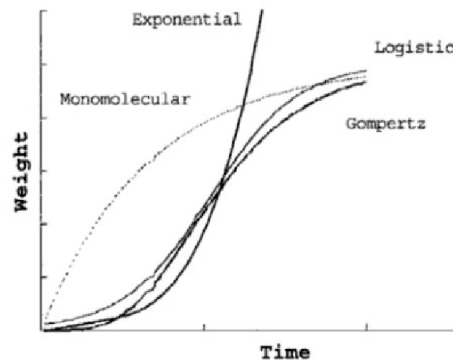
- B -> D – segmento linear;
- A -> D – segmento exponencial;
- A -> D – segmento sigmoide.



## Expressões Matemáticas para Descrever o Crescimento Animal

Equações de crescimento:

- Exponencial;
- Monomolecular;
- Logística;
- Gompertz;
- Bertalanffy;
- Richards;
- Janoschek;
- Alométrico.

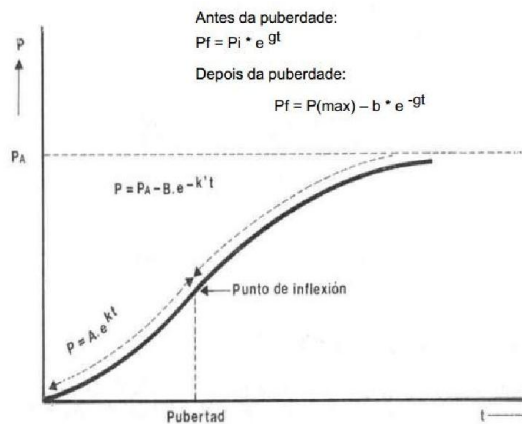


Exponencial – a variação da população é proporcional ao próprio tamanho da população, com taxa de crescimento constante. Pode ser adequado para explicar o crescimento de populações animais que não estejam sujeitas a restrições ambientais para o seu crescimento, condição que pode ser verificada, por exemplo, quando uma espécie estranha é introduzida em um ambiente sem predadores, podendo-se proliferar sem limitações.

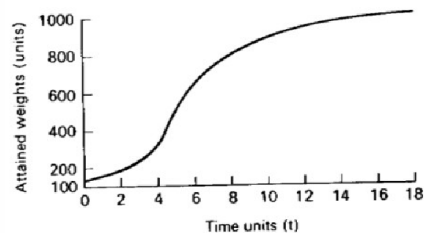
Logística – a taxa de crescimento efetiva de uma população varia ao longo do tempo. Para espécies animais de vida livre.

Gompertz - usada para monitorar o crescimento de peixes, em termos de seu peso.

Modelo matemático de Brody: caracterização da curva de crescimento. É usado descrever o crescimento do animal ao longo do seu ciclo de vida. Desenvolvimento ocorre a par do crescimento.



Pesos acumulados em função da idade, considerando uma taxa constante por unidade de tempo:



Expressões matemáticas mais usadas em estudos de nutrição animal para caracterizarem o crescimento:

Índice de crescimento absoluto:  
 $\Delta P = (P_f - P_i)$  g  
 ou:  
 $\Delta P = (P_f - P_i) / \Delta t$  g/dia

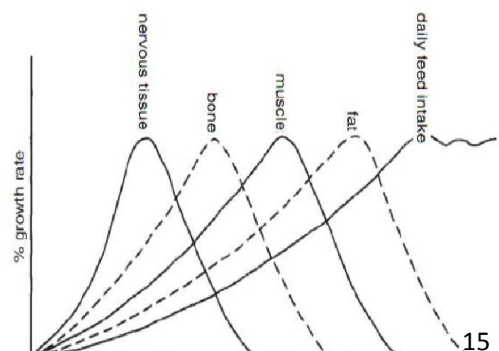
Índice de crescimento relativo:  
 $\Delta P = (P_f - P_i) / P_i$  g/kg peso inicial  
 ou:  
 $\Delta P = (P_f - P_i) / (P_i \cdot \Delta t)$  g/kg peso inicial/dia

Índice de crescimento específico:  
 $g = (\ln P_f - \ln P_i) / \Delta t$   $P_f = P_i \cdot e^{gt}$

Índice de crescimento específico – taxa de crescimento instantâneo num determinado instante. Comparação entre ensaios. O valor g vai variando à medida que o animal cresce.

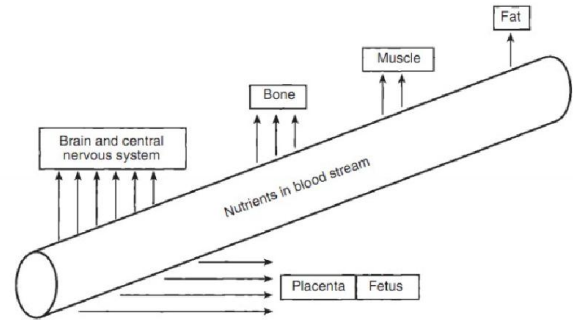
### Caracterização do desenvolvimento

Curvas de Hammond – taxa de crescimento dos tecidos à medida do crescimento. Tecido nervoso é o primeiro que se desenvolve e é aquele que mais



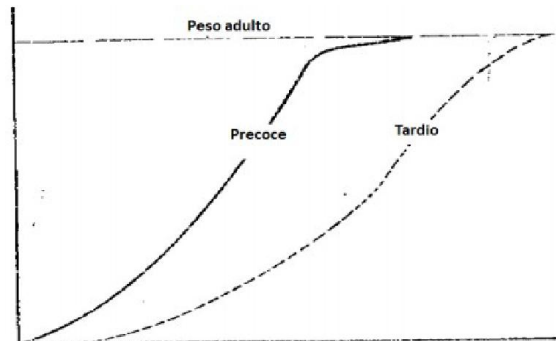
rapidamente deixa de se desenvolver. Tecido ósseo também se forma rapidamente, ainda pré-natal. Pouco depois da puberdade deixa de se desenvolver. Tecido adiposo deposita-se mais na fase final do crescimento.

Partição de nutrientes – a prioridade dos nutrientes da circulação sanguínea está indicada pela direção e número das setas para cada tecido. À medida que o plano nutricional continua, uma seta é retirada de cada localização. Durante um período de fome, as setas da gordura e o músculo tendem a reverter na direção oposta. Primeira prioridade de utilização dos nutrientes é a manutenção de tecidos (tecido nervoso, ósseo, muscular e gordura). Se houver restrição de alimentos, deixa primeiro de se acumular gordura, depois de massa muscular, óssea e no final de tecido nervoso. Contudo o desenvolvimento do feto não é comprometido em casos de restrição alimentar (tão importante como o tecido nervoso).

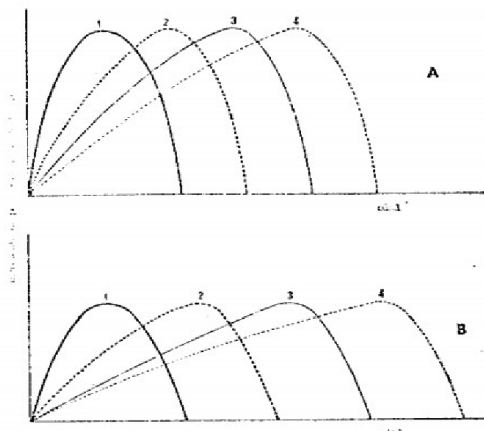


## Precocidade

As espécies de crescimento precoce são escolhidas por terem bom desempenho de crescimento. Os animais precoces param de crescer mais cedo. Os de desenvolvimento tardio têm tendência para serem maiores e acumularem mais peso. Os animais precoces são mais pequenos e mais leves e atingem a maturidade sexual mais cedo. Por exemplo, as vacas, dentro da mesma raça, os animais mais velhos têm mais gordura. Os precoces têm mais músculo.



Precocidade e relação com o desenvolvimento animal:

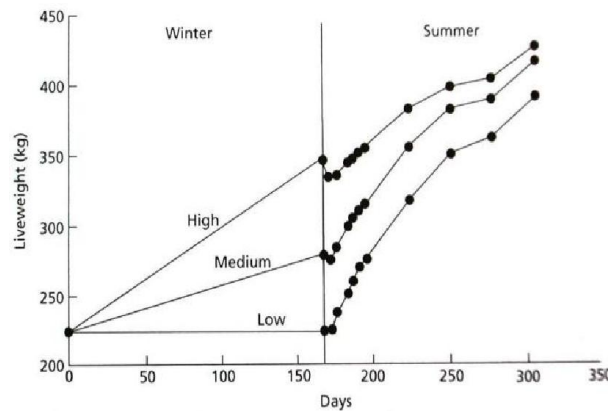


A - Animal de grande precocidade.

B - Animal de desenvolvimento tardio.

Um animal precoce tem as curvas de Hamond mais apertadas. Para o mesmo peso, um precoce já está a depositar gordura, enquanto o animal tardio ainda está no músculo e acaba por depositar menos gordura.

## Crescimento Compensatório



Fatores que afetam o crescimento compensatório – fatores animais:

- Grau de maturidade no início da subnutrição, ou seja, a proporção de massa esperada normal já tenha sido atingido.
- A proporção de peso corporal atribuível a depósitos adiposos no início da subnutrição.
- O genótipo.
- O gênero.
- Mudanças na taxa metabólica.

Nas fases de restrição de alimento (Inverno), um animal que tem sempre alimento à disposição diz-se High. Os Medium e Low, quando têm acesso de novo ao alimento (come mais) e compensa o atraso no crescimento que se verificou. Há uma aceleração do crescimento compensando o peso perdido. Contudo, nunca cresce mais do que o animal que não sofreu crescimento.

Fatores que afetam o crescimento compensatório – fatores nutricionais:

- A severidade da subnutrição, ou seja, qual a fração ou múltiplo de conservação de energia.
- A duração do período de subnutrição.
- A densidade nutricional da comida durante a subnutrição.
- Admissão de comida durante a reabilitação.

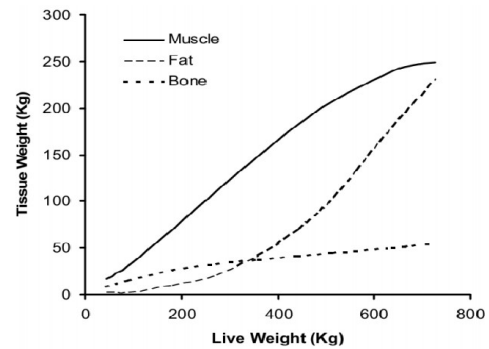
## Composição Corporal

### Composição Corporal

Água, proteína, gordura e cinzas (refletem o tecido ósseo). Para estudar a composição corporal é necessário sacrificar o animal, homogeneizar e fazer o estudo da composição animal.

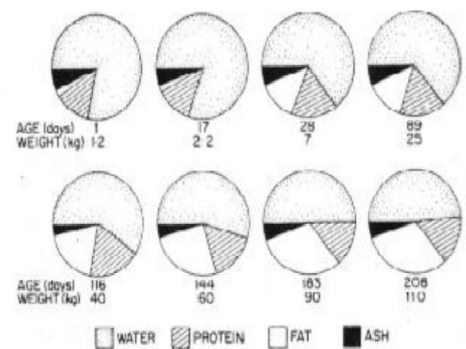
## Variação ponderal da composição corporal com o crescimento

À medida que o crescimento aumenta, o músculo é o tecido que mais se forma, assim como o tecido adiposo. O tecido ósseo é o tecido que menos se forma.

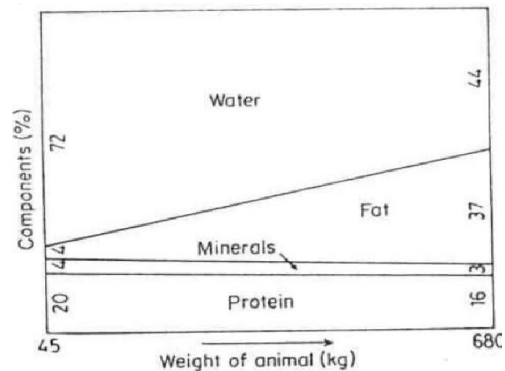


## Variação percentual da composição corporal com a idade e peso

Por exemplo em porcos, a composição corporal em água diminui à medida que o crescimento aumenta. No entanto, o teor em gordura aumenta. As proteínas e as cinzas diminuem, mas é pouco notório.

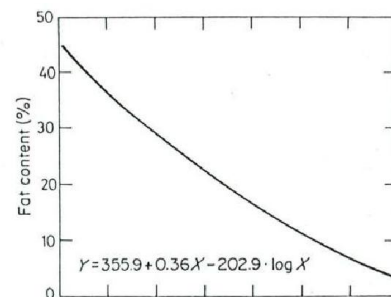


Muita água num animal jovem (superior a 75%) que diminui ao longo do crescimento. Num animal jovem existe pouca gordura que aumenta, e o teor em proteínas que diminui. Os minerais diminuem lentamente, pelo que é o menos notório.



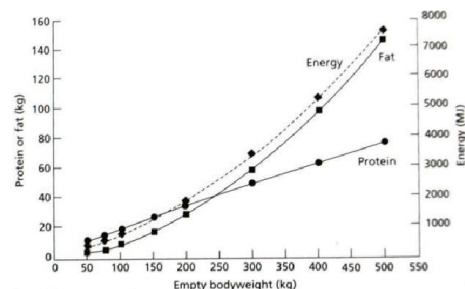
## Correlação entre o teor de água e gordura corporais

Quanto maior a quantidade de água, menos a percentagem em gordura.



## Relação entre a composição corporal com o peso

Empty body weight (kg)	Protein (g/kg)	Fat (g/kg)	Energy (MJ/kg)
50	181	86	7.65
100	167	148	9.76
150	160	204	11.80
200	155	256	13.72
300	148	353	17.36
400	144	442	20.77
500	140	527	24.01



À medida que o peso aumenta, aumenta também o teor em gordura e energia aumentam. O teor em proteínas diminui.

## Variação percentual da composição corporal expressa em base isenta de gordura e em base seca e isenta de gordura

Se a composição corporal for expressa em base isenta de gordura, o teor em água, proteína e cinzas aumenta. No entanto, se a composição corporal for expressa em base seca e isenta de gordura, o teor em proteínas e cinzas aumenta muito, enquanto se expresso em base isenta de gordura o aumento é pouco notório.

## Variação da composição da carcaça em animais de diferentes características

No que diz respeito ao teor em carne, a carcaça de vaca é que em mais, seguida da carcaça de porcos e depois de caprinos. O teor em carne diminui à medida que aumenta o tamanho do animal.

A composição em gorduras é maior na carcaça de porcos, seguida da carcaça de vaca e depois de caprinos. O tecido adiposo aumenta quando o tamanho do animal aumenta.

O tecido ósseo é maior na carcaça de caprinos, depois de vaca e por último de porcos. O tecido ósseo também diminui à medida que o tamanho corporal do animal aumenta.

	Beef			Sheep			Pigs		
	Lean	Average	Fat	Lean	Average	Fat	Lean	Average	Fat
Lean meat	660	590	500	640	570	480	670	590	530
Total fat	160	250	370	140	240	380	220	310	380
Subcutaneous	30	80	150	50	110	200	150	220	280
Intermuscular	100	130	170	70	100	130	50	60	70
KKCF <sup>1</sup> /flare	30	40	50	20	30	50	20	30	30
Bone (including small waste component)	180	160	130	220	190	140	110	100	90
Total	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Subcutaneous/inter-muscular fat ratio	0.3	0.6	0.9	0.7	1.1	1.5	3.0	3.7	4.0
Lean/bone ratio	3.7	3.7	3.8	2.9	3.0	3.4	6.1	5.9	5.9



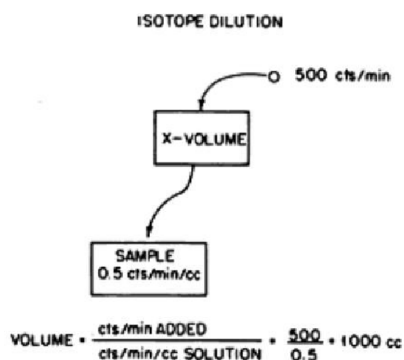
## Variação da composição corporal com a raça e sexo

Em A. Angus, o teor em proteínas é maior em machos do que em animais castrados, que por sua vez é maior que em fêmeas. O tecido adiposo é maior em fêmeas do que em animais castrados, que é maior do que em machos.

Em Holstein, o teor em proteínas é maior em animais castrados do que em machos, que por sua vez é maior do que em fêmeas. O tecido adiposo é maior em fêmeas, do que em castrados, e estes têm mais tecido do que os machos.

Component	Breed	Sex		
		Male	Castrate	Female
Protein, g/kg	Aberdeen-Angus	172	161	150
	Holstein	186	187	167
Fat, g/kg	Aberdeen-Angus	190	227	314
	Holstein	136	172	213

## Estimativa da composição corporal in vivo

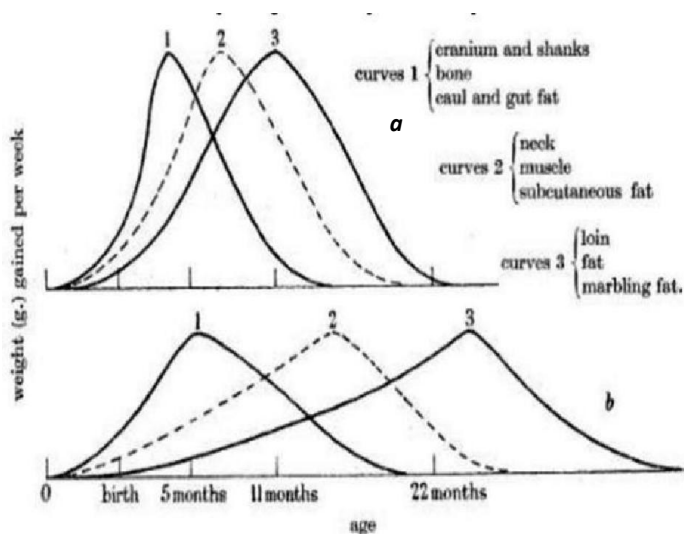


Densimetria – indicação do teor em gordura dos animais, com base na densidade. Indicação do teor em água através da utilização de corante.

## Variação da composição corporal com a alimentação

A taxa de aumento de peso, mostra a forma pela qual as mudanças na forma e proporções do corpo são afetados pelo nível de nutrição. Os tecidos que se formam são o tecido ósseo, o músculo e o tecido adiposo.

a - no plano alto de nutrição,  
b - no plano baixo da nutrição.

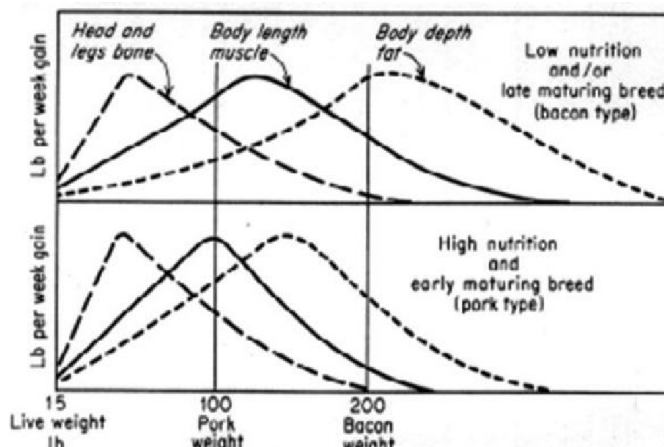




## Variação da composição corporal com o crescimento: efeito da nutrição ou da precocidade

Animal com crescimento precoce tem (em termos de composição corporal) uma deposição de gordura semelhante ao de um animal que se alimenta abundantemente.

No plano alto de nutrição, a formação dos tecidos ocorre muito mais rápido. No plano baixo da nutrição, os tecidos formam-se lentamente.



## Efeito da alimentação no crescimento e na composição corporal

Um animal com um plano de nutrição baixo demora muito mais tempo a atingir o crescimento ótimo do que um animal com um plano de nutrição alto.

No entanto, um animal com um plano de nutrição baixo forma mais músculo e osso, e menos gordura do que um animal com um plano de nutrição elevado.

Growth rate:	High-high	High-low	Low-high	Low-low
Age at slaughter (weeks):	20	28	28	46
<b>Composition of whole carcass</b>				
Bone	110	112	97	124
Muscle	403	449	363	491
Fat	383	334	441	275
Skin, etc.	105	106	99	110
<b>Composition of fat-free carcass</b>				
Bone	178	168	174	171
Muscle	653	674	649	677
Skin, etc.	170	160	177	152

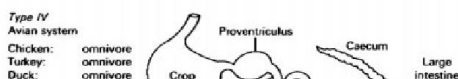
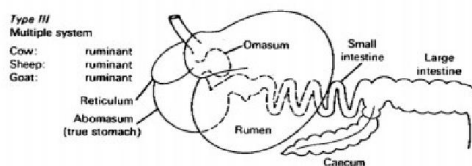
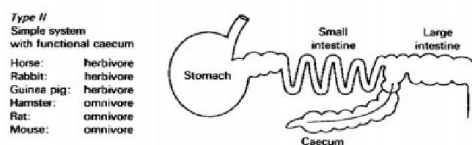
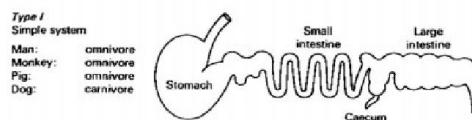
## Processos Digestivos – monogástricos

Os alimentos grosseiros têm um teor em proteínas reduzido e um teor em fibras elevado, por isso é necessário que passem por processos digestivos.

Nos estômagos monogástricos, a fermentação é feita no intestino grosso e no ceco.

## Aparelho digestivo de mamíferos e aves

Animal simples (ex.: porco) – constituído por estômago, intestino delgado, pequeno ceco e intestino grosso.



Herbívoro não ruminante (ex.: cavalo) – estômago, intestino delgado, grande ceco e intestino grosso.

Ruminantes (ex.: vaca) – estômago poli-compartimentado (Omasum, Rumen, Reticulum e Abomasum- é o verdadeiro estômago pois tem uma constituição glandular), intestino delgado, ceco e intestino grosso.

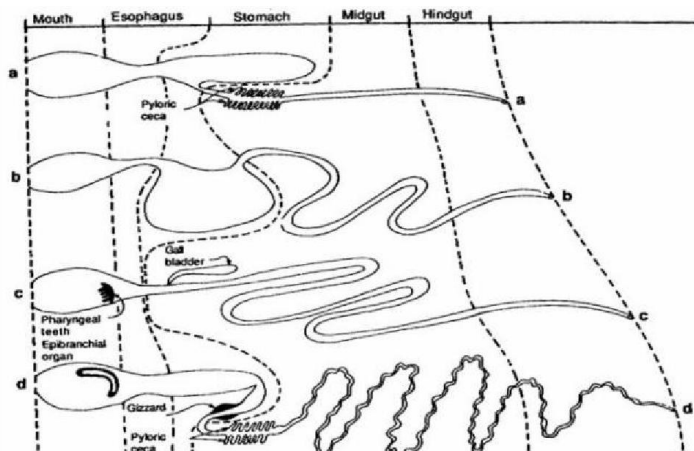
Aves (ex.: galinha) – papo, proventrículo, moela, intestino delgado, ceco, intestino grosso, cloaca.

## Estratégias digestivas de animais com diferentes tipos de hábitos alimentares

Animal	Alimento	Local de microrganismos	Digestão	Outros comportamentos
Vaca (ruminante)	Pasto	Rúmen e intestino grosso	Rúmen e abomasum	Ruminação e eructação
Cabra (ruminante)	Misto	Rúmen e intestino grosso	Rúmen e abomasum	Ruminação e eructação
Canguru	Pasto	Estômago e intestino grosso	Estômago glandular	
Lebre	Misto	Intestino grosso	Estômago glandular e intestino grosso	Cecotrofia
Cavalo	Pasto	Intestino grosso	Estômago glandular e intestino grosso	
Porco	Omnívoro	Intestino grosso	Estômago glandular	

## Aparelho digestivo de peixes

Nos peixes, a maior parte são carnívoros, mas também há herbívoros e planctívoros. Alguns peixes não têm estômago.



## Tamanho relativo do tubo digestivo de peixes comparativamente a mamíferos

O tamanho do tubo digestivo de peixes é bastante pequeno quando comparado com mamíferos.

Species	Length of the intestine is ... times longer than the body
Trout	1.0 to 1.5
Carp	2.0 to 2.5
Dog / cat	5.0
Horse	12.0
Pig	15.0
Cattle	20.0
Sheep	30.0

## Capacidade das diferentes regiões do tubo digestivo de várias espécies

No que diz respeito ao estômago, o homem tem pouca capacidade quando comparado com gado. O gado tem também elevada capacidade no trato digestivo, assim como os cavalos, o homem comparativamente tem baixa capacidade.

	Human	Pig	Horse	Sheep	Cattle
Body weight, kg	75	190	450	80	575
Ruminoreticulum		...	...	17	125
Omasum		...	...	1	20
Abomasum	1	8	8	2	15
Total stomach	1	8	8	20	160
Small intestine	4	9	27	6	65
Cecum	...	1	14	1	10
Large intestine	1	9	41	3	25
Total digestive tract	6	27	90	30	260

ANIMAL	RELATIVE CAPACITY, %				RATIOS	
	STOMACH	SMALL INTESTINE	CECUM	COLON AND RECTUM	INTESTINAL TO BODY LENGTH	GASTROINTESTINAL SURFACE TO BODY SURFACE AREA
Cattle	71	18	3	8	20:1	3.0:1
Sheep, goat	67	21	2	10	27:1	
Horse	9	30	16	45	12:1	2.2:1
Pig	29	33	6	32	14:1	
Dog	63	23	1	13	6:1	0.6:1
Cat	69	15	16	4:1	0.6:1	
Man	17	67		17		

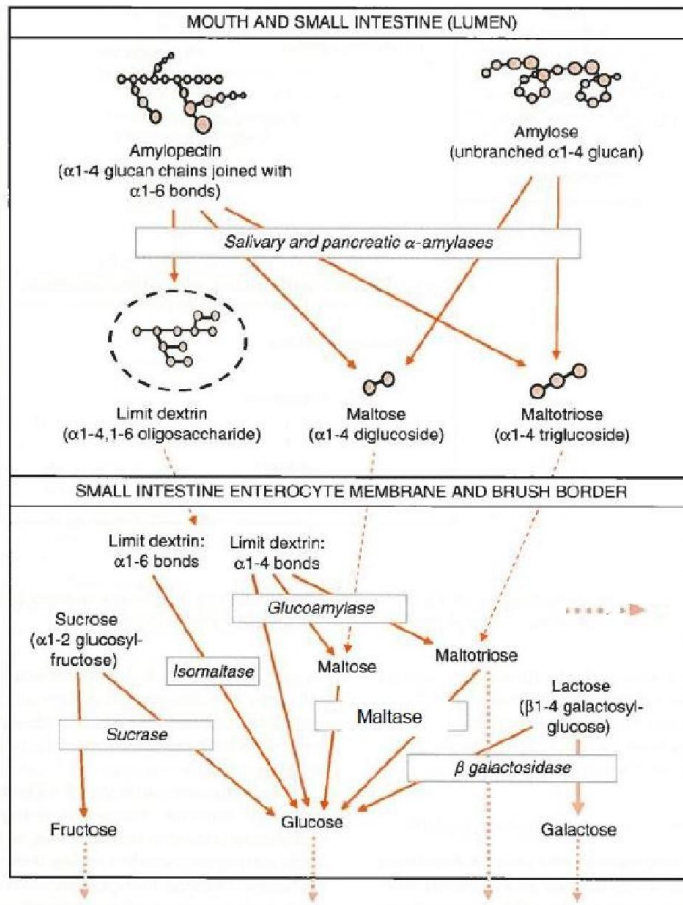
## Digestão de Hidratos de Carbono

Principais enzimas digestivas, substratos em que atuam e produtos finais da digestão:

Tipo/nome	Origem	Substrato/ação	Produtos finais	Comentários
<u>Amilolítica</u>				
Amilase salivar	Saliva	Amido, dextrina	Dextrina, maltose	Nenhum em ruminantes; de menor importância em outras espécies
Amilase pancreática	Pâncreas	Amido, dextrina	Maltose, isomaltose	Baixo em ruminantes
Maltase, isomaltase	Intestino delgado	Maltose, isomaltose	Glucose	Baixo em ruminantes
Lactase	Intestino delgado	Lactose	Glucose, galactose	Alto em mamíferos jovens

Sacarase	Intestino delgado	Sacarose	Glucose, frutose	Nenhum em ruminantes
Oligoglucosidase	Intestino delgado	Oligossacarídeos	Monossacarídeos	

Nota: dextrina é uma classe de polissacarídeos de baixo peso molecular.



A glucose é o principal produto final da digestão dos hidratos de carbono. As oses, que não a glucose, e que são convertidas em glucose, são convertidas na mucosa intestinal. A outra parte das oses é convertida no fígado.

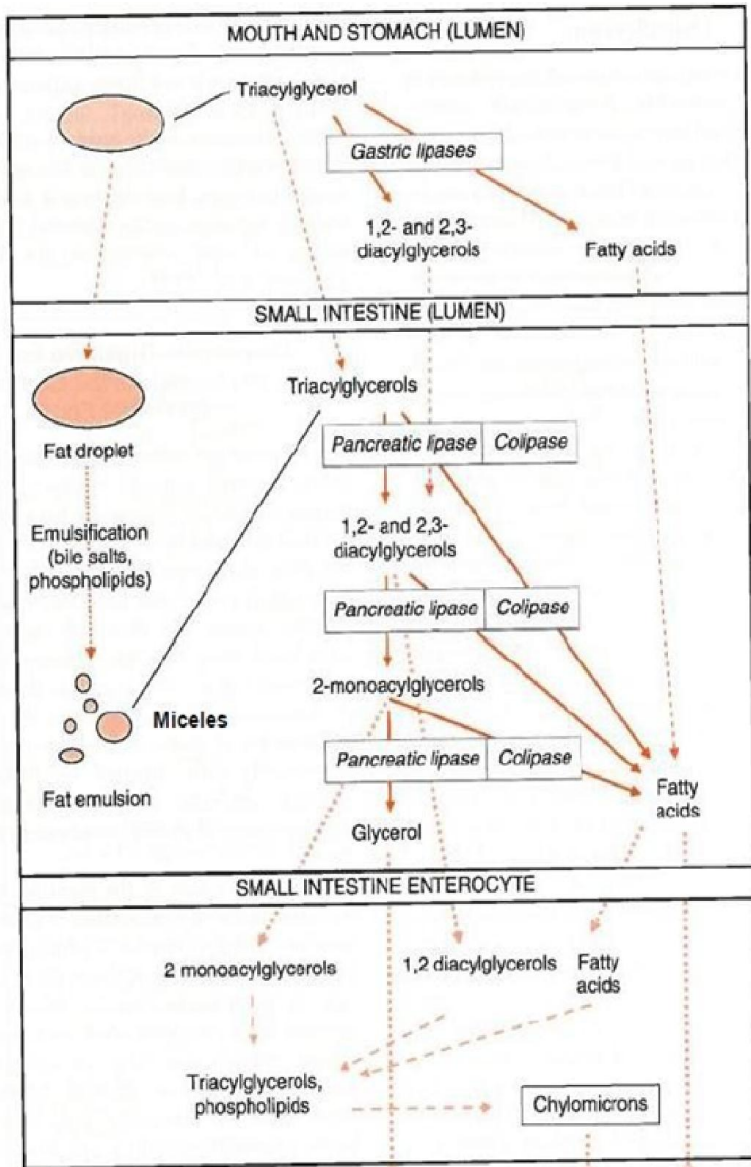
- - mudanças químicas
- - fluxo de substrato
- - absorção dos produtos de digestão

## Digestão de lípidos

Principais enzimas digestivas, substratos em que atuam e produtos finais da digestão:

Tipo/nome	Origem	Substrato/ação	Produtos finais	Comentários
<u>Lipolítica</u>				
Lipase salivar	Saliva	Triglicerídeos	Diglicerídeo + 1 ácido gordo (AG)	De menor importância em mamíferos jovens
Lipase	Pâncreas	Triglicerídeos	Monoglicerídeo +	

pancreática			2 AG	
Lipase intestinal	Intestino delgado	Triglicerídeos	Glicerol + 3 AG	
Lecitinase	Pâncreas, intestino delgado	Lecitina	Lisolecitina, AG livres	



Após a absorção há síntese de triglicerídeos e de fosfolípidos nas células da mucosa do intestino delgado (enterócitos).

- alterações químicas como resultado da ação de enzimas digestivas

- mudanças químicas e físicas associadas à síntese de quilomicron (estrutura esférica formada nos enterócitos depois da ingestão de gordura)

- fluxo de substrato

- alterações físicas associadas com emulsificação de uma gota de gordura

- absorção dos produtos da digestão

### Digestão de proteínas

Principais enzimas digestivas, substratos em que atuam e produtos finais da digestão:

Tipo/nome	Origem	Substrato/ação	Produtos finais	Comentários
Proteolítica				

Pepsina	Suco gástrico	Proteína nativa	Proteoses, peptonas, polipeptídeos	Coágulos de leite; hidrolisa proteínas nativas em pH ácido
Renina	Abomasum	Coágulos de leite (caseína)	Ca caseinato	Importante em mamíferos jovens
Tripsina	Pâncreas	Proteínas nativas ou produtos de digestão com pepsina e renina	Péptidos com grupos terminais de arginina ou lisina	
Quimotripsina	Pâncreas		Péptidos com terminal aminoácido aromático	
Elastase	Pâncreas		Péptido com ácido terminal de aminoácido alifático	
Carboxypeptidase A	Pâncreas	Péptidos com aminoácidos aromáticos ou alifáticos	Pequenos péptidos, aminoácidos neutros, aminoácidos ácidos	
Carboxipeptidase B	Pâncreas	Péptidos com terminais de arginina ou lisina	Aminoácidos básicos	
Aminopeptidases	Intestino delgado	Péptidos	Aminoácidos	
Dipeptidases	Intestino delgado	Dipéptidos	Aminoácidos	
Nucleases (vários tipos)	Pâncreas, intestino delgado	Ácidos nucleicos	Nucleótidos	
Nucleotidases	Intestino delgado	Nucleótidos	Bases de purina e pirimidina, ácido fosfórico, açúcares pentose	

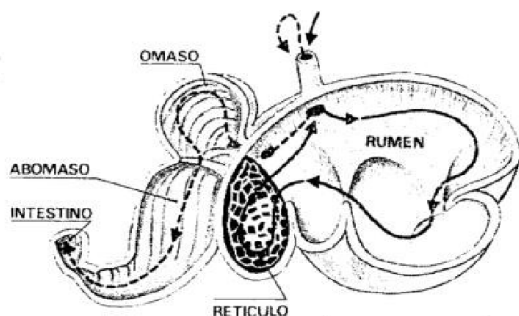
## Regulação hormonal da digestão

Hormona	Origem	Mecanismo de libertação	Função
Gastrina	Antro pilórico do estômago ou do abomasum de ruminantes	Estimulação do nervo vago; comida no estômago, distensão do estômago	A estimulação da secreção de ácido pelas glândulas gástricas
Polipeptídeo gástrico inibitório, (GIP)	Antro gástrico, duodeno, jejuno	Gorduras e ácidos gordos mais bÍlis no duodeno	A inibição da secreção gástrica e mobilidade
Secretina	Mucosa duodenal	A acidificação do duodeno, peptonas no duodeno	Estimulação do volume e saídas de bicarbonato da secreção pancreática e, de algumas espécies de bÍlis
Colecistoquinina (CCK)	Mucosa duodenal, cérebro	Ácidos gordos de cadeia longa, aminoácidos, as peptonas	Contração da vesícula biliar e pâncreas, estimula a síntese de enzimas pancreáticas, inibe a secreção de ácido gástrico, aumenta a libertação de insulina que pode induzir a saciedade
Somatostatina	Antro abomasum e duodeno, as células nervosas no trato GI	Estimulação vagal e as alterações químicas na composição do intestino	Inibe a liberação de gastrina, secretina e CCK; inibe o transporte de iões no intestino
Polipeptídeo pancreático	Pâncreas	Estimulação do nervo, entrada de alimentos no duodeno, insulina hipoglicemia	
Intestinal vasoactivo, péptido (VIP)	Muitos tecidos neurais ao longo do corpo	Estimulação neural, o exercício prolongado, jejum	Estimula a secreção exócrina pancreática



## Processos Digestivos – ruminantes

### Anatomia dos Ruminantes



Os ruminantes têm um estômago poligástrico, as duas câmaras do estômago funcionam com se fossem uma.

### Fermentação no rúmen

A temperatura (38°C) e pH no estômago são constantes.

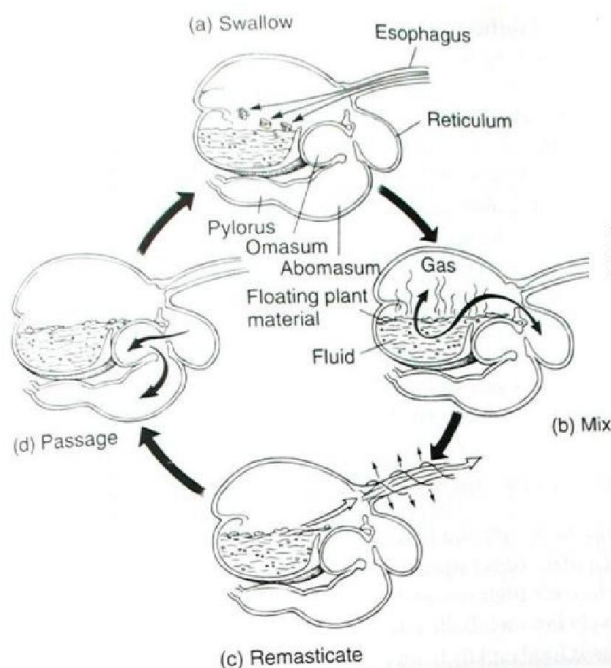
O fluido ruminal contém bactérias e protozoários que processam e fermentam os alimentos produzindo gases em grandes quantidades.

Depois de os animais ingerirem o alimento, ocorre a mistura do mesmo no rúmen, aquando dessa mistura ocorre a erupção - processo de libertação dos gases. Quando há um bloqueio do esófago (rúmen) o estômago incha pois os microrganismos continuam a produzir os gases, o que pode provocar doenças nos animais.

Durante a fase de ruminação os alimentos ingeridos são regurgitados para a cavidade bucal onde são mastigados e insalivados, para facilitar os processos da digestão. Os ruminantes produzem muita saliva, com grandes quantidades de bicarbonato que servem de tamponamento do pH no rúmen e retículo. Não há produção de amilase salivar porque ficaria muito diluído.

Os ácidos gordos voláteis provêm da fermentação de hidratos de carbono, que consequentemente levam à diminuição do pH ruminal.

A digestibilidade vai depender do alimento, influenciando o tempo de digestão. Um alimento com elevado teor em matéria com uma alta digestibilidade, por exemplo o amido.





Nos ruminantes, a comida é transformada num bolo e misturada com saliva e engolida. Contrações espalham-se no rúmen e retículo em ciclos que circulam e misturam as substâncias. O conteúdo separa-se em fluido e material particular.

O material vegetal pouco mastigado é regurgitado e mastigado mais tarde para quebrar as fibras das paredes celulares mecanicamente e expondo o tecido da planta às celulasas.

População microbiana:

- Relativamente estável para um determinado substrato.
- Bem adaptada ao meio ruminal (pH, temperatura, anaerobiose).
- Anaeróbios obrigatórios (essencialmente).

A inalação respiratória, sem a abertura da traqueia, produz pressões negativas ao redor do esófago para empurrar algum desse material para o esófago através do esfíncter gastroesofaríngeo.

Do omasum até ao abomasum ocorrem 2 fases: relaxamento das paredes do abomasum produzindo pressões negativas que originam partículas finas de material; contração das forças do omasum que impulsiona as partículas para o abomasum.

### Desenvolvimento do Rúmen com a Idade

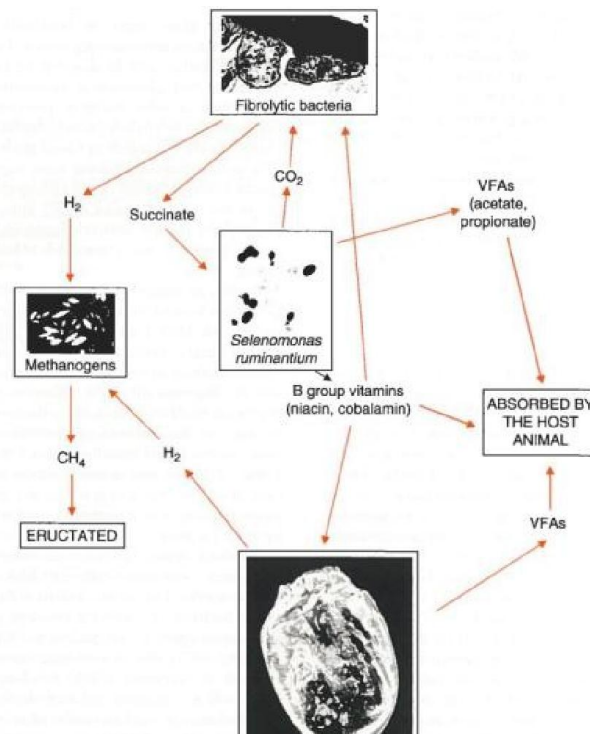
Um ruminante não nasce com um microbiota muito desenvolvido.

O tubo digestivo não está desenvolvido (pré-ruminante). O rúmen e o retículo são muito pequenos. Os animais durante a primeira fase de vida alimentam-se de leite e não é necessária a sua fermentação. Existe uma passagem direta (bypass-goteira esofágica) do esófago para o abomassum.

À medida que o animal se alimenta de palhas / plantas, o microbiota aumenta, e assim há uma passagem de pré-ruminante a ruminante.

A população microbiana é constituída por bactérias, protozoários e fungos.

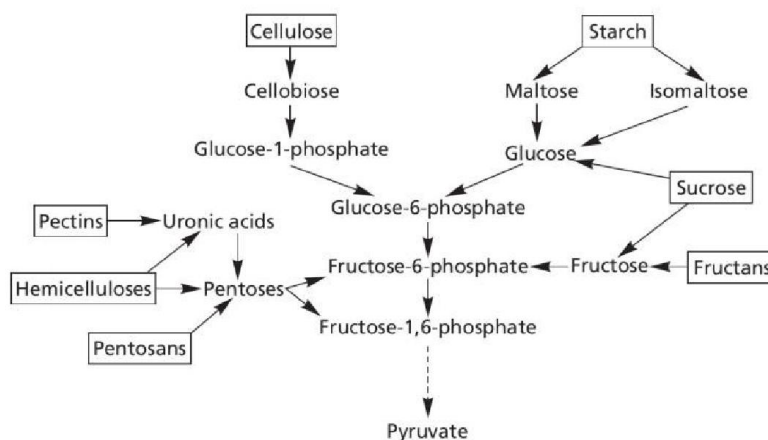
### Interações entre o microbiota ruminal



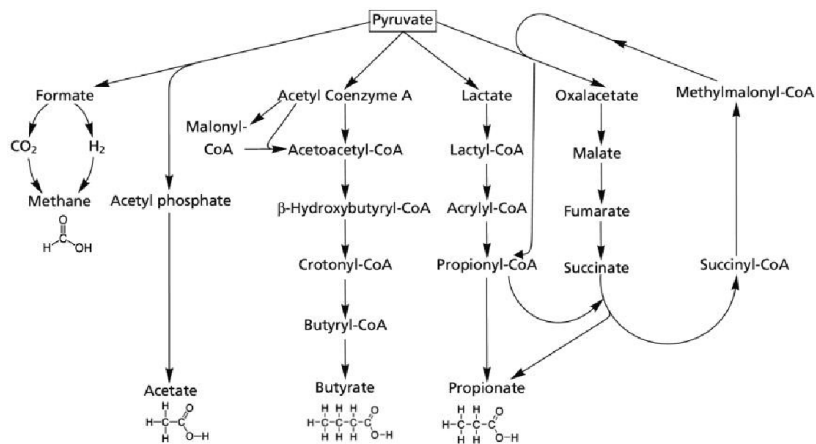
## Fermentação de hidratos de carbono no rúmen

Os hidratos de carbono são constituídos por componentes de fácil degradação e por alguns de difícil degradação (lactose).

Fermentação de hidratos de carbono a piruvato:



Fermentação do piruvato a ácidos gordos voláteis:



Um dos problemas da produção excessiva de gado bovino é a produção em excesso de metano (efeito de estufa).

A fermentação é feita por uma grande variedade de bactérias.

Os ácidos gordos voláteis são o produto final da fermentação dos hidratos de carbono e são usados como fonte de energia por estes animais.

Quase todos os hidratos de carbono são fermentados no rúmen.

## Bactérias típicas do rúmen, substratos e produtos finais da fermentação

A quantidade de bactérias do fluido ruminal é da ordem de  $10^8$  e de protozoários é da ordem de  $10^4$ .

O ácido acético é o ácido gordo volátil produzido em maior quantidade.

Species	Description	Typical energy sources	Typical fermentation products (excluding gases)						Alternative energy sources
			Acetic	Propionic	Butyric	Lactic	Succinic	Formic	
<i>Fibrobacter succinogenes</i>	Gram-negative rods	Cellulose	+				+	+	Glucose (starch)
<i>Ruminococcus flavefaciens</i>	Catalase-negative streptococci with yellow colonies	Cellulose	+			+	+	+	Xylan
<i>Ruminococcus albus</i>	Single or paired cocci	Cellobiose	+					+	Xylan
<i>Streptococcus bovis</i>	Gram-positive, short chains of cocci, capsulated	Starch				+			Glucose
<i>Prevotella ruminicola</i>	Gram-negative, oval or rod	Glucose	+				+	+	Xylan, starch
<i>Megasphaera elsdenii</i>	Large cocci, paired or in chains	Lactate	+	+	+				Glucose, glycerol
<i>Lachnospira multipara</i>	Gram-positive curved rods	Pectins	+				+		Glucose, fructose

### Fermentação de alimentos grosseiros e de concentrados

Os alimentos mais grosseiros (fenos e palhas - muito ricos em fibra e pobres em hidratos de carbono solúveis e amido) produzem uma maior quantidade de ácido acético, enquanto alimentos mais concentrados produzem menor quantidade de ácido acético. Este ácido pode ser armazenado sob a forma de lípidos.

A lactose é produzida em maior quantidade se fornecermos aos ruminantes alimentos mais concentrados.

Ration	Individual VFA (molar %)					
	Acetic	Propionic	Butyric	Valeric	Isovaleric	Caproic
90% concentrates + 10% straw	50.1	35.1	9.3	1.3	3.7	0.5
90% concentrates + 10% hay	45.7	39.5	8.8	1.2	4.1	0.7
70% concentrates + 30% hay	56.0	29.6	9.9	1.2	3.0	0.3
40% concentrates + 60% hay	66.1	20.2	9.9	1.3	2.1	0.3

Os ácidos gordos voláteis são os produtos finais absorvidos diretamente no rúmen e retículo e passam para a corrente sanguínea para serem utilizados.

A fermentação permite utilizar nutrientes que os monogástricos não utilizam. Parte do hidrogénio formado na fermentação que se associa ao carbono produzindo metano é uma perda em termos energéticos.

O animal precisa de glucose para a produção de leite, para manter níveis de glucose no sangue, para o substrato energético, produzindo através do ácido propiónico.

Os animais arrotam muito para expulsar gases. No caso de o esófago é necessário perfurar o rúmen para haver a libertação desses gases.

Quando produzem leite, os animais precisam de muita glucose para formar alimentos concentrados, com uma maior produção de ácido propiónico.

## Variação do microbiota ruminal com o tipo de dieta

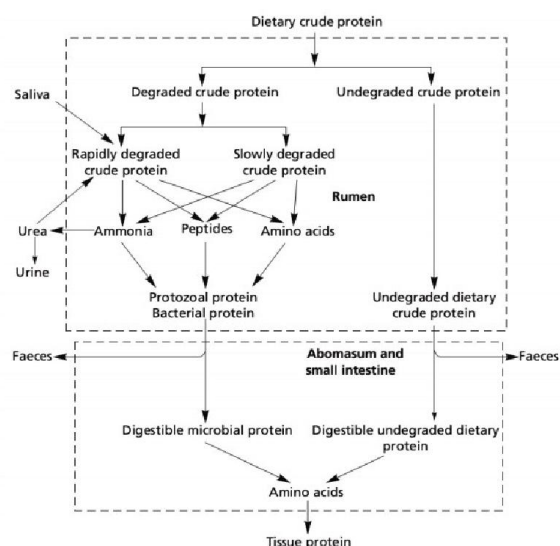
A dieta do animal deve ser mudada gradualmente para o microbiota se adaptar.

Isolated bacterial types	Hay (100%)	Hay (80%) plus maize (20%)
Fibrolitic bacteria	7.17	3.74
<i>Lactobacillus</i> spp.	7.78	8.68
<i>Streptococcus</i> spp.	6.06	7.10
Lactate-utilizing bacteria	7.63	7.91
Tributylin-hydrolysing bacteria	7.43	7.04

## Fermentação de proteínas e compostos azotados no rúmen

As proteínas que são ingeridas podem dividir-se em:

- Degradáveis no rúmen;
- Não degradáveis (passam pelo rúmen sem ser degradadas mas são processadas no abomasum e no intestino grosso).



A proteína degradada no rúmen origina ácidos aminados. O produto final é a obtenção de uma proteína bacteriana e protozoária, que passa pelo abomasum e é utilizada pelo animal para a síntese de aminoácidos e proteínas como o leite.

A amônia é utilizada para a produção de proteínas bacterianas, mas a amônia em excesso é convertida em ureia (no sangue) que pode ser reciclada na saliva.

Nos ruminantes não é necessário fornecer proteínas específicas nem de grande qualidade porque as bactérias vão transformá-la em proteína de baixa qualidade. Contudo, proteínas de melhor qualidade permitem um maior crescimento.

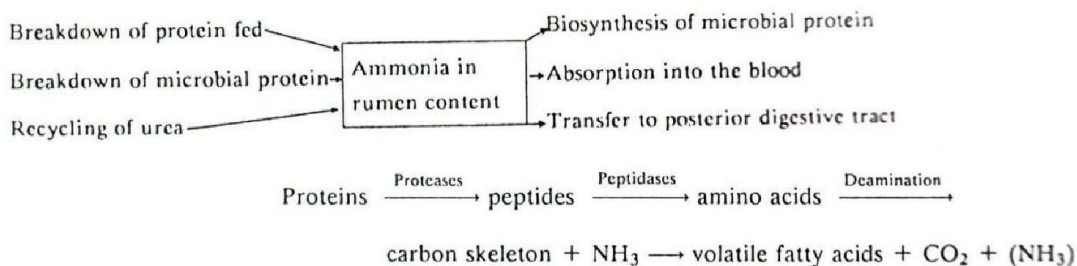
No que diz respeito à fermentação das proteínas no intestino grosso, os ácidos gordos voláteis podem ser absorvidos a nível do intestino grosso. Nos ruminantes há ainda uma ação muito importante dos microrganismos no intestino grosso, ceco e rúmen.

Cropofagia – ingestão de fezes. Permite tirar proveito da fermentação do intestino grosso e ceco.

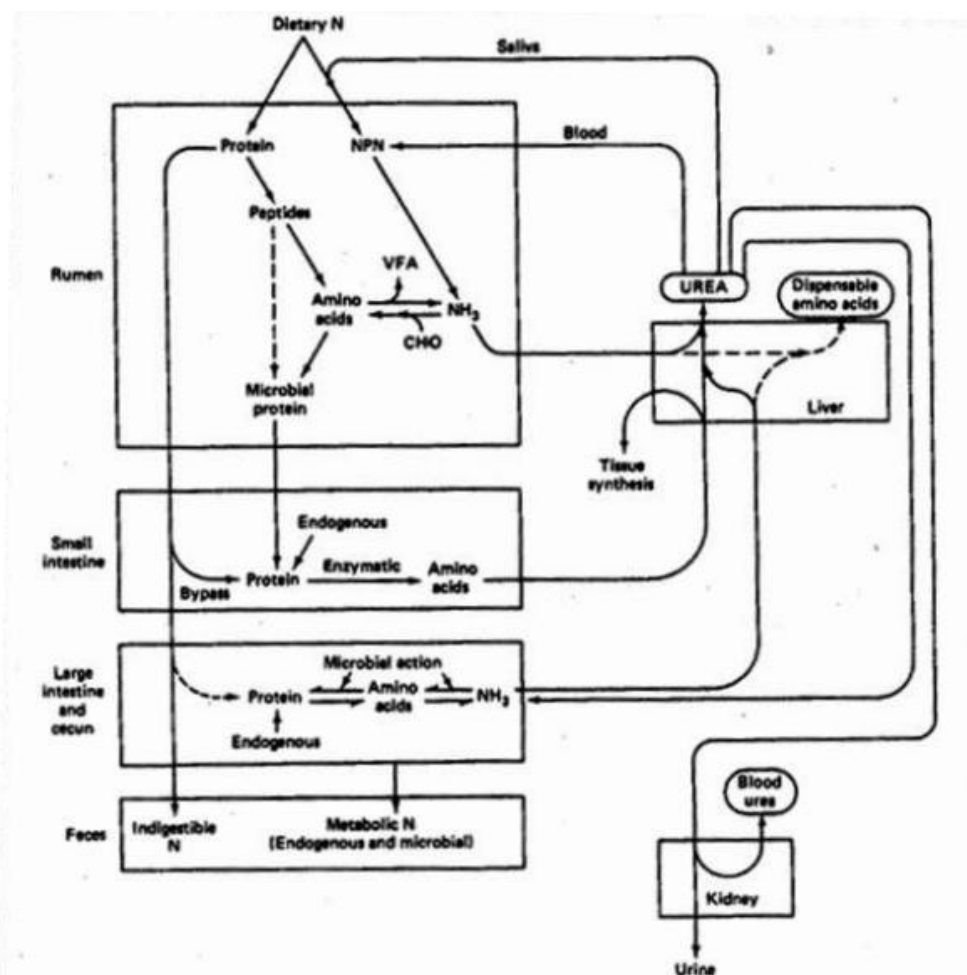
Fezes moles: as vitaminas e ácidos aminados produzidos por bactérias não são aproveitados. Com movimentos peristálticos conseguem separar o líquido que contém vitaminas e ingerem fezes moles.

Fezes duras: excretadas e sem ingestão.

## Fermentação de compostos azotados no rúmen



## Fermentação de compostos azotados, digestão no intestino e metabolismo do N em ruminantes



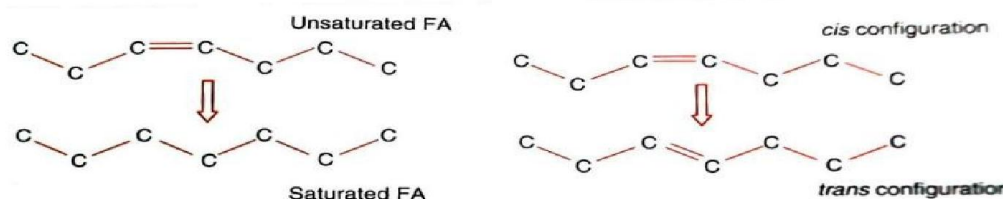
## Degradabilidade das proteínas no rúmen

A ureia, a caseína e a cevada são quase completamente degradáveis. A farinha de peixe é dificilmente degradável.

É possível aumentar a fração não degradável através de tratamentos não biológicos, aproveitando um maior valor de proteínas pelo próprio animal.

Urea	100
Casein	90
Barley	80
Cottonseed meal	70
Peanut meal	65
Soybean meal	60
Alfalfa hay	60
Milo	40
Corn	40
Corn silage	40
Fish meal	30

## Fermentação de ácidos gordos no rúmen



Os ruminantes apenas toleram aproximadamente 25% de ácidos gordos, por isso não se pode abusar muito dos ácidos gordos nas rações.

No alimento natural (ervas) dos ruminantes existem ácidos gordos.

A maior parte dos ácidos gordos insaturados são saturados pelos microrganismos no rúmen (tornam os ácidos gordos de cadeia longa em ácidos gordos de cadeia mais curta).

Os ruminantes obtêm a maior parte das vitaminas essenciais através dos microrganismos, e obtêm os ácidos aminados através do microbiota.

## Diferenças entre ruminantes e herbívoros não ruminantes na utilização dos alimentos

Ruminantes – fermentação no rúmen / retículo ou fermentação no intestino grosso.

Herbívoros não ruminantes – fermentação no cecum e/ou cólon.

Ingredient	Outcome of the digestive process <sup>a</sup>	
	Horse	Cow
Barley grain	<ul style="list-style-type: none"> <li>Starch is digested in the small intestine → glucose</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Most starch is digested in the rumen → VFA (relatively rich in Pr)</li> </ul>
Cottonseed meal	<ul style="list-style-type: none"> <li>Protein is digested in the stomach and small intestine → amino acids</li> <li>Gossypol is absorbed into the body: binds Fe and promotes lipid peroxidation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Most protein is digested in rumen → NH<sub>3</sub> → bacterial protein, later digested in the small intestine → amino acids</li> <li>Gossypol complexes with soluble rumen proteins: action against body cells protected</li> </ul>
Synthetic lysine	<ul style="list-style-type: none"> <li>Is absorbed in the small intestine → contributes to the body lysine pool</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Is deaminated in the rumen → contributes to the rumen NH<sub>3</sub> pool</li> </ul>
Molasses	<ul style="list-style-type: none"> <li>Makes the ration more palatable</li> <li>Is digested in the small intestine → glucose + sucrose</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Makes the ration more palatable</li> <li>Is digested in the rumen → VFA (relatively rich in Bu)</li> </ul>
Canola oil	<ul style="list-style-type: none"> <li>Is digested in small intestine → various glycerides + FA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>May inhibit rumen function</li> <li>FA are saturated by rumen bacteria</li> <li>Is digested in the small intestine → various glycerides + FA</li> </ul>
Grass hay	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fibre is digested in the large intestine → VFA</li> <li>Is needed for digestive tract health</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fibre is digested in the rumen and large intestine → VFA (Ac, Pr, Bu)</li> <li>Is needed for rumen health</li> </ul>

<sup>a</sup>VFA = volatile fatty acids; Ac = acetic acid; Pr = propionic acid; Bu = butyric acid; FA = fatty acids.



### Produção de fezes em diferentes espécies

Species of animals	Body weight (kg)	Faeces daily excreted (kg)	Water content (%)	pH†
Horse	550–650	6–25	73–78	6.7
Cattle	550	15–45	75–86	6.8
Pig	100	0.5–3	65–75	7.7
Sheep	45–55	0.9–3	57–75	7.6
Goat	40–45	0.5–1.2	57–75	6.5
Hen‡	2–3	0.10–0.15	70–75	7.5

### Digestibilidade

Digestibilidade – percentagem do alimento ingerido, que não é excretada nas fezes, e que se assume ter sido absorvido pelo animal. Fração de um alimento ou um seu constituinte, que se perde ao longo do trato digestivo, ou seja, é determinada pela medição da quantidade de alimento consumido e a quantidade de fezes excretadas, após o animal ter tido tempo suficiente para se acostumar à dieta.

#### **Método direto de Determinação da Digestibilidade - recolha quantitativa das fezes**

É necessário saber a quantidade de alimento ingerido e a quantidade de fezes produzida.

É necessário, então, pesar o alimento ingerido no período de tempo  $t$ , recolher as fezes no período de tempo  $t$ , para isso usa-se arnês e saco de recolha de fezes. Também se pode fazer a recolha através de um carrinho com ligação ao trato urinário que recolhe a urina. Usam-se jaulas ou caixas metabólicas em que o animal tem acesso a determinada quantidade de alimento. Em animais terrestres é fácil, mas nos animais aquáticos já é mais difícil.

Em animais aquáticos, a recolha de fezes é feita pelo sistema Guelph onde se tenta dar comida, tendo que ser toda ingerida. Recolhe-se mecanicamente as fezes (métodos de recolha em 5 segundos) que não devem estar em contacto com a água mais de 15 segundos. Este método tem a desvantagem da lixiviação pelo contato com a água, havendo perda de produtos excretados, o que leva a uma subavaliação. Podem recolher-se as fezes antes do peixe defecar (compressão da última parte do tubo digestivo - stripping) obtendo-se material não completamente digerido, assim evita-se a lixiviação, mas pode-se contaminar com fluidos corporais e enzimas digestivas. Este processo pode introduzir stress mas os organismos são anestesiados.

As fezes constituídas por:

- Resíduos indigestíveis do alimento.
- Produtos de descamação do epitélio intestinal.
- Resíduos dos sucos digestivos.
- Mucos.
- Microrganismos vivos/mortos.

## Relações entre o tempo de ingestão dos alimentos e a saída das fezes

Deve manter-se constante a quantidade de alimento ao longo dos dias para a quantidade de fezes ser também semelhante.

Os monogástricos demoram 2 a 3 dias para excretar o que ingeriram, enquanto os ruminantes demoram mais tempo (4 a 5 dias).

Deve-se dar 5 a 15 dias da alimentação a ser testada para ter a certeza que as fezes que saem são consequentes dessa alimentação. Assim, também dá tempo para os organismos se habituarem ao alimento para depois comerem de forma constante.

Nos monogástricos, a absorção ocorre no intestino delgado, e o amido é absorvido como glicose.

Nos ruminantes, a absorção ocorre no rúmen, e o amido é digerido e absorvido no rúmen como amónia e no intestino delgado como glicose.

## Digestibilidade aparente (%)

$$\text{Digestibilidade aparente (\%)} = \frac{\text{alimento ingerido} - \text{fezes}}{\text{alimento ingerido}} \times 100\%$$

Na digestibilidade aparente, as fezes são as vias de eliminação de vários compostos e vai haver restos do alimento ingerido (exógeno) e do próprio metabolismo do animal (endógeno). Não se distingue os alimentos exógenos dos endógenos.

Se houver mais coisas nas fezes do que no alimento ingerido, então a digestibilidade aparente é menor do que a digestibilidade verdadeira.

## Digestão e digestibilidade nas diferentes secções do tubo digestivo

		Perennial ryegrass	Short-rotation ryegrass
Total N (g/day)	(1) In feed	37.8	34.9
	(2) At duodenum	27.8	31.7
	(3) At terminal ileum	9.0	9.3
	(4) In faeces	5.8	6.7
Proportion of feed N digested	(5) In stomach	0.26	0.09
	(6) In small intestine	0.50	0.64
	(7) In large intestine	0.08	0.07
	(8) Overall	0.84	0.80
Protein N absorbed (g/day) <sup>a</sup>	(9) In small intestine	15.0	19.1
Amino acid N absorbed (g/day)	(10) In small intestine	14.6	18.3

Com a erva da esquerda foi absorvido menos azoto no intestino delgado apesar de as perdas no rúmen terem sido maiores.

A erva da direita tem menos azoto e menos digestibilidade (80%) mas 25% mais de aminoácidos foram absorvidos.

Na erva da esquerda, no total de azoto absorvido (38g), menos de metade estão na forma de aa. Apesar da maior digestibilidade, a disponibilidade de aa pode ser menor por haver

fermentação no rúmen.

Nos monogástricos não há este problema porque não há rúmen e não há estas perdas, ou seja, não há diferenças no tudo digestivo.



### **Absorção aparente de aminoácidos essenciais estimada por análise fecal contra ileal**

Sacos porosos são introduzidos no animal num compartimento e recolhe-se quando é excretado, com o que havia no início e no fim, calcula-se a digestibilidade. Este método é muito utilizado em porcos porque digerem todo até ao íleo e se calcularmos a digestibilidade nas fezes, ela pode ser menor devido a reações no intestino grosso pelos microrganismos (podem em vez de digerir lisina, produzir – subavaliação).

### **Fistular animal**

Faz-se uma fístula, uma abertura que liga um órgão ao exterior. Corta-se uma camada e cose-se e assim sucessivamente, até chegar ao órgão. Depois coloca-se uma cânula (para manter o local aberto) e coloca-se uma tampa. Está provado que o animal não sente desconforto e que não diminui o tempo de vida.

### **Digestibilidade *in vitro***

Tenta simular a fermentação no rúmen sob condições controladas (usada em ruminantes).

As amostras são tratadas com licor de rúmen (recolhidas através de fístulas) e incubadas em condições anaeróbias durante 48 horas.

As bactérias são mortas com HCl até pH=2.

Faz-se uma segunda incubação com pepsina durante 48 horas.

Os resíduos obtidos são filtrados, secos e incinerados.

A matéria orgânica digestiva é obtida por subtração à matéria orgânica antes da digestão.

Esta técnica é muito usada na avaliação de forragens cultivadas (ex.: milho) para aconselhamento de produtores de gado, também é usada em avaliações de plantas experimentais.

Outra aplicação é na determinação de padrões de digestibilidade por compartimento (ex.: só no rúmen).

As fístulas esofágicas (amostram a digestibilidade no esófago), importantes na digestibilidade em animais de pasto, porque permite ter a certeza que o animal comeu aquilo, para depois comparar com as fezes.

### **Método indireto de Determinação da Digestibilidade – método do indicador**

Uso de substâncias referências/marcadores de digestibilidade, que podem ser:

- Intrínsecos/internos – fazem parte do alimento que estamos a testar (ex.: lenhina).
- Extrínsecos/externos - são substâncias adicionadas ao alimento que se fornece (ex.: óxido de crómio – que é o mais aceite e é verde, óxido de ferro e isótopos radioativos).

O cálculo da digestibilidade por este método indireto é feito por esta fórmula:

$$\text{Digestibility} = 100 - \left( 100 \frac{\% \text{ indicator in feed}}{\% \text{ indicator in feces}} \times \frac{\% \text{ nutrient in feces}}{\% \text{ nutrient in feed}} \right)$$

Exemplo:

<i>Relevant data</i>		
Feed eaten	100 g	from quantitative feed record
Nitrogen in feed	2.5%	from chemical analysis of feed sample
Chromic oxide in feed, or	1.0% 10 mg/g	from chemical analysis of feed
Feces voided	20.0 g	from quantitative feces collection
Nitrogen in feces	2.0%	from chemical analysis of feces sample
Chromic oxide in feces, or	5.0% 50 mg/g	from chemical analysis of feces

$$\text{Digestibilidade} = 100 - (100 \times (1/5) \times (2/2.5)) = 84\%$$

Este método indireto usa-se quando é impossível quantificar o alimento ingerido ou as fezes (ex.: peixes porque vivem na água).

Uma substância para ser um bom marcador de digestibilidade:

- Não pode ser digerido e absorvido nem parcialmente nem totalmente.
- Tem que passar pelo trato intestinal ao mesmo tempo que o alimento.
- Tem que estar uniformemente distribuído quer no alimento, quer nas fezes.
- Deve ser facilmente analisável e identificável.

### Método indireto de Determinação da Digestibilidade – método das diferenças

Utilizado quando se quer saber a digestibilidade de uma única matéria-prima. A maior parte dos animais não comem só uma matéria-prima, então o que se faz é formular dietas experimentais que incluam essa matéria-prima e dietas referência. A dieta referência é constituída por alimentos que o animal tolera bem, e a dieta experimental contém o alimento que se quer saber a digestibilidade (ex.: 70% de dieta referência e 30% de alimento cuja digestibilidade se quer conhecer).

Depois utiliza-se a fórmula para determinar a digestibilidade do alimento em questão:

$$\text{CDA do ingrediente experimental} = \frac{\text{CDA da dieta experimental} - (0.7 \times \text{CDA da dieta referência})}{0.3}$$

CDA-coeficiente de digestibilidade aparente

Mas esta fórmula não leva em consideração a matéria seca nem a contribuição em nutrientes da dieta de referência nem do alimento a testar, então utiliza-se esta:

$$D_T(\%) = \frac{D_{T+B}(\%) - D_B(\%) (N_{B+T})}{N_T \times N_{B+T}}$$

## **Métodos laboratoriais**

Nestas experiências de digestibilidade, a quantidade fornecida de alimento deve ser constante. Assim, a quantidade de fezes produzidas será também constante e acompanhará o mesmo padrão. Os métodos laboratoriais permitem o manuseamento simultâneo de um grande número de amostras. Permitem, também, a obtenção de valores analíticos que possam estimar com rigor e precisão aceitáveis os valores obtidos em ensaios com animais relativamente a um dado parâmetro nutricional, neste caso a digestibilidade.

A digestibilidade *in vitro* (usa licor de rúmen), tem uma digestibilidade mais baixa do que a digestibilidade obtida laboratorialmente (usa celulase), esta última tem uma necessidade de ajustar.

Há um fenómeno que se verifica várias vezes, o efeito associativo ou aditivo, devido à interação entre os alimentos.

Seja qual for o método utilizado (direto ou indireto), os ensaios da digestibilidade são importantes de várias formas:

- Avaliação e caracterização biológica das matérias-primas e como consequência formular dietas mais equilibradas relativamente às necessidades da espécie em questão.
- Estudo das necessidades nutricionais dos animais.
- Elaboração de tabelas de alimentação.

## **Digestibilidade verdadeira**

A digestibilidade verdadeira é a percentagem de alimento absorvido no trato intestinal excluindo os resíduos endógenos (excreção endógena de azoto – azoto metabólico).

Podemos calcular a digestibilidade verdadeira de duas formas:

- Subtrair a quantidade de azoto nas fezes, num animal alimentado com baixo teor de azoto comparado com um animal alimentado com alto teor de azoto.
- Uma vez que é possível transformar uma proteína em quantidade de azoto, usamos uma dieta sem proteínas ou com proteínas 100% digeríveis.

## **Fatores que afetam a digestibilidade**

São vários os fatores que afetam a digestibilidade, mas dividem-se em 2 grandes grupos: aqueles que dependem do alimento, e os que dependem do animal.

Fatores que dependem do alimento:

- Composição química (animal elevada).
- Interação entre alimentos.
- Forma física.
- Tratamentos térmicos e químicos.
- Nível alimentar.

Fatores que dependem do animal:

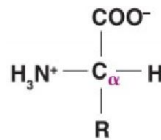
- Raça – evidência controversa. Diferenças pouco relevantes para as várias espécies domésticas.
- Idade – jovens afetados pois as enzimas não estão totalmente desenvolvidas.
- Espécie – mais importante. Diferenças têm origem nas diferenças anatômicas e funcionais do aparelho digestivo.
- Sexo – inferior em machos.

## Proteínas

### Constituição elementar das proteínas

As proteínas são constituídas por aminoácidos:

- Carbono central.
- Grupo carboxilo.
- Grupo amina.



	Percent
<b>Carbon</b>	<b>51.0–55.0</b>
<b>Hydrogen</b>	<b>6.5– 7.3</b>
<b>Nitrogen</b>	<b>15.5–18.0</b>
<b>Oxygen</b>	<b>21.5–23.5</b>
<b>Sulfur</b>	<b>0.5– 2.0</b>
<b>Phosphorus</b>	<b>0.0– 1.5</b>

### Fatores de conversão de azoto em proteína bruta

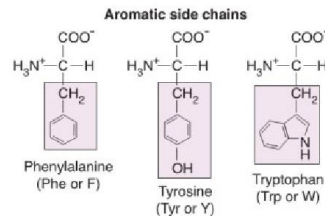
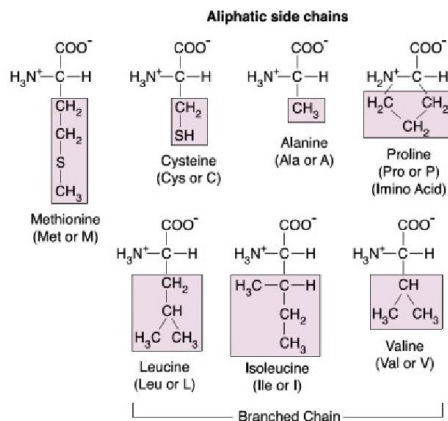
Normalmente determina-se a concentração de azoto, e só depois é que se converte para concentração em proteína.

Uma proteína tem, normalmente, 26% de azoto.

Proteína del alimento	Nitrógeno (g/kg)	Factor de conversión
Semilla de algodón	188,7	5,30
Semilla de soja	175,1	5,71
Cebada	171,5	5,83
Maíz	160,0	6,25
Avena	171,5	5,83
Trigo	171,5	5,83
Huevo	160,0	6,25
Carne	160,0	6,25
Leche	156,8	6,38

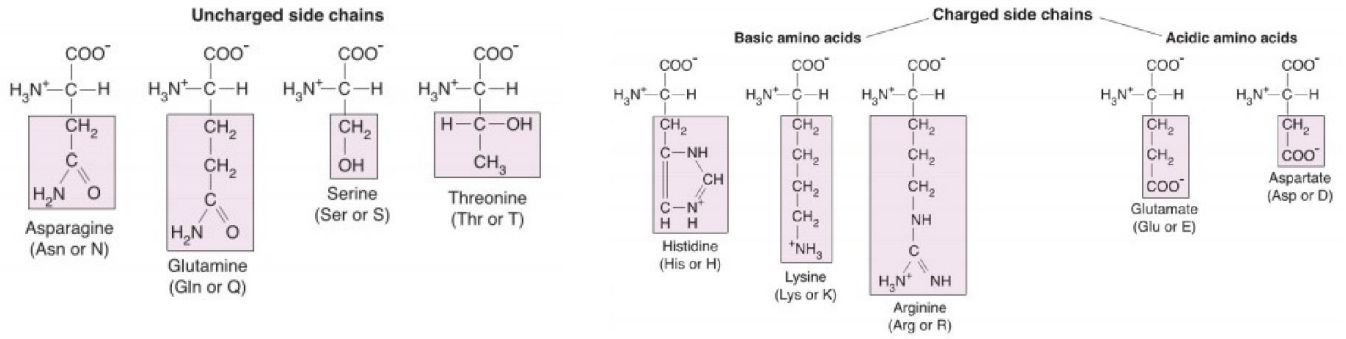
### Classificação dos aminoácidos de acordo com a estrutura da cadeia lateral

#### Aminoácidos Hidrofóbicos

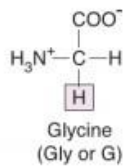


**Alifático:** composto constituído por carbono e hidrogénio dispostos em cadeias lineares ou ramificadas, e que não contenham anéis aromáticos.

## Aminoácido Hidrofílicos



## Aminoácidos nem hidrofóbicos nem hidrofílicos

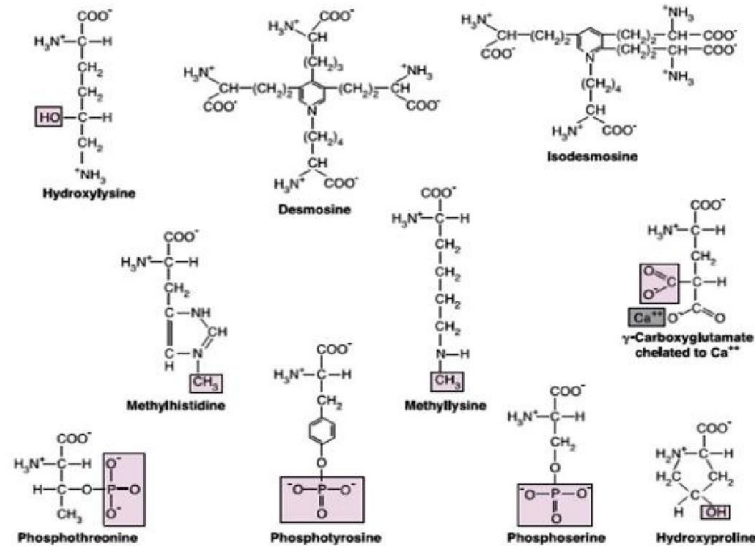


Têm um grupo H no grupo R.

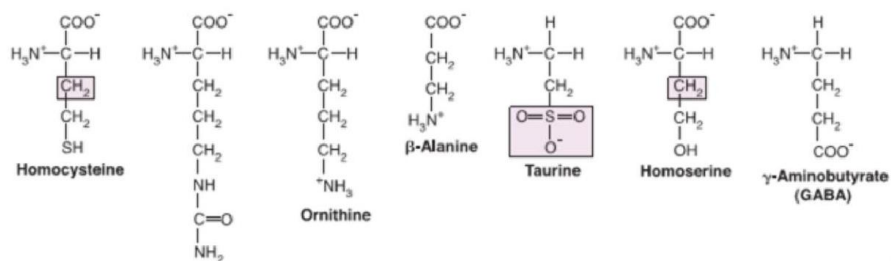
## Aminoácidos encontrados e não encontrados nas proteínas

Há muitos mais aminoácidos do que aqueles que integram as proteínas.

### Modified Amino Acids Found in Protein



### Nonprotein Amino Acids

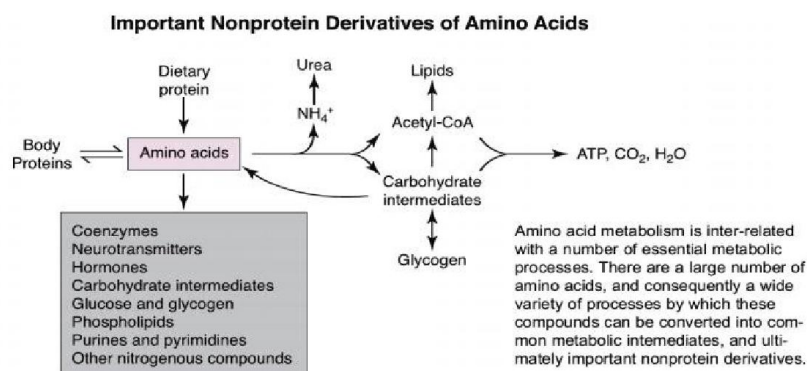


## Funções das proteínas

Função	Exemplos de proteínas
Contração muscular	Actina, miosina, tubulina
Reações catalisadas por enzimas	Desidrogenase, cinase, sintase
Expressão génica	DNA de proteínas de ligação, histonas, proteínas repressoras
Efeitos mediados por hormonas	Insulina, lactogénio, somatotropina placentária
Proteção	Fatores de coagulação, imunoglobulinas, interferon
Regulação	Imodulin, leptina, osteopontina
Armazenamento de nutrientes e O <sub>2</sub>	Ferritina, metalotioneína, mioglobina
Estrutura celular	Colágeno, elastina, proteoglicanos
Transporte de nutrientes e O <sub>2</sub>	Albumina, hemoglobina, lipoproteínas plasmáticas

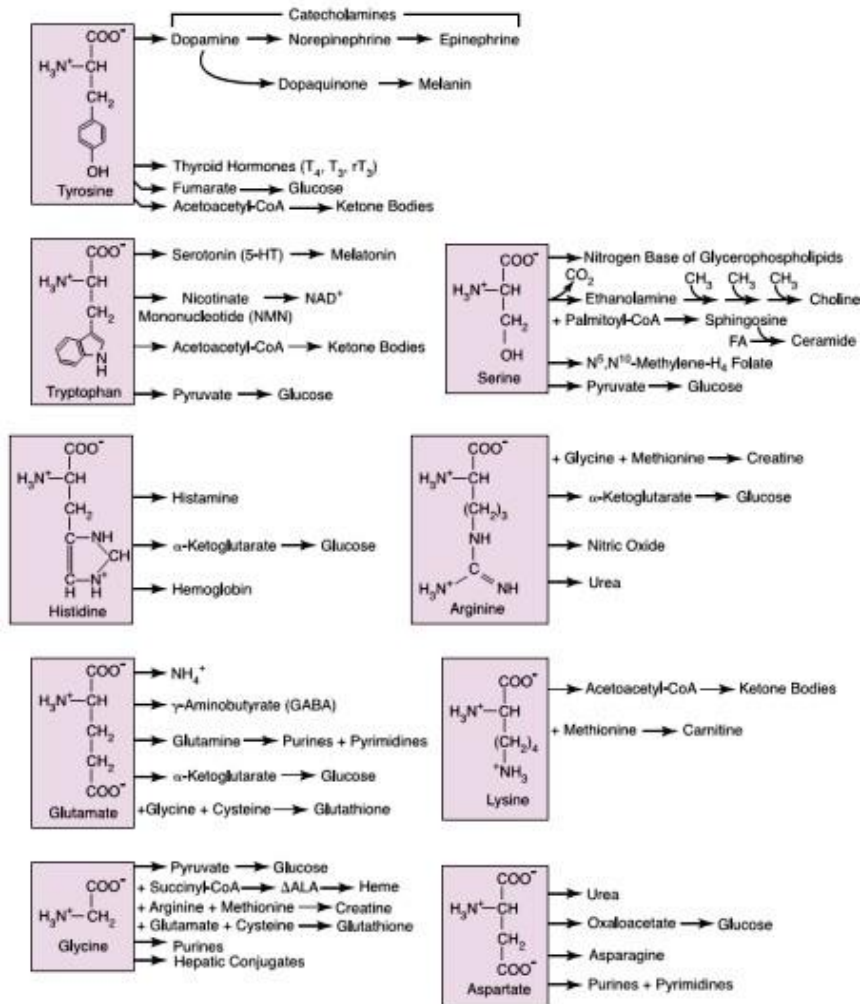
## Compostos não proteicos formados a partir de aminoácidos

Os aminoácidos são normalmente fornecidos através de proteínas. Além das proteínas temos uma série de compostos não-proteicos que contém aminoácidos.



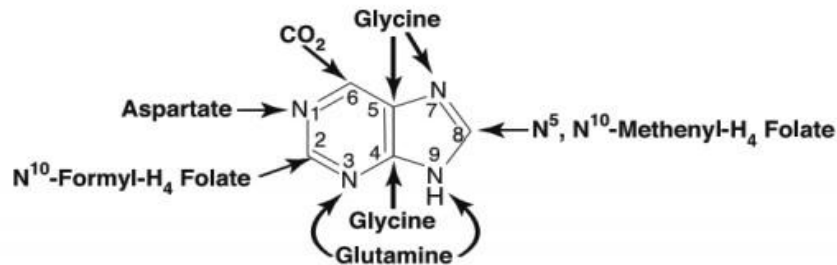
Composto biológico	Aminoácido precursor	Função fisiológica
Purinas e pirimidinas	Glicina e ácido aspártico	Constituintes dos nucleótidos e ácidos nucleicos
Creatina	Glicina e arginina	O armazenamento de energia na forma de fosfato de creatina no músculo
Ácidos glicólico e taurocólico	Glicina e cisteína	Os ácidos biliares, ajudam na digestão e absorção de gordura
Epinefrina, tiroxina e norepinefrina	Tirosina	Hormonas
Etanolamina e colina	Serina	Constituintes de fosfolipídios
Histamina	Histidina	Vasodepressora
Serotonina	Triptofano	Transmissão de impulsos nervosos
Portirinas	Glicina	Constituinte da hemoglobina e citocromos
Niacina	Triptofano	Vitamina
Melanina	Tirosina	Pigmento da pele, cabelo e olhos

### Nonprotein Derivatives of Amino Acids

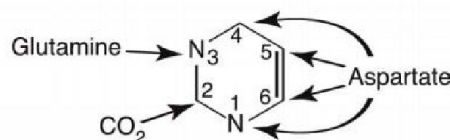


### Síntese de purinas e pirimidinas a partir de aminoácidos

#### Source of Atoms in the Purine Rings



#### Source of Atoms in the Pyrimidine Ring



## Aminoácidos essenciais e não essenciais

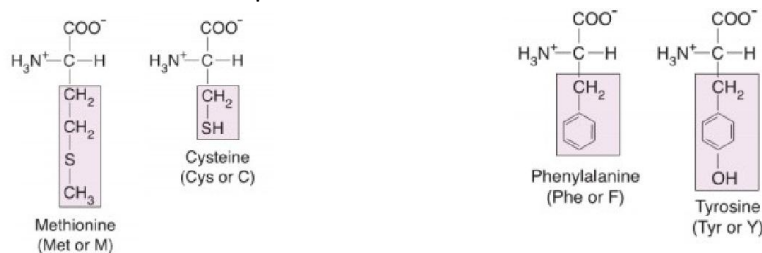
Essenciais	Não-Essenciais
Arginina	Alanina
Histidina	Ácido aspártico
Isoleucina	Citrulina
Leucina	Cisteína
Lisina	Ácido glutâmico
Metionina (que pode ser substituída parcialmente por cisteína)	Glicina
Fenilalanina (pode ser substituída parcialmente por tirosina)	Hidroxiprolina
Treonina	Prolina
Triptofano	Serina
Valina	Tirosina

Destes 20 aminoácidos, 10 aminoácidos são essenciais (não dispensáveis) e 10 são aminoácidos não essenciais (dispensáveis).

O organismo não consegue sintetizar os aminoácidos essenciais, por isso têm de ser obrigatoriamente inseridos na dieta.

### AAE e AANE em diferentes espécies e fases do ciclo de vida

Há dois aminoácidos que são precursores de outros: a metionina é precursora da cisteína e a Fenilalanina da tirosina. A cisteína e a tirosina são considerados aminoácidos semi - essenciais, porque não é necessário incluí-los na dieta, pois são sintetizados a partir de outros aminoácidos. Ou seja, os aminoácidos semi – essenciais são aqueles que são sintetizados a partir de aminoácidos essenciais.



Os aminoácidos podem variar (mas pouco) consoante a espécie. Nos mamíferos adultos há 2 aminoácidos que não são essenciais como nos jovens.

Taurina: aminoácido que os gatos não conseguem sintetizar e portanto é importante incluí-la na dieta. A taurina é importante na síntese de sais biliares.

Essential Amino Acids	
Adults and Young	Additional for Young
Isoleucine	Arginine
Leucine	Glycine (Chickens)
Lysine	Histidine
Methionine	
Phenylalanine	
Taurine (Cats)	
Threonine	
Tryptophan	
Valine	



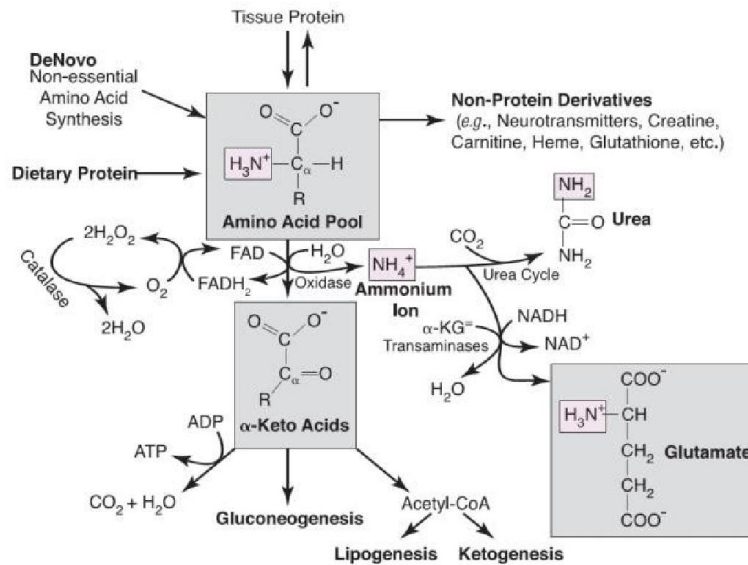
## “Pool” de aminoácidos e vias do metabolismo dos aminoácidos no animal

O “pool” de aminoácidos no organismo contém o conjunto de todos os aminoácidos presentes nos tecidos e no sangue e permite a:

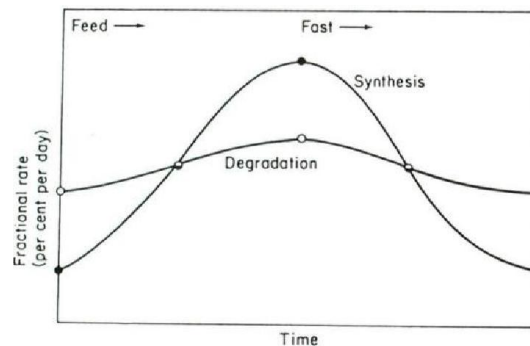
- Síntese de proteínas tecidulares;
- Síntese de todos os derivados proteicos.

As rações devem conter esse “pool” de aminoácidos para garantir todo o bom funcionamento do organismo.

### Turnover of the Amino Acid Pool in the Body



### Taxa de síntese e degradação proteica após a ingestão de alimento



Os aminoácidos são uma fonte importante de glucose e podem ser armazenados sob a forma de glicogénio e lípidos (nos tecidos adiposos).

Em termos de síntese e degradação das proteínas (turn-over) ocorrem continuamente no organismo e estão relacionados com a alimentação.

Um animal que se alimenta com muita proteína tem os processos de biossíntese maiores que o catabolismo (degradação) de proteínas.

## Taxa de síntese proteica

	TISSUE				
	SKELETAL	HEART	LIVER	KIDNEY	INTESTINE
Rat	15	12	59	32	78
Pig	17.4	7	69	20	67
Sheep	17		95		87
Cattle	2		32		53

O fígado e o intestino são os que têm maior síntese de proteína e o músculo esquelético menor.

No músculo esquelético, o porco é que tem maior síntese de proteína e o gado é que tem menor síntese.

No que diz respeito ao coração, o rato tem maior síntese proteica e o porco menor.

No fígado, a ovelha tem maior síntese de proteína e no gado menor.

Nos rins, o rato tem maior síntese de proteína e no porco menor.

No intestino, a ovelha tem maior síntese proteica e no gado menor.

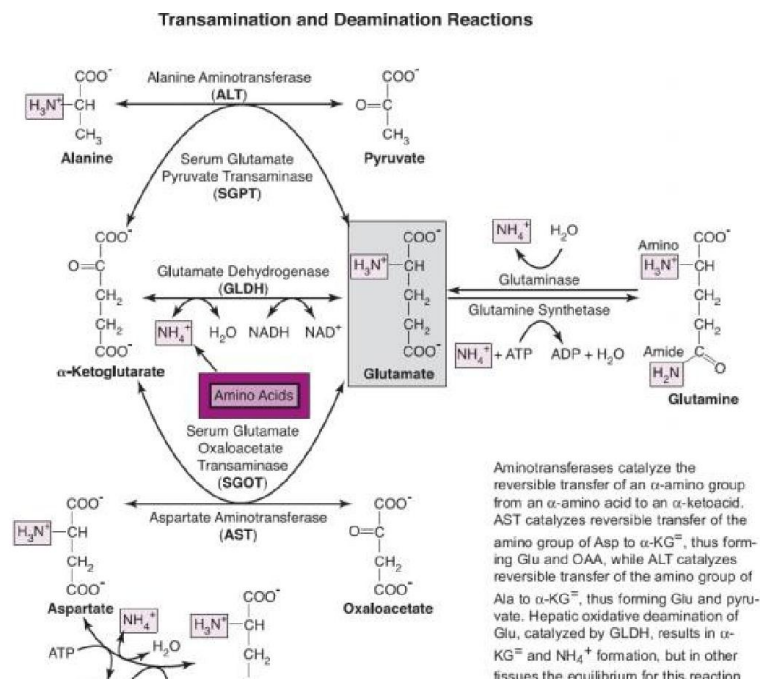
As taxas de síntese de órgãos menos ativos (fígado e intestino) apresentam uma maior velocidade, logo um turn-over mais rápido. No tecido esquelético (órgão menos ativo), o turn-over é mais lento.

## Transaminação e desaminação

Os aminoácidos para fornecerem energia para o ciclo de Krebs terão de ser desaminados.

O produto final da desaminação nos mamíferos é a ureia e nas aves é o ácido úrico.

A transaminação permite a transição de um grupo aminado de um aminoácido para outro aminoácido.



Piruvato: intermediário do ciclo de Krebs

Glutamato: aminoácido

A maior parte das reações de transaminação têm como ponto final a produção de glutamato.

O glutamato pode ser desaminado dando origem à amônia livre e ou cetoácido ou pode ser usado para a síntese de glutamina.

Destino da amônia:

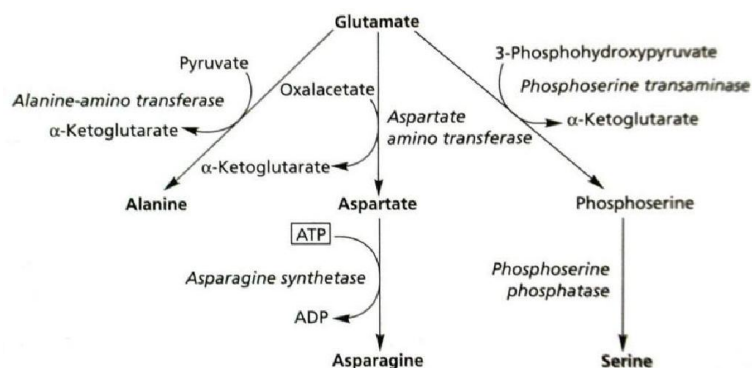
A amônia é tremendamente tóxica.

Nos peixes e crustáceos a amônia é libertada para a água a partir da urina e das brânquias.

Nos animais terrestres, para se dissolver a amônia para esta não ser tóxica era necessário 60 mL de água.

Em substituto da amônia, os animais terrestres usam a ureia (no caso dos mamíferos) e o ácido úrico (no caso das aves).

### Síntese e inter-conversão de aminoácidos

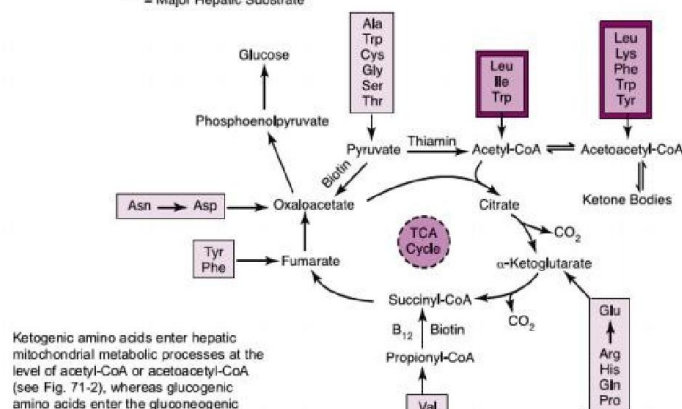


### Locais de entrada dos aminoácidos no ciclo de Krebs

#### Glucogenic and Ketogenic Amino Acids

Strictly Glucogenic	Strictly Ketogenic	Glucogenic and Ketogenic
***Ala Arg Asn Asp Cys Gln Glu	*Leu Lys	*Ile Phe Trp Tyr
Gly His Met Pro Ser Thr Val		

\* = Minor Hepatic Degradation  
\*\* = Major Renal Substrate  
\*\*\* = Major Hepatic Substrate



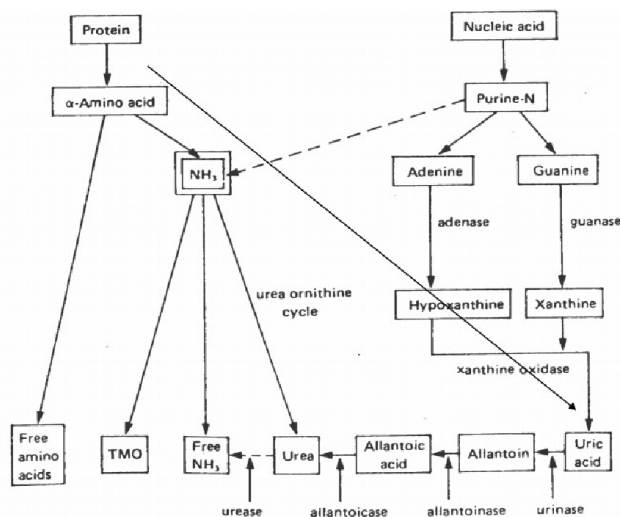
Ketogenic amino acids enter hepatic mitochondrial metabolic processes at the level of acetyl-CoA or acetoacetyl-CoA (see Fig. 71-2), whereas glucogenic amino acids enter the gluconeogenic

## Precusores de aminoácidos não essenciais

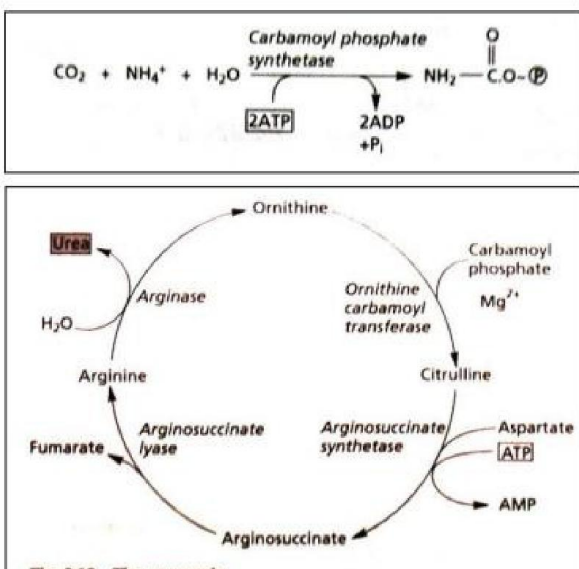
### Dispensable Amino Acids and Their Precursors

1. Glutamic (ketoglutarate +  $\text{NH}_4^+$ ) (amination)
2. Glutamine (glutamic +  $\text{NH}_4^+$ ) (amination)
3. Alanine (glutamic + pyruvate) (transamination)
4. Aspartic (glutamate + oxalacetate) (transamination)
5. Serine (3-phosphoglycerate + glutamate) (transamination)
6. Proline (glutamic -  $\text{H}_2\text{O}$ ) (dehydration)
7. Hydroxyproline (hydroxylation of proline)
8. Asparagine (aspartic +  $\text{NH}_4^+$ ) (amination)
9. Glycine ( $\text{CO}_2$  +  $\text{NH}_4^+$ )
10. Serine (from glycine and vice versa)
11. Arginine (from urea cycle)
12. Tyrosine (hydroxylation of phenylalanine)
13. Cysteine (methionine + serine)

## Produtos finais do catabolismo de compostos azotados



## Ciclo da ureia



1. Captação de uma amónia livre
2. Amónia livre mais  $\text{CO}_2$  vai permitir a obtenção de carbonilfosfato
3. O carbonilfosfato vai originar citrolina
4. A citrolina vai ser percussora com o aspartano e forma-se argina oxidato
5. Origina-se arginina

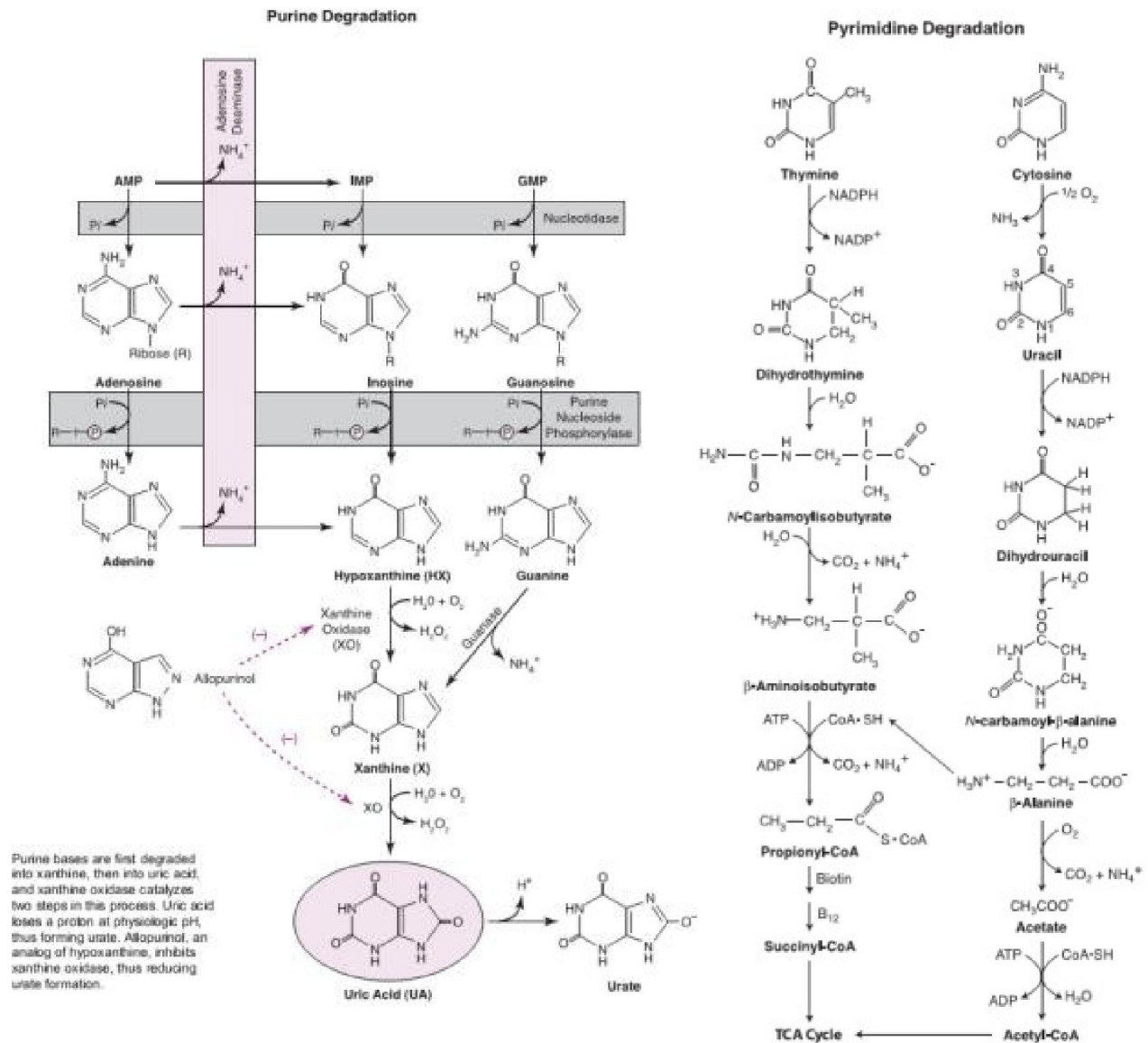
## Síntese de ácido úrico

A síntese do ácido úrico tem custos energéticos mais elevados.

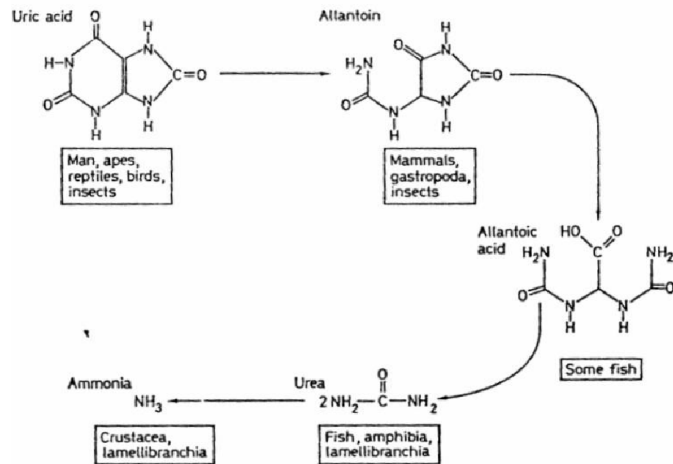
## Degradação das purinas e pirimidinas

No caso das purinas, o produto final é o ácido úrico (nas aves).

Da degradação das pirimidinas obtemos precursores do ciclo de Krebs.



Produtos finais do catabolismo das purinas em diferentes espécies



Ácido úrico: homem, macacos, répteis, aves e insetos.  
Alantoína: mamíferos e insetos.  
Ureia: peixes e anfíbios.  
Amónia: crustáceos

Partição do azoto urinário em aves

	Fed	Starved
Total nitrogen (mg/100 ml urine)	440	237
Percentage of the above appearing as:		
Uric acid	84.1	57.8
Ammonia	6.8	23.0
Urea	5.2	2.9
Creatinine	0.5	4.3
Amino acid	1.7	2.8
Undetermined	1.7	9.2

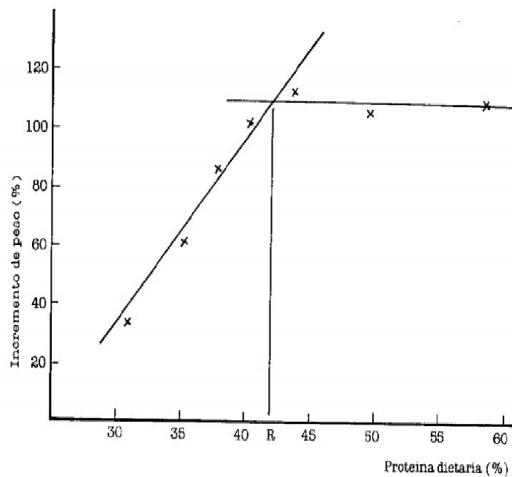
Um animal alimentado tem uma maior quantidade de azoto do que um animal não alimentado.  
O azoto aparece mais como ácido úrico e amónia.  
No animal alimentado aparece menos como creatinina e no animal não alimentado como aminoácido.

Aproveitamento energético das proteínas conforme o produto final de excreção azotada

Devido aos custos energéticos que há com a síntese dos produtos de excreção (zero no caso dos peixes) e com a energia perdida com a excreção, a quantidade de energia que se obtém para fins energéticos é maior nos mamíferos do que em aves.

	Peces	Mamíferos	Aves
Energía bruta (EB)	23,9	23,9	23,9
Pérdida por digestión (8%)	1,9	1,9	1,9
Energía digestible (ED)	22,0	22,0	22,0
Pérdida por excreción	3,0	3,6	5,5
Energía metabolizable (EM)	19,0	18,4	16,5
Aumentos calóricos (SDA)			
Síntesis productos excreción	0,0	2,1	1,8
Concentración y excreción	0,0	0,9	1,2
Metabolismo de la fracción no N	1,2	1,2	1,2
Total	1,2	4,2	4,2
Energía neta	17,8	14,2	12,3

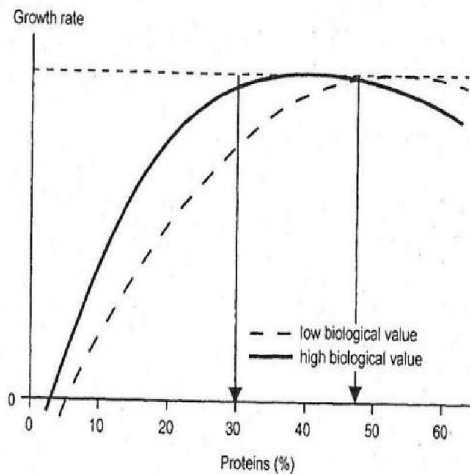
## Determinação das necessidades proteicas por dose-resposta



À medida que o teor de proteínas aumenta na dieta verifica-se um aumento do peso.

No entanto, a partir de um valor de proteína na dieta (entre 40 e 45 %), o aumento do peso mantém-se constante (aproximadamente 100%).

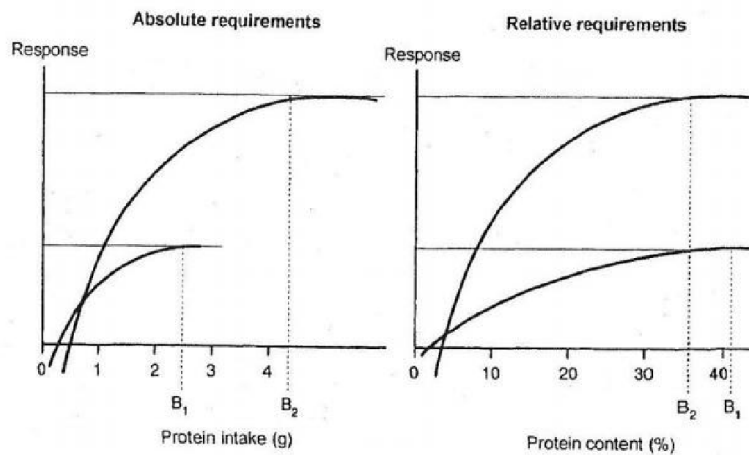
## Necessidades proteicas em função do valor biológico da proteína



Quando a proteína tem alto valor biológico é necessário uma menor percentagem de proteínas para ocorrer um determinado crescimento.

No entanto, quando o valor biológico das proteínas é baixo, é necessária uma maior percentagem de proteínas, para que esse mesmo crescimento ocorra.

## Necessidades proteicas absolutas e relativas





## Necessidades proteicas de várias espécies

Species	Dietary Protein (%)
Beef Cattle	7-18
Dairy Cattle	12-18
Sheep	9-15
Swine	12-13
Poultry	14-28

Species	Dietary Protein (%)
Asian Sea Bass	45
Atlantic Halibut	51
Atlantic salmon	55
Tilapias	30-40
Pacific salmonids	40-45
Carps	31-43
Eels	40-45
Sea Basses	45-50
Sea Breams	50-55
Freshwater Basses	35-47
Trouts	40-53
Flatfishes	50-51
Catfish	32-36

Os peixes têm mais necessidades proteicas do que os animais.

Dentro dos animais, as aves domésticas são as que têm mais necessidades proteicas, e as ovelhas as que têm menor.

## Necessidades proteicas para diferentes funções

Animal	Growth		Maintenance	Reproduction	Lactation
	Early	Late			
Beef cattle	15	9	6	6	9
Dairy cattle	16	10	8	9	12
Horse	19	11	10	15	13.5
Pig	22	14	14	14	15
Sheep	10	9	8.9	9.3	11.5
Chicken	20	16	—	15	—
Rabbit	16	—	12	15	17

Para que haja um crescimento rápido é necessário elevadas quantidades de proteínas, assim como para a reprodução.

## Necessidades proteicas e energéticas

Item	Cattle							
	Beef	Dairy	Horse	Pig	Sheep	Chicken	Rabbit	Rat
Protein, % of dry diet								
Maintenance	8.5	8.5	8.5	14	8.9	—	12	4.4
Growth	15-10	16	16	22	10.0	20	16	13.3
Reproduction	9	9	11	14	9.3	15	15	13.3
Lactation	9-11	12	14	15	11.5	—	17	13.3
Energy, Mcal/kg dry diet								
Maintenance	1.90	1.4	2.3	—	2.0	2.85	2.1	4.0
Growth	2.50	2.6	3.1	3.36	2.2	2.90	2.5	4.0
Reproduction	1.90	1.3	2.5	3.17	2.1	2.85	2.5	4.0
Lactation	2.00	2.6	2.8	3.17	2.4	—	2.5	4.0

O porco e as aves domésticas têm uma maior necessidade proteica.

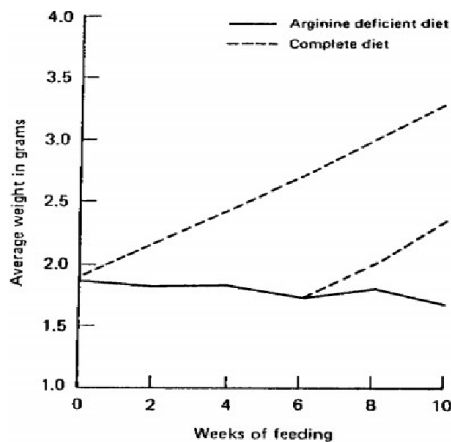
No entanto, os ratos têm uma maior necessidade energética

## Necessidades proteicas e energéticas por unidade de ganho de peso

Species	Air-dry feed/ wet gain ratio	Protein (g)		Energy (kcal)		kcal DE/ g protein
		Per kg diet	Per kg gain	Per kg diet	Per kg gain	
Rainbow trout	1.5	350	525	3000	4500	8.57
Catfish	1.8	300	480	3420	5472	11.40
Chicken (broiler)	2.5	200	500	2950	7400	14.75
Swine	4.0	160	640	3300	13200	20.62
Cattle						

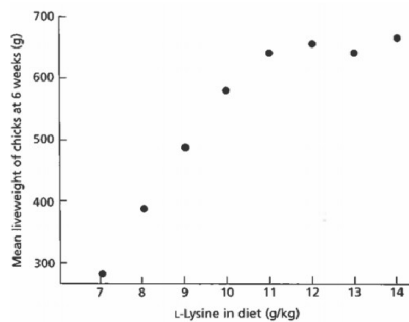


## Crescimento de animais com dietas deficientes em aminoácidos essenciais



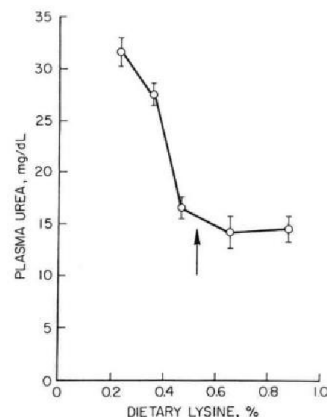
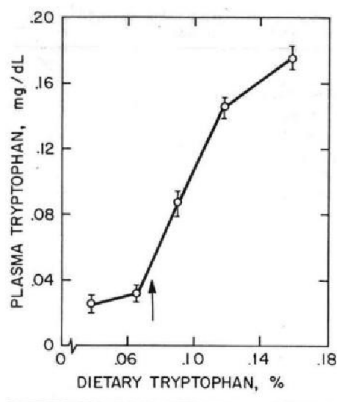
Uma dieta pobre em aminoácidos essenciais tem um crescimento muito menor do que uma dieta rica em aminoácidos essenciais.

## Determinação das necessidades de ácidos aminados por dose-resposta



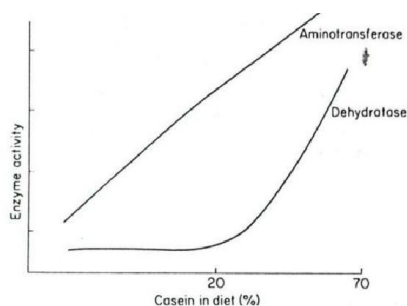
À medida que se aumenta o teor em aminoácidos (lisina), o peso aumenta.

## Níveis de metabolitos no plasma em função do teor de aminoácidos nas dietas



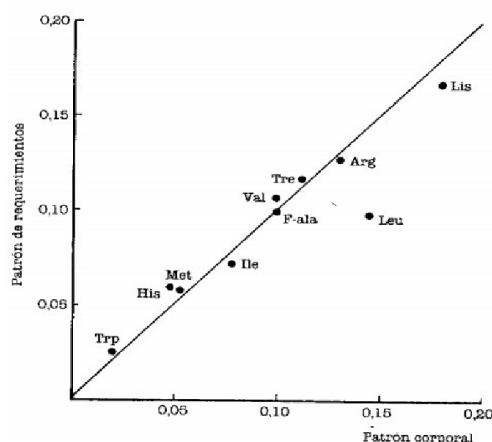
À medida que a percentagem de triptofano aumenta na dieta, a concentração de triptofano no plasma também aumenta. Quando a percentagem de lisina na dieta aumenta, a concentração de ureia no plasma diminui.

## Variação da atividade enzimática em função do teor proteico da dieta



Quando o teor em proteína aumenta, a atividade enzimática também aumenta.

## Relação entre perfil de aminoácidos essenciais e perfil de aminoácidos corporais



## Balço de aminoácidos essenciais em relação à lisina

	Growing pigs (10-120 kg)	Pregnant sows	Lactating sows
Lysine	1.00	1.00	1.00
Methionine	0.30	0.37	0.30
Methionine + cystine	0.59	0.65	0.55
Threonine	0.65	0.71	0.66
Tryptophan	0.19	0.20	0.18
Isoleucine	0.58	0.70	0.60
Leucine	1.00	1.00	1.12
Histidine	0.34	0.33	0.40
Phenylalanine	0.57	0.55	0.56
Phenylalanine + tyrosine	1.00	1.00	1.14
Valine	0.70	0.74	0.76

A lisina e a fenilalanina é o aminoácido essencial que existe em maior quantidade (igual quantidade) em porcos em crescimento, os restantes existem em menor quantidade. Em porcas grávidas são os anteriores e a leucina (em igual quantidade).

Em porcas em lactação, o aminoácido que existe em maior quantidade é a fenilalanina, depois a leucina e por fim a lisina.

## Necessidades de aminoácidos essenciais com base no conceito de proteína ideal

Essential amino acid	Ideal balance of essential amino acids relative to lysine	Standardised ileal digestible amino acid requirement (g/day)	Dietary amino acid requirement (g/day) <sup>a</sup>
Lysine	1.00	16.9	20.1
Methionine	0.30	5.1	6.1
Methionine + cystine	0.59	9.8	11.6
Threonine	0.65	11.0	13.1
Tryptophan	0.19	3.2	3.8
Isoleucine	0.58	9.8	11.7
Leucine	1.00	16.9	20.1
Histidine	0.34	5.7	6.8
Phenylalanine	0.57	9.6	11.4
Phenylalanine + tyrosine	1.00	19.9	23.7
Valine	0.70	11.8	14.0
Total essential amino acids		105.0	124.0

## Necessidade de aminoácidos essenciais para crescimento

	Percent of Diet Dry Matter					
Protein	15.3	40	20	18	16	28
Arginine	0.67	2.4	1.2	0.23	0.6	1.6
Histidine	0.33	0.7	0.4	0.20	0.3	0.55
Isoleucine	0.61	0.9	0.75	0.56	0.6	1.1
Leucine	0.83	1.6	1.4	0.68	1.1	1.9
Lysine	1.0	2.0	1.1	0.79	0.65	1.5
Methionine <sup>a</sup>	0.67	0.5	0.75	0.56	0.6	0.87
Phenylalanine <sup>b</sup>	0.89	2.1	1.3	0.56	1.1	1.8
Threonine	0.56	0.9	0.7	0.51	0.6	1.0
Tryptophan	0.17	0.2	0.2	0.15	0.2	0.26
Valine	0.67	1.3	0.85	0.56	0.7	1.2

	Percent of Dietary Protein					
Arginine	1.0	6.0	6.1	1.5	3.8	5.7
Histidine	2.1	1.8	1.7	1.5	1.9	1.9
Isoleucine	3.9	2.2	4.4	4.6	3.8	3.9
Leucine	4.5	3.9	6.7	4.6	6.9	6.8
Lysine	5.4	5.0	6.1	4.7	4.1	5.4
Methionine	3.0	4.0	4.4	3.0	3.8	3.1
Phenylalanine	5.3	5.1	7.2	3.6	6.9	6.4
Threonine	3.1	2.2	3.3	3.0	3.8	3.6
Tryptophan	1.0	0.5	1.1	0.8	1.2	0.9
Valine	3.1	3.2	4.4	3.1	4.4	4.3

<sup>a</sup>Cystine can meet at least 50 percent of the methionine requirement.

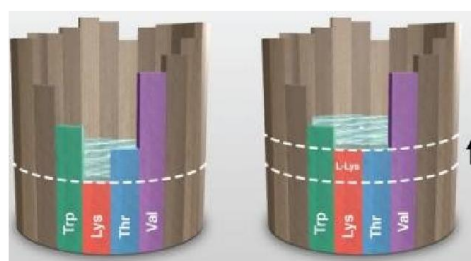
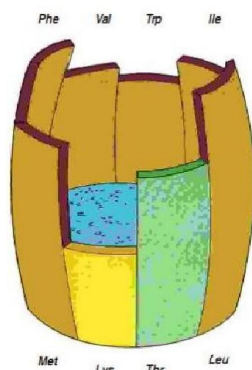
<sup>b</sup>Tyrosine can meet 30 percent of the requirement.

Os principais aminoácidos essenciais para o crescimento são a Lisina, Arginina, Leucina e a Fenilalanina.

## Efeito de aminoácidos essenciais limitantes na síntese proteica.

Os aminoácidos essenciais são aqueles que não podem ser sintetizados pelos animais. São eles: arginina, fenilalanina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, treonina, triptofano, histidina e valina.

No entanto, há aminoácidos essenciais, como a lisina, que tem a capacidade de captar água para o meio intracelular, o que estimula assim a síntese proteica.



## Perfil de aminoácidos essenciais de matérias-primas e aminoácidos limitantes

O glúten de milho e o glúten de trigo têm como primeiro aminoácido limitante a lisina e em segundo a arginina.

A farinha de sésamo, a farinha de girassol, a farinha de algodão e a farinha de vísceras de aves têm como aminoácido limitante a lisina.

As ervilhas, os tremoços, a levedura de cerveja e a farinha de carne e osso têm como aminoácido limitante M+C.

Ácidos aminos essenciais (% proteína)

	CP	LYS	THR	M+C	TRP	ILE	VAL	LEU	P+T	HIS	ARG	limiting AA	
Fish EAA Requirements												1st	2nd
Average values	4,6	2,5	2,7	0,6	2,3	2,9	3,2	4,8	1,6	4,1			
Fish meal	65,5	7,4	4,2	3,6	1,1	4,3	5,1	7,3	7,0	3,0	5,8		
Corn gluten	60,4	1,7	3,4	4,0	0,5	4,2	4,5	16,5	11,2	2,2	3,0	LYS	ARG
Wheat gluten	81,0	1,6	2,4	3,2	0,9	3,4	3,5	6,3	7,7	2,2	3,5	LYS	ARG
Soybean concentrate	65,4	6,6	4,3	3,3	1,2	5,1	5,1	7,9	8,6	2,7	7,9		
Potato protein concentrate	78,7	7,8	5,6	4,0	0,9	5,7	6,3	9,7	12,1	2,8	5,1		
Soybean meal	47,1	6,1	3,8	2,8	1,2	4,7	4,7	7,4	8,3	2,7	7,5		
Rapeseed meal	35,2	5,1	4,3	4,5	1,7	4,1	5,1	6,7	6,5	2,5	5,8		
Sesame meal	40,5	2,6	3,6	4,8		4,0	4,8	6,7	7,6	2,4	12,0	LYS	
Sunflower meal	33,4	3,6	3,6	4,0	1,3	4,2	4,9	6,1	6,7	2,6	8,4	LYS	
Cottonseed meal	40,4	3,0	3,0	2,7	1,2	3,2	4,4	5,7	7,9	2,8	10,3	LYS	
Pea	22,4	7,2	3,7	2,2	0,9	4,2	4,6	6,9	7,5	2,5	8,5	M+C	
Lupin	31,1	4,8	3,4	2,2	0,7	4,6	4,2	7,3	7,6	3,7	10,5	M+C	
Yeast, brewers	47,4	6,8	4,2	2,0	1,1	4,4	4,5	6,1	6,0	2,0	4,1	M+C	
Meat and bone meal	51,1	4,9	3,0	2,3	0,6	2,8	4,3	5,8	5,4	2,0	6,7	M+C	
Poultry offal meal	57,0	4,2	4,1	4,2	0,8	4,2	5,9	7,4	7,1	2,1	6,5	LYS	

## Índice Químico (IQ) e aminoácidos limitantes de diferentes proteínas

$$IQ = \% AAE \text{ na dieta} \times 100 / \% AAE \text{ na proteína de referência}$$

Limiting Amino Acids and Chemical Score of Essential Amino Acid Content of Selected Feed Proteins 1/

Feedstuff	Arg	His	Iso	Leu	Lys	Met + Cys	Phe	Thr	Try	Val
Fish meal (Peru)	85	85	66	88	110	71	78	74	58	61
Meat meal	77	96	28*	100	86	36*	72	60	68	75
Milk, skimmed	53*	92	88	110	104	69	91	80	73	75
Milk, whole	60	100	100	136	106	83	92	83	84	78
Groundnut oil cake	164	92	43*	72	53*	24*	91	51*	- *	45*
Coconut oil cake	164	78	43*	71	37*	34*	76	54*	- *	57
Soybean meal	110	89	66	92	90	54*	102	69	68	63
Palm kernel cake	207	92	54*	75	54*	83	66	64	147	69
Cottonseed cake	164	96	46*	69	60	51*	100	58	58	55
Sunflower oil cake	112	59	46*	62	32*	22*	61	47*	79	46*
Sesame oil cake	191	107	51*	88	42*	94	79	58	73	60
Mung bean	100	78	66	84	107	31*	109	62	-	62
Red bean	112	130	77	49*	128	27*	107	83	42*	72
<i>Chlorella vulgaris</i>	77	55	64	90	44*	47*	92	100	68	72
<i>Spirulina maxima</i>	97	66	86	94	67	33*	92	83	73	79
<i>Scenedesmus obliquus</i>	83	55	63	109	84	40*	85	94	73	88
Torula yeast	77	81	68	94	111	51*	81	91	63	66
Brewer's spent grains	68	66	77	97	48*	22*	87	58	68	66

Source: ADCP, 1985

1/ Scores based on comparison with whole egg protein of the following amino acid composition (percentage of protein): arginine, 6.7; cystine, 2.2; histidine, 2.7; isoleucine, 7.0; leucine, 8.5; lysine, 6.8; methionine, 3.3; phenylalanine, 5.4; threonine, 5.5; tryptophan, 1.9; and valine, 8.2.

\* Seriously limiting amino acids

## Índice químico e primeiro aminoácido essencial limitante

Feedstuff	Reference	Chemical score*	First limiting amino acid
Chick pea	Kay (1979)	63	Methionine
Mung bean	Kay (1979)	54	Methionine
Cow pea	Kay (1979)	65	Methionine
Yellow lupin	Gohl (1980)	20	Methionine
Lima bean	Gohl (1980)	57	Methionine
Broad bean	Bolton and Blair (1977)	30	Methionine
Haricot bean	Kay (1979)	43	Methionine
Safflower	Gohl (1980)	43	Lysine
Crambe	Gohl (1980)	66	Lysine
Palm kernel	Gohl (1980)	41	Lysine
Cottonseed	Gohl (1980)	52	Met. and Lys.
Sunflower	Gohl (1980)	42	Lysine
Linseed	Gohl (1980)	43	Lysine
Sesame	Gohl (1980)	33	Lysine
Coconut	NRC (1983)	37	Lysine
Groundnut	NRC (1983)	39	Methionine
Rapeseed	NRC (1983)	74	Lysine
Soybean	NRC (1983)	46	Methionine
Potato protein concentrate	Tacon et al. (1983b)	63	Methionine
Leaf protein concentrate	Cowey et al. (1971)	57	Methionine
<i>Spirulina maxima</i>	Gohl (1980)	52	Methionine
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	NRC (1983)	63	Methionine
<i>Methylophilus methylotrophus</i>	Unpublished data	71	Lysine
Whole hen's egg	Cowey and Sargent (1972)	77	Threonine
Fish muscle	Connell and Howgate (1959)	83	Threonine
Fish meal (herring)	NRC (1983)	76	Threonine
Fish meal (white)	NRC (1983)	81	Threonine
Fish protein concentrate	Gohl (1980)	83	Threonine
Fish silage	Jackson et al. (1984a)	59	Tryptophan
Whole shrimp meal	Gohl (1980)	73	Histidine
Meat and bone meal	NRC (1983)	59	Methionine
Blood meal	NRC (1983)	24	Isoleucine
Liver meal	Gohl (1980)	71	Lysine
Poultry byproduct meal	NRC (1983)	71	Lysine
Hydrolysed feather meal	NRC (1983)	33	Lysine
Worm meal	Tacon et al. (1983b)	79	Lysine
House fly larvae	Spinelletti (1980)	72	Methionine

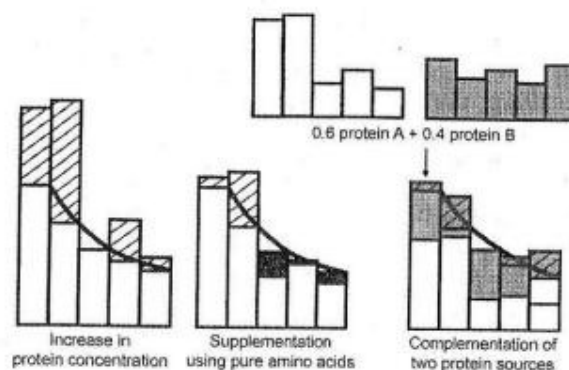
## Aminoácidos essenciais de diferentes matérias-primas e aminoácidos essenciais limitantes

Acidos aminados essenciais (% ingrediente)

	CP	LYS	THR	M+C	TRP	ILE	VAL	LEU	P+T	HIS	ARG
<b>Fish EAA Requirements</b>											
<b>Average values</b>	<b>50,0</b>	<b>2,3</b>	<b>1,3</b>	<b>1,4</b>	<b>0,3</b>	<b>1,2</b>	<b>1,5</b>	<b>1,6</b>	<b>2,4</b>	<b>0,8</b>	<b>2,1</b>
Fish meal	65,5	4,8	2,8	2,4	0,7	2,8	3,3	4,8	4,6	2,0	3,8
Corn gluten	60,4	1,0	2,1	2,4	0,3	2,5	2,7	10,0	6,8	1,3	1,8
Wheat gluten	81	1,3	1,9	2,6	0,7	2,8	2,8	5,1	6,2	1,8	2,8
Soybean concentrate	65,4	4,3	2,8	2,2	0,8	3,3	3,3	5,2	5,6	1,8	5,2
Potato protein concentrate	78,7	6,1	4,4	3,1	0,7	4,5	5,0	7,6	9,5	2,2	4,0
Soybean meal	47,1	2,9	1,8	1,3	0,6	2,2	2,2	3,5	3,9	1,3	3,5
Rapeseed meal	35,2	1,8	1,5	1,6	0,4	1,4	1,8	2,4	2,3	0,9	2,0
Sesame meal	40,5	1,1	1,5	1,9	0,0	1,6	1,9	2,7	3,1	1,0	4,9
Sunflower meal	33,4	1,2	1,2	1,3	0,4	1,4	1,6	2,0	2,2	0,9	2,8
Cottonseed meal	40,4	1,6	1,2	1,1	0,5	1,3	1,8	2,3	3,2	1,1	4,2
Pea	21,4	1,5	0,8	0,5	0,2	0,9	1,0	1,5	1,6	0,5	1,8
Lupin	31,1	1,5	1,1	0,7	0,2	1,4	1,3	2,3	2,4	0,8	3,3
Yeast, brewers	47,4	3,2	2,0	0,9	0,5	2,1	2,1	2,9	2,8	0,9	1,9
Meat and bone meal	51,1	2,5	1,5	1,2	0,3	1,4	2,2	3,0	2,8	1,0	3,4

## Alternativas para suprimir as necessidades de aminoácidos essenciais numa dieta

Os três métodos de satisfazer os requisitos de um animal, utilizando uma proteína com baixo valor biológico: aumento da concentração de proteínas, suplementação utilizando aminoácidos puros ou complementação de duas proteínas. A curva em forma de hipérbole corresponde aos requisitos para 5 aminoácidos essenciais (incluído apenas neste exemplo teórico). A primeira fonte de proteína (de branco) é deficiente em aminoácidos essenciais, 3 e 5. Aminoácidos essenciais em excesso são chocados. A entrada de aminoácidos essenciais na sua forma pura está indicada a preto e as de uma segunda proteína com um perfil muito diferente, em cinzento.



## Utilização de d-aminoácidos

Metionina	Quase equivalente ao L- isômero
Fenilalanina	
Leucina	
Prolina	
Valina	Metade da potência, como L-isômero
Triptofano	Pouco valor nutritivo
Histidina	
Aloisoleucina	
Lisina	Nenhum valor nutricional
Treonina	
Arginina	

## Desequilíbrio entre aminoácidos essenciais

Supplements		Weight gain (g per 5 weeks)	
L-lysine.HCl	DL-threonine		
-	-	57	
0.1	-	78	
0.1	0.1	112	Inclusão de AAE limitantes
0.1	0.2	138	
0.1	0.3	114	desequilíbrio
0.2	0.3	151	Inclusão de AAE limitantes

Desequilíbrio entre AAE: alteração nas proporções de AA que deprimem a ingestão de alimento e o crescimento  
Pode ser solucionada pelo aumento da incorporação na dieta do AA limitante

## Antagonismos entre aminoácidos essenciais

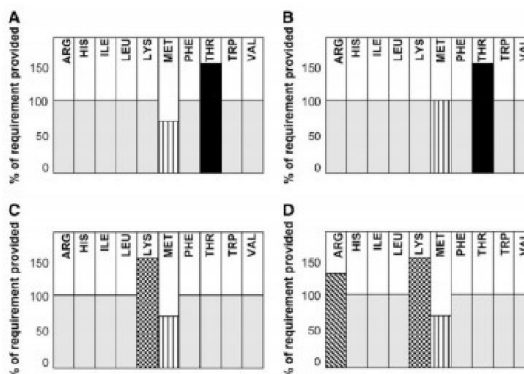
Casein (%)	L-leucine (%)	Amino acid supplements	Weight gain (g in 2 weeks)
9	-	-	33
9	3.0	-	9
9	-	0.9% DL-threonine	44
9	3.0	0.9% DL-threonine	8
9	-	0.5% DL-isoleucine	31
9	3.0	0.5% DL-isoleucine	23
9	3.0	0.5% DL-isoleucine + 1.2% DL-valine	30

Antagonismo de AA: depressão de crescimento provocada pela ingestão em excesso de um AA  
pode ser compensada pela adição de outro AA estruturalmente semelhante



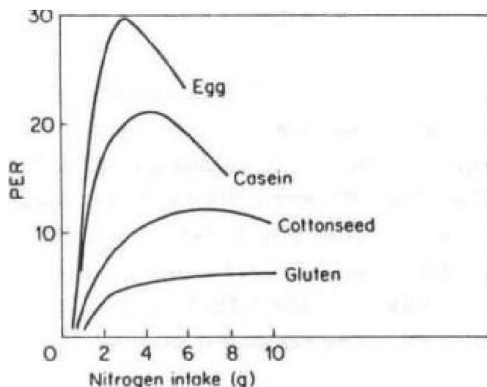
## Desequilíbrio de aminoácidos vs. Antagonismo de aminoácidos

Uma dieta com metionina como seu aminoácido limitante e quantidades excessivas de treonina criam um desequilíbrio de aminoácidos (A). Os efeitos do desequilíbrio de aminoácidos de A são aliviados através da adição do aminoácido limitante, a metionina, à dieta (B). Adição de lisina a uma dieta que é limitante em metionina, também tem um efeito adverso sobre o ganho de peso devido a um efeito sobre o metabolismo da arginina, que é um aminoácido de antagonismo. Adicionando metionina a esta dieta vai aliviar a limitação de metionina na síntese de proteínas, mas não vai neutralizar o antagonismo induzido pela ingestão excessiva de lisina (C). Os efeitos do antagonismo de aminoácidos em C podem ser aliviados por adição de arginina, o aminoácido que foi antagonizado pela lisina, à dieta, embora a metionina ainda seja o aminoácido limitante (D).



## Coeficiente de eficácia proteica (CEP)

$$\text{CEP} = \frac{\text{ganho de peso corporal (g)}}{\text{proteína consumida (g)}}$$



Relação entre coeficiente de eficácia proteica e nitrogénio ingerido. O crescimento dos ratos foi medido desde o desmame durante 4 semanas, foram sendo alimentados com diferentes quantidades de proteínas numa dieta purificada.

## Valor biológico (VB)

$$\text{BV} = \text{N retido} / \text{N digerido}$$



$$\text{BV} = \frac{[\text{N Ingerido} - (\text{N Fecal} - \text{N Fecal end}) - (\text{N Urinário} - \text{N Urinário end})]}{[\text{N Ingerido} - (\text{N Fecal} - \text{N Fecal end})]}$$

$$\text{BVa} = \frac{(\text{N Ingerido} - \text{N Fecal} - \text{N Urinário})}{(\text{N Ingerido} - \text{N Fecal})}$$

Ou:

$$\text{BV} = \frac{(\text{N corporal com proteína teste} - \text{N corporal com dieta não proteica})}{[\text{N Ingerido} - (\text{N Fecal} - \text{N Fecal end})]}$$

$$\text{BVa} = \frac{(\text{N corporal final} - \text{N corporal inicial})}{(\text{N Ingerido} - \text{N Fecal})}$$

end = endógeno

Exemplo:

**Table 13.4** Calculation of biological value for maintenance and growth of the rat

Food consumed daily (g)	6.0
Nitrogen in food (g/kg)	10.43
Daily nitrogen intake (mg)	62.6
Total nitrogen excreted daily in urine (mg)	32.8
Endogenous nitrogen excreted daily in urine (mg)	22.0
Total nitrogen excreted daily in faeces (mg)	20.9
Metabolic faecal nitrogen excreted daily (mg)	10.7

$$BV = \frac{62.6 - (20.9 - 10.7) - (32.8 - 22.0)}{62.6 - (20.9 - 10.7)}$$

$$= 0.79$$

### Valor biológico das proteínas para manutenção e crescimento

**Table 13.5** Biological values of the protein in various foods for maintenance and growth for the growing pig

Food	BV
Milk	0.95-0.97
Fish meal	0.74-0.89
Soya bean meal	0.63-0.76
Cotton seed meal	0.63
Linseed meal	0.61
Maize	0.49-0.61
Barley	0.57-0.71
Peas	0.62-0.65

**TABLE 15.12.** The Biological Value of Proteins for Growing Rats, Mature Rats, and Mature Humans

Protein	Growing rats	Mature rats	Mature humans
Egg albumin	97	94	91
Beef muscle	76	69	67
Wheat gluten	40	66	42
Casein	69	51	56
Peanut flour	54	46	56

O leite, a farinha de peixe e a farinha de soja são os alimentos com maior valor biológico para a manutenção e crescimento dos porcos.

A albumina do ovo e a carne são os alimentos com maior valor biológico para a manutenção e crescimento de ratos e humanos.

### Coeficiente de utilização proteica (CUP)

$$CUP = N \text{ retido} / N \text{ ingerido} = \text{Retenção proteica} / \text{azotada}$$

$$CUP = (N \text{ corporal com proteína teste} - N \text{ corporal com dieta não proteica}) / [N \text{ Ingerido} - (N \text{ Fecal} - N \text{ Fecal end})]$$

$$CUPa = (N \text{ corporal final} - N \text{ corporal inicial}) / N \text{ Ingerido}$$

Ou:

$$CUP = [N \text{ Ingerido} - (N \text{ Fecal} - N \text{ Fecal end}) - (N \text{ Urinário} - N \text{ Urinário end})] / N \text{ Ingerido}$$

$$CUPa = (N \text{ Ingerido} - N \text{ Fecal} - N \text{ Urinário}) / N \text{ Ingerido}$$

$$\text{Nota: } VBa = CUPa / CUDa$$



## CPU de proteínas animais e vegetais

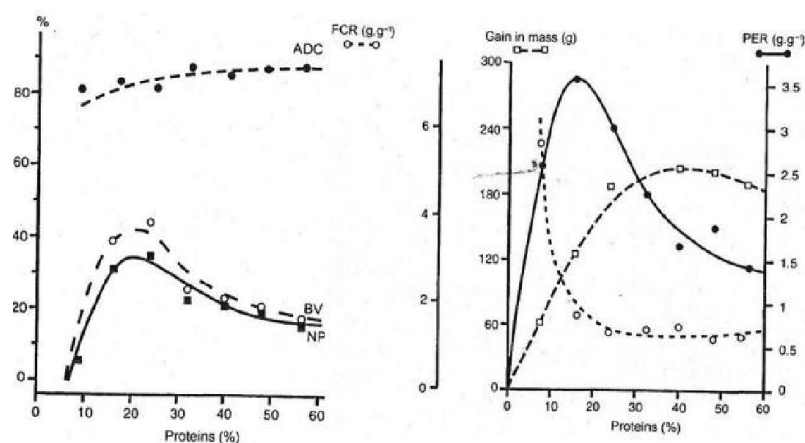
As proteínas animais têm maior CPU que as proteínas vegetais. Dentro das animais, o ovo, o bacalhau e a albumina do ovo são os que têm maior valor de CPU. Nos vegetais é a semente de trigo.

NPU	
<b>Animal protein sources</b>	
Whole egg	91.0
Fish (cod)	83.0
Egg albumin	82.5
Whey, dried	82.0
Milk, dried	75.0
Beef muscle	71.5
Beef heart	66.6
Beef liver	65.0
Casein	60.0
Meat meal	35.5-48.3 <sup>b</sup>
Fish meal	44.5-54.6 <sup>b</sup>
Feather meal	21.2-35.6 <sup>b</sup>
Hair meal	11.4-33.4 <sup>b</sup>
Blood	3.8
Blood + .8% isoleucine	30.5
Gelatin	2.0
<b>Plant protein sources</b>	
Wheat germ	67.0
Cottonseed meal	58.8
Soybean meal	56.0
Linseed meal	55.8
Bran	55.3
Corn (maize)	55.0
Peanut meal	42.8
Dried yeast	42.3
Seaweed	42.0
Wheat gluten	37.0
Rice gluten	36.0

<sup>a</sup>From Miller and Bender (41) with rats.

<sup>b</sup>From Johnston and Coon (42) with chicks.

## Influência do teor proteico na performance e em vários índices de utilização proteica



FCR – fator de conversão alimentar; NPV- valor da proteína líquida; BV – valor biológico; PER – coeficiente de eficácia proteica; ADC - coeficiente de digestibilidade aparente; Ganho de massa.

O coeficiente de digestibilidade aparente tem sempre um valor elevada para qualquer que seja a percentagem de proteínas. O valor biológico e o valor de proteína líquida assumem valor máximo para um teor de 20% de proteína, e depois o seu valor decresce à medida que a percentagem de proteína aumenta. Há um aumento do ganho de massa até 40% de proteína, mas depois deste valor há uma diminuição. O coeficiente de eficácia proteica atinge valor máximo a 15% de proteína e depois sofre uma diminuição. O fator de conversão alimentar diminui até 20% de proteína e depois mantém-se constante.

## Energética Nutricional

Todos os nutrientes orgânicos fornecem energia. Os animais podem obter energia por proteínas, hidratos de carbono e lípidos. É necessário perceber como é que a energia é utilizada e perdida pelo animal.

### Terminologia

Pelo sistema internacional (S.I), a energia define-se como a capacidade de produzir trabalho. O Trabalho define-se como o produto de uma dada força agindo durante uma certa distância. Mede-se em *Joules*.

1 Joule =  $10^7$  ergs (1 erg é a quantidade de energia necessária para acelerar uma massa de 1 g por 1 cm/segundo).

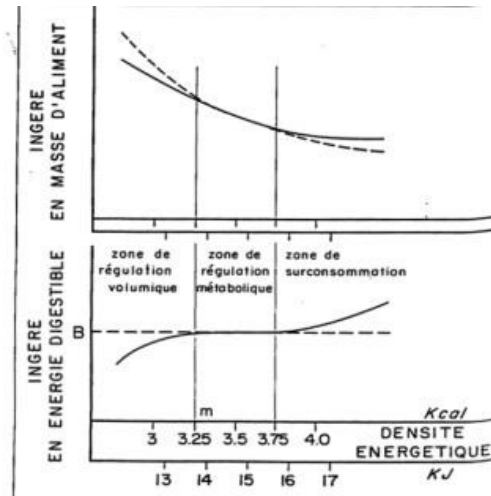
Uma caloria é a quantidade de calor necessária para elevar a temperatura de 1g de água de 14,5 °C para 15,5 °C.

$$1 \text{ cal} = 4,184 \text{ J}$$

### Regulação da ingestão em função da concentração do alimento em energia

Em condições normais, um animal alimenta-se para satisfazer as suas necessidades nutricionais. Se soubermos que um animal consome determinada quantidade de energia, temos de fornecer determinada quantidade de alimento (nutrientes) para satisfazer as suas necessidades.

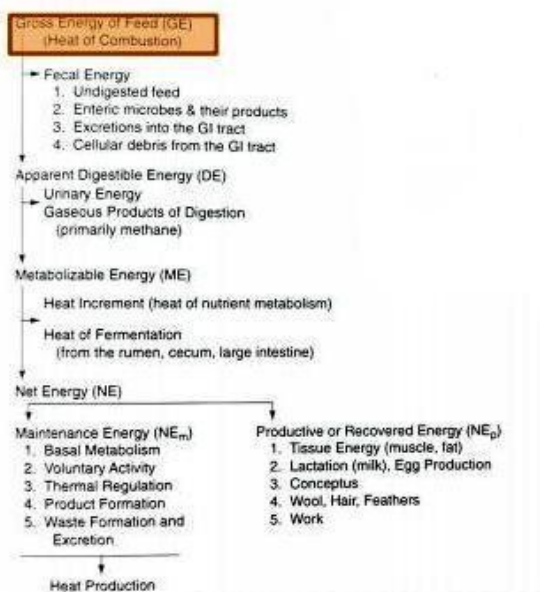
O animal come para satisfazer as suas necessidades energéticas, mas o animal tem um limite de ingestão de alimento, porque se o alimento tem baixa quantidade de energia, o animal chega a um ponto que não consegue comer mais e não satisfaz as suas necessidades energéticas. Por outro lado, o contrário também acontece, a que chamamos de hiperfagia, em que o animal consome mais energia do que aquela que necessita, porque os alimentos têm elevada densidade energética.



### Efeito da diminuição do teor energético da dieta no consumo de ração e energia e na composição corporal

	Diet no.				
	1	2	3	4	5
Energy content of diet					
Productive energy (MJ/kg)	8.95	7.91	6.82	5.73	4.64
Metabolisable energy (MJ/kg)	13.18	11.59	10.21	8.91	7.45
Metabolisable energy (percentage of diet no. 1)	100	88	78	68	57
Performance of chicks to 11 weeks of age (percentage of result for diet no. 1)					
Total food intake	100	101	113	117	125
Total metabolisable energy intake	100	90	88	80	71
Liveweight gain	100	99	102	98	98
Fat content of carcass at 11 weeks of					

## Esquema de partição da utilização da energia das dietas



## Energia bruta dos alimentos

A energia bruta é determinada pelo calor de combustão num calorímetro, e depende da origem dos nutrientes.

Valor energético dos nutrientes e matérias-primas:

Carboidratos	4,15 kcal/g	17,2 kJ/g
Proteínas	5,65	23,6
Lípidos	9,45	39,5

→ os lípidos têm o dobro

TABLE 10.1 Gross Energy (E) values (dry basis) of various tissues, metabolites, or feedstuffs.

ITEM	GE, KCAL/G		
<b>Carbohydrates</b>			
Glucose	3.74		
Sucrose	3.94		
Starch	4.18		
Cellulose	4.18		
Glycerol	4.31		
<b>Fats, fatty acids</b>			
Average fat	9.45		
Butterfat	9.10		
Beef fat	9.40		
Corn oil	9.40		
Coconut oil	8.90		
Acetic acid	3.49		
Propionic acid	4.96		
Butyric acid	5.95		
Palmitic acid	9.35		
Stearic acid	9.53		
Oleic acid	9.50		
<b>Nitrogenous compounds</b>			
Average protein source	5.65		
Beef muscle	5.30		
Casein	5.90		
Egg albumin	5.70		
Gluten	6.00		
Alanine	4.35		
Glycine	3.11		
Tyrosine	5.91		
Urea	2.52		
Uric acid	7.74		
<b>Ethyl alcohol</b>	7.11		
<b>Methane</b>	13.3		
<b>Feeds</b>			
Corn grain	4.40		
Wheat bran	4.50		
Grass hay	4.50		
Oat straw	4.50		
Soybean meal	5.50		
Linseed meal	5.10		

O valor energético das gorduras depende do tamanho da cadeia e do grau de saturação das gorduras. O valor energético das matérias-primas é influenciado consoante tem mais ou menos gordura, ou consoante se tem níveis elevados de cinzas.

Exemplo: a soja comparativamente com o milho tem mais gordura, e portanto mais valor energético.

## Energia digestível aparente

A energia bruta não dá muitas informações sobre a capacidade do animal usar o alimento. Por exemplo, o amido é digerido totalmente, mas a celulose não é digerida totalmente. Portanto, os alimentos têm de ser ingeridos, digeridos e absorvidos.

A energia disponível para o animal depende da digestibilidade do alimento. A energia absorvida não é toda útil para o animal, alguma energia é perdida:

- Sob a forma de compostos químicos
- Por via urinária, sob a forma de azoto (tem valor energético que não é útil para o animal)
- Produtos gasosos da digestão, como o metano nos ruminantes (7-9%), nos monogástricos não são contabilizados (0-3%)

## Energia Metabolizável

Se subtrairmos as perdas energéticas, obtemos a energia metabolizável, ou seja, a energia fisiologicamente utilizável.

Valor da energia metabolizável de alguns alimentos:

Animal	Food	Gross energy	Energy lost in			ME
			Faeces	Urine	Methane	
Fowl	Maize	18.4	2.2		–	16.2
	Wheat	18.1	2.8		–	15.3
	Barley	18.2	4.9		–	13.3
Pig	Maize	18.9	1.6	0.4	–	16.9
	Oats	19.4	5.5	0.6	–	13.3
	Barley	17.5	2.8	0.5	–	14.2
	Coconut cake meal	19.0	6.4	2.6	–	10.0
Sheep	Barley	18.5	3.0	0.6	2.0	12.9
	Dried ryegrass (young)	19.5	3.4	1.5	1.6	13.0
	Dried ryegrass (mature)	19.0	7.1	0.6	1.4	9.9
	Grass hay (young)	18.0	5.4	0.9	1.5	10.2
	Grass hay (mature)	17.9	7.6	0.5	1.4	8.4
Cattle	Grass silage	19.0	5.0	0.9	1.5	11.6
	Maize	18.9	2.8	0.8	1.3	14.0
	Barley	18.3	4.1	0.8	1.1	12.3
	Wheat bran	19.0	6.0	1.0	1.4	10.6
	Lucerne hay	18.3	8.2	1.0	1.3	7.8

As perdas energéticas são mais significativas nos ruminantes do que nos monogástricos.

Fórmulas para estimar o valor da energia metabolizável:

### **Perdas de Energia nos Gases de Fermentação**

Suínos: 0,1 – 3 % ED (NRC, 1998)

Ruminantes: manutenção: 7-9 % EB  
acima manutenção: 6-7 % EB

### **Energia Metabolizável**

Ruminantes:  $EM = 0,82 \times ED$

Suínos:  $EM = 0,96 \times ED - (0,202 \times \% CP)$  **NRC, 1988**

$EM = ED \times (1,012 - (0,0019 \times \% CP))$  **NRC, 1998**

$EM = ED \times (0,998 - (0,002 \times \% CP))$

$EM = ED \times (1,003 - (0,0021 \times \% CP))$

### **UK system**

Ruminants:

$ME (MJ/kg DM) = (0,014 NCDG) + (0,025 AEE)$

Horses:

$DE (MJ/kg) = 17,02 - (0,023 ADF)$

Pigs:

$DE (MJ/kg DM) = 17,47 + (0,0079 CP) + (0,0158 AEE)$   
 $- (0,0331 Ash) - (0,0140 NDF)$

Poultry:

where CP: AEE, Ash, ST and S indicate crude protein, acid ether extract, ash, starch and total sugars, respectively, and NCDG indicates neutral cellulose plus gannase digestibility. All are expressed as g/kg DM (ruminants and pigs) or g/kg food (horses and poultry).

As perdas urinárias são influenciadas pela quantidade de aminoácidos desaminados. Se a ração é equilibrada, os aminoácidos são utilizados para as proteínas corporais, não há desaminação. Se a ração tem elevada quantidade de proteína, é utilizada também para fins energéticos, os aminoácidos são desaminados e transformados em amónia excretada pela urina.

Se tivermos duas matérias-primas com proteínas desequilibradas, podemos com a junção das duas obter uma quantidade de proteína ideal.

A energia metabolizável por ruminantes é 82% da energia digerível, ou seja, há perdas gasosas e urinárias.

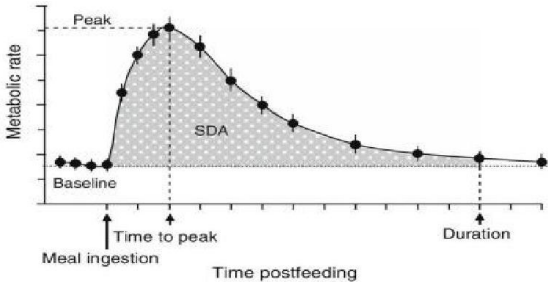
Quanto maior o teor em proteínas menor é a energia metabolizável.

### Incremento calórico

O incremento calórico traduz-se num aumento de calor devido à transformação do alimento, ou seja, são as perdas associadas à transformação do alimento e perdas associadas ao calor de fermentação.

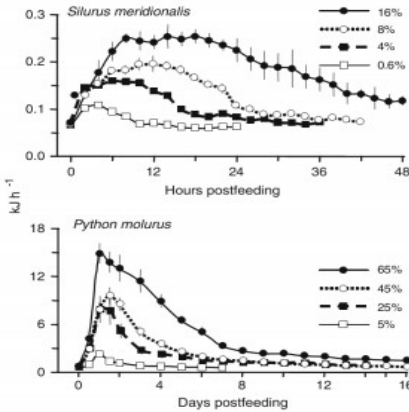
Evolução do incremento calórico com o tempo:

O incremento calórico tem variação variável, aumenta após a ingestão do alimento, atinge o máximo e depois diminui. É necessário considerar a componente mecânica (mastigação) e química (enzimas-saliva).



Efeito da quantidade de alimento no incremento calórico:

O incremento varia com a quantidade de alimento, quanto mais a quantidade de alimento, maior o incremento.



Incremento calórico de nutrientes:

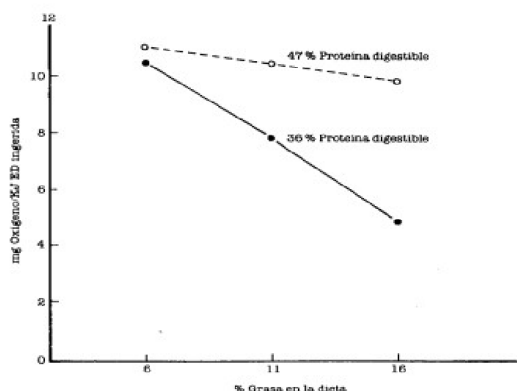
O incremento calórico varia também com o tipo de alimento que se come, o incremento é maior com a ingestão de proteínas do que com hidratos de carbono, e menor com gorduras.

NUTRIENT	SPECIES			
	RAT	SWINE	SHEEP	CATTLE
<i>ME basis, % at maintenance<sup>a</sup></i>				
Fat	17	9	29	35
Carbohydrate	23	17	32	37
Protein	31	26	54	52
Mixed rations	31	10-40	35-70	35-70

Influência do teor proteico e lipídico da dieta no incremento calórico:

O incremento calórico pode ser medido indiretamente pelo consumo de oxigénio transformado em energia.

Numa dieta rica em proteínas há uma ligeira diminuição do incremento calórico porque há muitas proteínas.



### Calor de fermentação

O calor de fermentação é cerca de 7-8% em ruminantes e está relacionado com a quantidade de metano produzido.

Eficiência de utilização da energia metabolizável em ruminantes e monogástricos:

A eficiência de utilização da energia metabolizável varia consoante o tipo de alimentos. O amido tem baixa eficiência, mas as proteínas têm ainda mais baixa eficiência (caseína).

	Ruminant	Pig etc. <sup>a</sup>	Fowl
<b>Food constituent</b>			
Glucose	0.94 (1.00) <sup>b</sup>	0.95	0.89
Starch	0.80	0.88	0.97
Olive oil		0.97	0.95
Casein	0.70 (0.82) <sup>b</sup>	0.76	0.84

b – by-pass do alimento no duodeno (a eficiência é mais elevada)

### Energia líquida

A energia líquida é a energia que fica do alimento e é usada pelo animal para manutenção (tem prioridade perante as outras necessidades) e outras necessidades.

Balanço negativo – alimento não tem energia suficiente para satisfazer as necessidades de manutenção. Quando tem grande quantidade de energia, ela é utilizada pelos tecidos, para produção de leite, renovação de penas e pêlos, regulação da temperatura corporal, excreção de produtos azotados e manutenção da posição de repouso.

## Energia líquida – energia de manutenção

### Relação entre metabolismo basal e o peso do animal

O metabolismo basal exprime-se em KJ/unidade de peso metabólico. Se um elefante produzisse tanto calor como o rato morreria. Há uma diminuição da produção de calor com o aumento do tamanho. A quantidade de calor produzida por mamíferos é sensivelmente constante (peso metabólico).

Animal	Liveweight (kg)	Fasting metabolism (MJ/day)			
		Per animal (1)	Per kg liveweight (W) (2)	Per m <sup>2</sup> surface area (3)	Per kg W <sup>0.75</sup> (4)
Cow	500	34.1	0.068	7.0	0.32
Pig	70	7.5	0.107	5.1	0.31
Human	70	7.1	0.101	3.9	0.29
Sheep	50	4.3	0.086	3.6	0.23
Fowl	2	0.60	0.300	–	0.36
Rat	0.3	0.12	0.400	3.6	0.30

### Necessidades energéticas de manutenção em homeotérmicos e heterotérmicos expressas em peso metabólico

Maintenance energy needs expressed as basal metabolic rates (MJ/kg<sup>0.75</sup>/day) in selected animals<sup>1</sup>

Cow	0.32
Pig	0.31
Sheep	0.29
Fowl	0.36
Rat	0.30
Chicken	0.36
Man	0.29
Average terrestrial animals	0.27
Different fish	0.01–0.07

A produção de calor em animais homeotérmicos é muito mais elevada comparativamente com animais heterotérmicos. Os animais heterotérmicos consomem alimento com elevada quantidade de proteína porque têm necessidades energéticas mais baixas.

### Efeito da temperatura na produção de calor em homeotérmicos

Zona termoneutrica – intervalo em que os animais mantêm a temperatura constante.

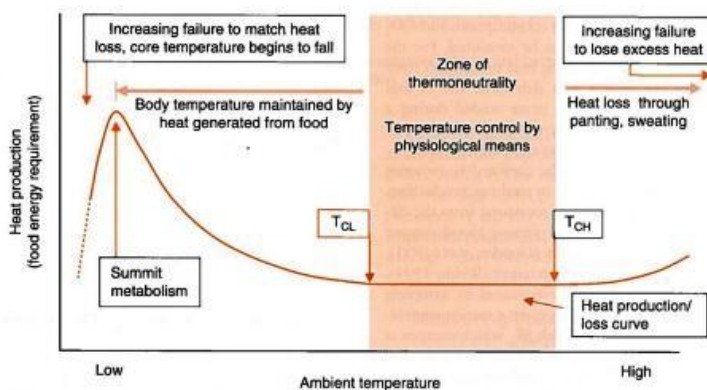


Fig. 12.1. Concepts of heat production and loss from animals.  $T_{CL}$  = lower critical temperature;  $T_{CH}$  = higher critical temperature; see text for definitions.

### Zona de neutralidade térmica

	°C		°C
Rat	28-29	Human (nude)	28-32
Dog (long hair)	13-16	Sheep (shorn)	21-31
Dog (short hair)	20-26	Pig	20-26
Fat hen	16-26	Goat	20-28
Turkey	20-28		

### Efeito da temperatura na produção de calor – homeotérmicos versus heterotérmicos

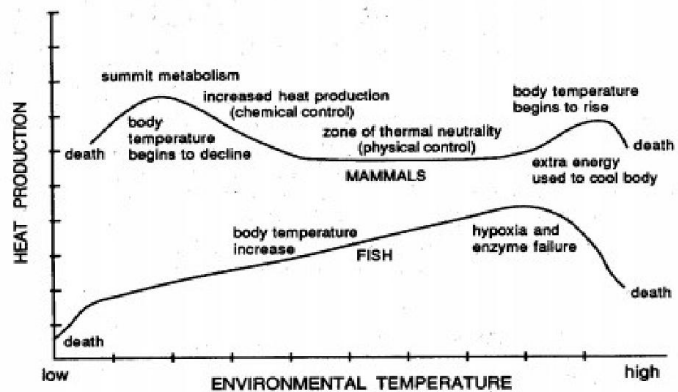
Zona termoneutrica – intervalo em que os animais mantêm a temperatura constante.

Com temperaturas elevadas há necessidade de libertar calor (suar) e existem falhas nas reações químicas (enzimas entram em rotura).

Com temperaturas baixas o animal pode entrar em hipotermia.

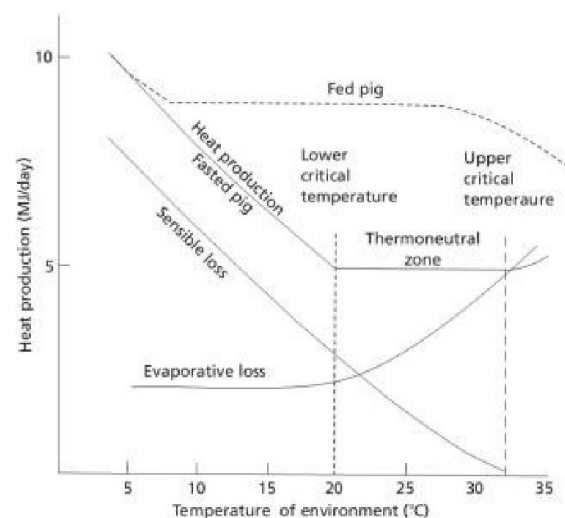
Os homeotérmicos têm zona termoneutrica, mas os heterotérmicos não têm zona termoneutrica.

Hipoxia – peixes não obtêm quantidade de oxigénio suficiente.



### Efeito do estado alimentar no metabolismo basal

A zona termoneutrica é diferente se o animal está em jejum ou não. Um animal alimentado tem uma zona termoneutrica mais baixa.





## Temperatura crítica inferior de algumas espécies em diferentes ambientes

Animal	Type	State	Production level	Wind speed (km/h)	
				0	15
Sheep	Lamb	Newborn	–	28	34
		Adult	Fasted	31	35
	50 mm wool	Fasted	22	28	
		Maintenance	7	18	
		<i>Ad libitum</i>	–10	5	
		<i>Ad libitum</i>	–40	–	
Cattle	Calf	Newborn	–	18	28
		Beef	Store	Maintenance	–16
	Growing (30 mm coat)		Gaining 0.8 kg/day	–32	–10
	Cow	Dairy (20 mm coat)	Maintenance	–8	10
			30 litres milk/day	–30	–20
					Floor
				Straw	Concrete
Pig	Sow	Adult 160 kg	Maintenance	22	–
	Growing	Individual	High	14	19
		Group	High	7	13

## Custo energético da atividade física e do metabolismo basal (por animal/por dia)

O animal gasta energia na atividade voluntária, como manutenção do animal de pé, movimento, comer, ruminar, mudar de posição.

Os de um animal estar de pé ou deitado não são muito diferentes.

Activity	Cost per kg liveweight	Duration or frequency of activity	Cost per day (kJ)
Standing	0.4 kJ/h	9 h/day	180
Changing position	0.26 kJ	6 times/day	78
Walking	2.6 kJ/km	5 km/day	650
Climbing	28 kJ/km	0.2 km/day	280
Eating	2.5 kJ/h	2–8 h/day	250–1000
Ruminating	2.0 kJ/h	8 h/day	800
Fasting metabolism			4300

## Custo energético da atividade física (por kg peso metabólico)

Animal type	Energy expenditure	Source
<b>Cattle</b>		
Standing	14.5 kJ/kg <sup>0.75</sup> /h	Vercoe, 1973
Lying	12.2 kJ/kg <sup>0.75</sup> /h	Vercoe, 1973
Getting up then lying down	0.45 kJ/kg <sup>0.75</sup> per event	Vercoe, 1973
Eating long lucerne hay	363 kJ/kg DM	Adam <i>et al.</i> , 1984
Eating chopped dry grass	274 kJ/kg DM	Adam <i>et al.</i> , 1984
<b>Sheep</b>		
Standing	15.9 kJ/kg <sup>0.75</sup> /h	Toutain <i>et al.</i> , 1977
Lying	12.9 kJ/kg <sup>0.75</sup> /h	Toutain <i>et al.</i> , 1977
Getting up then lying down <sup>a</sup>	0.53 J/kg <sup>0.75</sup> per event	Toutain <i>et al.</i> , 1977
Eating fresh grass	346 kJ/kg DM	Osuji <i>et al.</i> , 1975
Eating dry, pelleted grass	23.5 kJ/kg DM	Osuji <i>et al.</i> , 1975
Ruminating chopped grass	0.22–0.35 kJ/min	Osuji <i>et al.</i> , 1975; Toutain <i>et al.</i> , 1977
<b>Pigs</b>		
Standing	14.1 kJ/kg <sup>0.75</sup> /h	Susenbeth and Menke, 1991
Standing	15.6 kJ/kg <sup>0.75</sup> /h	Noblet <i>et al.</i> , 1993a
Standing	19.2 kJ/kg <sup>0.75</sup> /h	Schlemann <i>et al.</i> , 1971
Eating concentrate diet	100 kJ/kg DM	Noblet <i>et al.</i> , 1993a
<b>Horses</b>		
Eating long hay	493 kJ/kg DM	Vermorel and Mormède, 1991
Eating pelleted food	93 kJ/kg DM	Vermorel and Mormède, 1991

<sup>a</sup>Twice the estimated energy cost of getting up, assuming that this act takes 1 min.

## Energia líquida – Energia produtiva ou recuperada

### Necessidades de manutenção em proporção das necessidades energéticas totais

As necessidades de manutenção são mais elevadas, são 50-60% das necessidades de produção.

	Net energy requirement (MJ)		Maintenance (% total requirement)
	Maintenance	Production	
<b>Daily values</b>			
600 kg dairy cow producing 30 kg of milk	42	93	31
300 kg steer gaining 1 kg per day	23	16	59
50 kg pig gaining 0.75 kg per day	7	10	41
1 kg broiler chicken gaining 35 g per day	0.50	0.32	61
<b>Annual values</b>			
600 kg dairy cow producing 40 kg calf and 6000 kg milk	15 727	18 600	46
200 kg sow producing 16 (1.5 kg) piglets and 750 kg milk	7 100	4 600	61
2.0 kg hen producing 250 eggs	190	95	67

### Custo energético por g de proteína, lípido ou tecido (valores teóricos)

	Protéines P 1 g	Lipides L 1 g	Muscle maigre 18 % P+5 % L	Tissu adipeux 85 % L	Traite "moyenne" 17 % P+10 % L
Valeur énergétique (a)	5,7 kcal	9,5			
Rendement énergétique de synthèse apparente (b = kf)	60 % <sup>(1)</sup>	90 % <sup>(2)</sup>			
Coût énergétique (a/b)	9,5	10,6	2,4	9,0	2,7

### Eficiência de utilização da energia para manutenção e crescimento

A energia é mais eficiente para manutenção do que para fins produtivos. A energia do alimento é utilizada de forma mais eficiente para manutenção do que para crescimento.

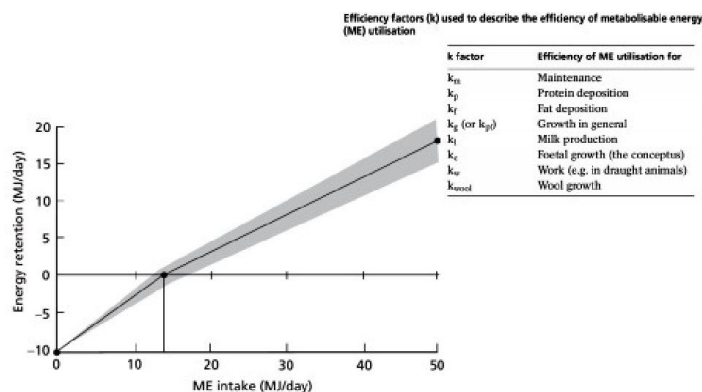


Fig. 11.5 Efficiency of metabolisable energy utilisation (an example based on metabolisable energy utilisation by a growing ruminant).

## Eficiência da utilização da energia metabolizável para diferentes funções

A eficiência da utilização da energia é maior para manutenção, que é maior que a produção, e que por sua vez é maior que o crescimento.

**Table 12.1** Efficiency of metabolisable energy utilisation by ruminants for maintenance, pregnancy, growth and lactation

Dietary ME concentration (MJ/kg DM)	7.4	9.2	11.0	12.9
Metabolisability ( $q_m$ )	0.4	0.5	0.6	0.7
Maintenance ( $k_m$ )	0.643	0.678	0.714	0.750
Pregnancy ( $k_p$ ) <sup>a</sup>	0.133	0.133	0.133	0.133
Growth ( $k_g$ )	0.218	0.396	0.474	0.552
Lactation ( $k_l$ )	0.560	0.595	0.630	0.665

Equations:  $k_m = 0.35q_m + 0.503$   
 $k_g = 0.78q_m + 0.006$   
 $k_l = 0.35q_m + 0.420$

<sup>a</sup> Constant value with no influence of  $q_m$ .

**TABLE 9.2.** Examples of the Efficiency of Utilization of ME in Ruminants

Type of diet: Mcal ME/kg diet DM	Efficiency of ME use, %		Relative value (Maintenance = 100)	
	Roughage 2.0	Concentrate 3.0	Roughage 2.0	Concentrate 3.0
Maintenance	68	75	100	100
Fattening	40	58	59	77
Lactation	66	68	97	90

Source: British A.R.C., Nutrient requirements of farm livestock: Ruminants, Agr. Research Council (London), 1965, p. 243.

## Cálculo fatorial das necessidades totais de energia metabólica

Se soubermos a quantidade de energia eficiente para as diferentes funções, podemos saber a quantidade total de energia para fornecer ao animal.

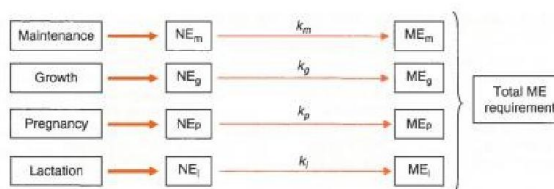


Fig. 12.4. Calculating the ME requirement of a dairy cow.

## Eficiência de utilização da energia metabolizável para manutenção

**Table 11.5** Efficiency of metabolisable energy utilisation for maintenance from various nutrients and foods

	Ruminant	Pig etc. <sup>a</sup>	Fowl
<b>Food constituent</b>			
Glucose	0.94 (1.00) <sup>b</sup>	0.95	0.89
Starch	0.80	0.88	0.97
Olive oil		0.97	0.95
Casein	0.70 (0.82) <sup>b</sup>	0.76	0.84
<b>Fermentation product</b>			
Acetic acid	0.59		
Propionic acid	0.86		
Butyric acid	0.76		
Mixture A <sup>c</sup>	0.87		
Mixture B <sup>d</sup>	0.86		
<b>Concentrates</b>			
Maize	0.80		
Balanced diets	0.70	0.85	0.90
<b>Forages</b>			
Dried ryegrass (young)	0.78		
Dried ryegrass (mature)	0.74		
Meadow hay	0.70		
Lucerne hay	0.82		
Grass silage	0.65-0.71		

<sup>a</sup>Including dog and rat.

<sup>b</sup>Values in parentheses are from administration via the duodenum.

<sup>c</sup>Mixture A: acetic acid 0.25, propionic acid 0.45, butyric acid 0.30.

<sup>d</sup>Mixture B: acetic acid 0.75, propionic acid 0.15, butyric acid 0.10.

## Eficiência energética de biossíntese em monogástricos

**Table 14.4** Energy efficiency of biosynthetic processes occurring in monogastric species

Synthesis	Energy efficiency
<b>Fat synthesis</b>	
Food fat → body fat	90-98
Glucose → body fat	75-80
Protein → body fat	50-60
<b>Carbohydrate synthesis</b>	
Lactic acid → glucose	92
Glucose → glycogen	94
Glucose → lactose	94
<b>Protein synthesis</b>	
Amino acids → protein	87

## Eficiência da utilização da energia metabolizável para crescimento em suínos

**Table 11.6** Typical values for the efficiency of metabolisable energy utilisation for growth in pigs

Form of energy stored	Origin of value	Substrate or diet	Efficiency
Fat (k <sub>f</sub> )	Theoretical	Acetate + glucose	0.81
		Dietary fat	0.99
		Dietary protein	0.69
		Normal diets	0.74
	Actual (calorimetric)	Dietary fat	0.86
		Dietary carbohydrate	0.76
		Dietary protein	0.66
		Volatile fatty acids	0.65–0.71
Protein (k <sub>p</sub> )	Theoretical	Amino acids	0.88
	Actual (calorimetric)	Amino acids	0.45–0.55
Protein and fat (k <sub>p</sub> )	Actual	Many diets (mean)	0.71
		Barley	0.60
		Maize	0.62
		Soya bean meal	0.48

## Eficiência da utilização da energia metabolizável para crescimento em ruminantes

**Table 11.7** Efficiency of utilisation of metabolisable energy from various nutrients and foods for growth and fattening in ruminants

Food constituent		Fermentation product	
Glucose	0.54 (0.72) <sup>a</sup>	Acetic acid	0.33–0.60
Sucrose	0.58	Propionic acid	0.56
Starch	0.64	Butyric acid	0.62
Cellulose	0.61	Mixture A <sup>b</sup>	0.58
Groundnut oil	0.58	Mixture B <sup>c</sup>	0.32
Mixed proteins	0.51	Lactic acid	0.75
Casein	0.50 (0.65) <sup>a</sup>	Ethanol	0.72
<b>Concentrates</b>		<b>Forages</b>	
Barley	0.60	Dried ryegrass (young)	0.52
Oats	0.61	Dried ryegrass (mature)	0.34
Maize	0.62	Meadow hay	0.30
Groundnut meal	0.54	Lucerne hay	0.52
Soya bean meal	0.48	Grass silages	0.21–0.60
		Wheat straw	0.24
		Dried grass (chopped)	0.31
		Dried grass (pelleted)	0.46

<sup>a</sup>Values in parentheses are for administration via the duodenum.

<sup>b</sup>Mixture A: acetic acid 0.25, propionic acid 0.45, butyric acid 0.30.

<sup>c</sup>Mixture B: acetic acid 0.75, propionic acid 0.15, butyric acid 0.10.

McD

Para o crescimento, a eficiência depende da fonte de energia. Os valores de eficiência em ruminantes são menores do que os valores dos suínos.

## Comparação da eficiência da utilização da energia metabolizável para diferentes funções entre ruminantes e monogástricos

**Table 10-6.** Efficiency of energy utilization by pigs and ruminants ingesting diets of the usual range of quality fed in practice.<sup>a</sup>

Item	Pigs	Ruminants
Digestible energy, %	75-90	50-87
Utilization of ME above maintenance, %		
Body gain	75-80	30-62
Milk production	75-85	40-75
Fattening during lactation <sup>b</sup>		73

## Eficiência de Utilização da energia metabolizável

em monogástricos (INRA)	Em ruminantes (Church)
EL = EM x K (Km + Kp)	
Eficiência de utilização da EM para manutenção (Km)	Km = ~0,7 (0,64 – 0,77)
Km = 0,7 – 0,8	
Km (carboidratos) = ~0,8	
Km (lípidos) = ~0,75	
Km (proteínas) = ~0,6	
Eficiência de utilização da EM para produção (Kp)	
Kp (proteína corporal) = ~0,5	Kp (proteína) = 0,15 – 0,4
Kp (proteína secretada) = ~0,65	
Kp (lípidos a partir de proteínas) = ~0,6	Kp (lípidos) = 0,65 – 0,75
Kp (lípidos a partir de carboidratos) = ~0,75	
Kp (lípidos a partir de lípidos) = ~0,85	Kl (lactação) = 0,65 – 0,75

## Hidratos de carbono

### Hidratos de carbono e sua classificação

Hidratos de carbono são compostos químicos neutros ( $\text{CH}_2\text{O}_n$ ). Quimicamente são polihidroxialdeídos, acetonas, ácidos ou qualquer um dos seus compostos simples. Nas aves e nos mamíferos têm a função de fornecer energia. As formas mais solúveis, monossacarídeos e dissacarídeos são utilizadas na transformação de energia e síntese de tecidos vegetais. As formas menos solúveis (amido) servem como fonte de obtenção de energia. As formas insolúveis (celulose) formam a estrutura das paredes celulares das células vegetais.

Quanto à classificação podem ser açúcares ou não – açúcares. Os açúcares são monossacarídeos ou oligossacarídeos (entre 1 a 10 monossacarídeos) e dependendo do número de carbonos podem ser pentoses, hexoses, etc.

Os não – açúcares contêm os polissacarídeos (amido, celulose, glicogénio) e os complexos de HC. Os glicanos são polissacarídeos que se dividem em homoglicanos – que por hidrólise dão origem a um tipo de açúcar; constituídos por uma unidade de monossacarídeos, e em heteroglicanos – constituídos por unidades diferentes de monossacarídeos. Os complexos de HC são hidratos de carbono misturados com outras moléculas (lípidos formando glicolípido ou proteínas formando oligoproteínas).

		Compound	Monosaccharide content	Occurrence									
Sugars	Monosaccharides	Trioses ( $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$ )	Glyceraldehyde Dihydroxyacetone										
		Tetroses ( $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_4$ )	Erythrose										
		Pentoses ( $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5$ )	Arabinose	pectin; polysaccharide, araban corn cobs, wood; polysaccharides nucleic acids									
			Xylose										
			Xylulose										
			Ribulose										
		Hexoses ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ )	Glucose	disaccharides; polysaccharides disaccharides (sucrose) milk (lactose) polysaccharides									
			Galactose										
			Mannose										
			Fructose										
		Heptoses ( $\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}_7$ )	Sedoheptulose										
Oligosaccharides	Disaccharides	Sucrose	glucose-fructose glucose-glucose (glucose-4- $\alpha$ -glucoside)	sugar cane, sugar beets  starchy plants and roots									
		Lactose											
		Maltose											
		Cellobiose											
	Trisaccharides	Raffinose	glucose-galactose	milk									
		Kestose	glucose-glucose (glucose-4- $\beta$ -glucoside)										
	Tetrasaccharides	Sthaeyose											
		Triaccharides ( $\text{C}_{18}\text{H}_{32}\text{O}_{16}$ )	Raffinose	glucose-fructose-galactose	fibrous portion of plants  certain varieties of eucalyptus, cotton- seed, sugar beets								
	Non-sugars		Polysaccharides	Homoglycans	Arabinans Xylans	Polysaccharides	Pentosans ( $\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_4$ ) <sub>n</sub>	Arabans Xylans	Hexosans ( $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$ ) <sub>n</sub>	Starch (a polyglucose glucoside) Dextrin Cellulose Glycogen Inulin (a polyfructose fructoside)	glucose glucose glucose glucose fructose	pectins corn cobs, wood	
		Glucans			Starch Dextrins Glycogen Cellulose Callose								glucose glucose glucose glucose glucose
Fractans Galactans Mannans Glucosaminans		Inulin Levan						liver and muscle of animals potatoes, tubers, artichokes					
		Heteroglycans		Pectic substances Hemicelluloses Exudate gums Acidic mucilages Hyaluronic acid Chondroitin									
Complex carbohydrates				Glycolipids									
		Glycoproteins											
		Mixed polysaccharides											
		Hemicellulose											
		Pectins											
		Gums (partly oxidized to acids)											

Composição de alguns produtos animais e vegetais expressos em base fresca e em base seca:

Nas plantas, em base seca existem mais hidratos de carbono e muito poucos lípidos;

Nos animais, existem mais lípidos e proteínas e muito poucos hidratos de carbono, exceto no leite, pois este contém lactose (dissacarídeo);

Esta composição deve-se ao facto de as paredes celulares das plantas serem constituídas por celulose (HC) e das membranas das células animais serem constituídas por lípidos.

	Water	Carbohydrate	Lipid	Protein	Ash
<b>Fresh basis (g/kg)</b>					
Turnips	910	70	2	11	7
Grass (young)	800	137	8	35	20
Barley grain	140	730	15	93	22
Groundnuts	60	201	449	268	22
Dairy cow	570	2	206	172	50
Milk	876	47	36	33	8
Muscle	720	6	44	215	15
Egg	667	8	100	118	107
<b>Dry matter basis (g/kg)</b>					
Turnips	0	778	22	122	78
Grass (young)	0	685	40	175	100
Barley grain	0	849	17	108	26
Groundnuts	0	214	478	285	23
Dairy cow	0	5	479	400	116
Milk	0	379	290	266	65
Muscle	0	21	157	768	54
Egg	0	24	300	355	321

Combustíveis metabólicos disponíveis num macho normal de 70Kg:

Os hidratos de carbono são absorvidos no trato intestinal sob a forma de glucose, frutose e galactose. Podem então ser utilizados como energia, como precursores de triglicerídeos ou precursores de glicogénio, que ficam armazenados no músculo ou no fígado.

	Weight of Fuel, kg	Caloric equivalent, kcal
Triglycerides	15	141,000
Proteins (muscle)	6	24,000
Glycogen (muscle)	0.150	600
Glycogen (liver)	0.075	300
Circulating fuels	0.023	100
		166,000

No estado absorptivo, o animal absorve tudo o que necessita. No entanto, como tem a capacidade de reserva, o animal não tem de estar sempre a alimentar-se, nos períodos não absorptivos alimenta-se dessas reservas permite-lhe diminuir a concentração de glucose no sangue, que poderia provocar hiperglicemia.

Composição de vários alimentos:

Food	Percentage by weight				
	Starch	Protein	Fat	Moisture	Other
Corn	60	9	4.0	16	11
Potato	18	2	0.1	78	2
Wheat	64	13	2.0	14	7
Cassava root	26	1	0.3	66	7
Rice	78	8	0.5	12	2

Os frutos e os vegetais têm muitos hidratos de carbono e poucas proteínas e quase nenhuma gordura.

O arroz e o trigo têm mais amido na sua constituição.

O amido é a principal forma sob a qual se manifesta os hidratos de carbono.

Food	Amylose (%)	Amylopectin (%)
Corn	28	72
Potato	21	79
Wheat	28	72
Cassava root	17	83

A batata e a mandioca parecem ter menos amido, mas quando transformadas em peso seco esse valor aumenta.

O amido pode então ocorrer sob a forma de amilose e amilopectina. A amilose representa cerca de 1/3 do amido e a amilopectina cerca de 2/3.

O principal problema do amido é o facto de este ocorrer sob a forma de grânulos e ter resistência enzimática devido a essa estrutura. Assim apenas cerca de 50% do amido é aproveitado pelo animal. É então necessário um tratamento prévio do alimento para provocar rotura dos grânulos. Esse tratamento consiste na exposição dos centros dos grânulos e gelatinização do amido por aquecimento com água quente, aumentando assim a digestibilidade.

No intestino está presente a amilase pancreática, tornando então este local o principal na digestão do amido.

### Metabolismo dos hidratos de carbono

O metabolismo é a sequência de processos químicos que ocorrem num organismo vivo levando à produção de energia mecânica ou química.

Catabolismo –  
degradação de  
compostos complexos em  
complexos simples.

Anabolismo –  
compostos complexos  
sintetizados a partir de  
compostos mais simples.

A parte que não  
sombreada é a parte que  
não ocorre no intestino e  
inclui a ingestão,  
mastigação e deglutição.

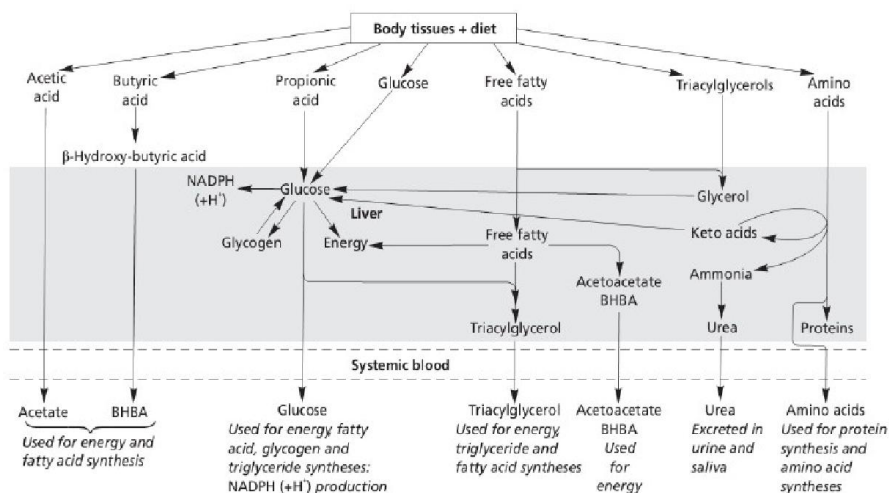


Fig. 9.1 Sources and fates of major body metabolites.

BHBA = β-hydroxybutyric acid; NADPH (+H<sup>+</sup>) = reduced nicotinamide adenine dinucleotide phosphate.

Nos monogástricos os hidratos de carbono são obtidos a partir da redução do glicogénio.

Nos ruminantes os hidratos de carbono são degradados e levam à formação de ácidos gordos. Na parede do rúmen ocorre a transformação do ácido butírico e do ácido acético que depois são usados no fígado como energia para a síntese de ácidos gordos. O ácido propiónico pode transformar-se em glicose no fígado e esta pode ser usada como energia, pode ser convertida em reserva como ácido gordo ou glicogénio, ou então pode ser transformada em coenzima reduzida em forma de NADP. A glicose em excesso passa para os tecidos e pode ser usada como energia, ácidos gordos e glicogénio. A digestão das proteínas resulta em aminoácidos e pequenos péptidos. Os aminoácidos depois podem ser transformados em amónia, que por sua vez é eliminada através da ureia, ou então podem ser transformados em cetoácidos. Os triglicéridos são digeridos no intestino e lançados na corrente sanguínea e vasos linfáticos.



Em ruminantes e outros herbívoros a celulose da dieta é digerida por micróbios simbióticos.

A via do ácido urônico pode ser utilizada para a formação de vitamina C e de glicogênio e para a conjugação de compostos lipídicos endógenos e exógenos.

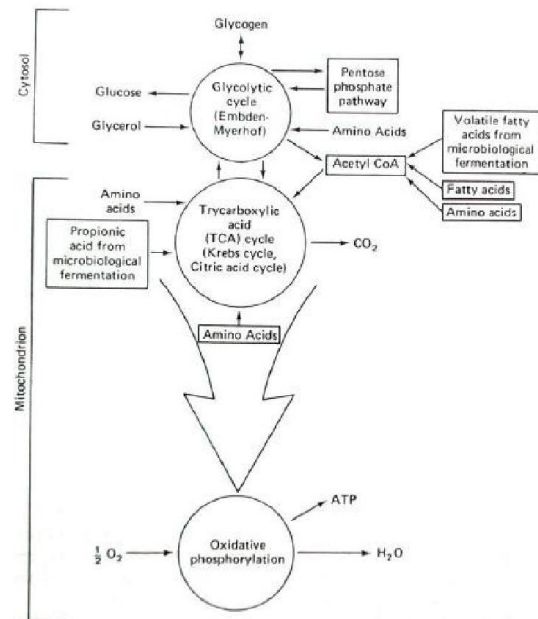
A glicose e os aminoácidos partilham a via de absorção pela circulação hepática. Os eritrócitos têm uma necessidade absoluta de glicose. O feto usa a glicose proveniente da circulação materna para fins anabólicos e catabólicos. A produção de leite requer uma considerável quantidade de glicose.

### Via final comum do metabolismo energético:

Existem três ciclos principais de metabolismo dos hidratos de carbono:

- Processos anaeróbicos: Ciclo glicolítico (ocorre no citoplasma); Ciclo de Krebs ou ciclo tricarboxílico (ocorre na mitocôndria);
- Processos aerobióticos: Fosforilação oxidativa (ocorre na mitocôndria).

De uma forma geral a glicose entra no organismo, forma-se ATP e liberta-se CO<sub>2</sub> e uma molécula de H<sub>2</sub>O.

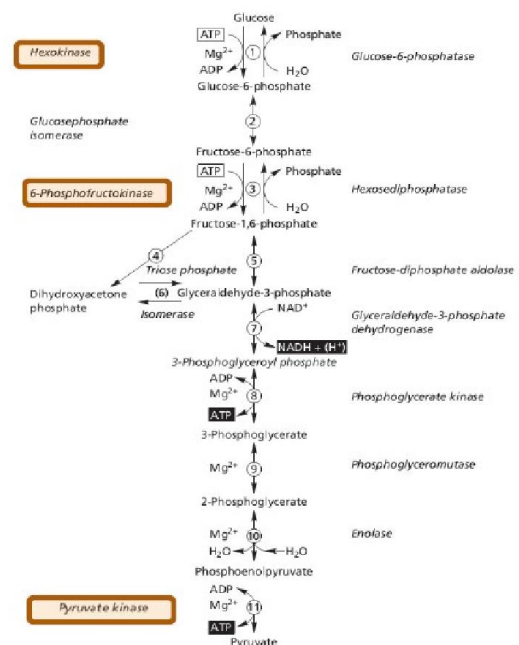


### **Glicólise**

A glicólise é o principal processo de metabolismo da glicose, da frutose e da galactose. Ocorre no citoplasma e em condições anaeróbicas e resulta na formação de piruvato e na redução do NAD.

A glicose anaeróbica procede a uma mesma velocidade que o crescimento de células cancerígenas, resultando assim na produção de ácido láctico. Este processo é universal para todos os tipos de células, no entanto o produto final pode variar. A glicólise é usada como fonte de energia rápida para as fibras musculares esqueléticas. A córnea e a lente dependem muito da glicólise anaeróbica, assim como os glóbulos vermelhos.

Nos passos 1, 3, 8 e 11, as enzimas são muito endergônicas, ou seja, consomem muita energia do fator externo, não permitindo assim a reversão da via glicolítica.





Dependendo das enzimas presentes, o animal pode anabolizar ou catabolizar. Estas enzimas não são totalmente reversíveis.

Em condições anaeróbicas o NAD reduzido não vai para a cadeia de citocromos e a produção de energia a partir da glicose é reduzida. Nestas condições, o piruvato forma lactato e acumula-se no músculo. O lactato resultante pode também, no fígado, ser convertido novamente em piruvato devido a presença da enzima lactate dehydrogenase. Este piruvato resultante pode formar então glicose que através da corrente sanguínea vai para o músculo onde é utilizada como energia pela via glicolítica. No entanto, algumas vezes mesmo não existindo condições de anaerobiose, alguns tecidos podem fazer este tipo de ciclo – ciclo de Kori.

Em condições aeróbicas, nas mitocôndrias o piruvato é convertido em acetil coenzima A, que entra no ciclo de Krebs, onde por várias oxidações forma 3NAD e 1FAD.

### Ciclo do ácido tricarboxílico/ ciclo de Krebs

#### ATP resultante da oxidação de uma mole de glicose:

<b>1 mole glucose to 2 moles pyruvate</b>	
ATP yield (substrate-level phosphorylation)	2
2 NADH (oxidative phosphorylation glycerophosphate shuttle)	3
<b>2 moles pyruvate to 2 moles acetyl-Co A</b>	
2 NADH (oxidative phosphorylation malate-aspartate shuttle)	5
<b>2 moles acetyl-Co A to CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O</b>	
ATP yield (substrate-level phosphorylation)	2
2 FADH (oxidative phosphorylation glycerophosphate shuttle)	3
6 NADH (oxidative phosphorylation glycerophosphate shuttle)	12
<b>Total ATP yield per mole of glucose</b>	<b>30</b>

### Aminoácidos como fonte de energia

Os aminoácidos podem ser catabolizados. Entram nos ácidos tricarboxílicos como piruvato, oxidocarboxílico e acetato.

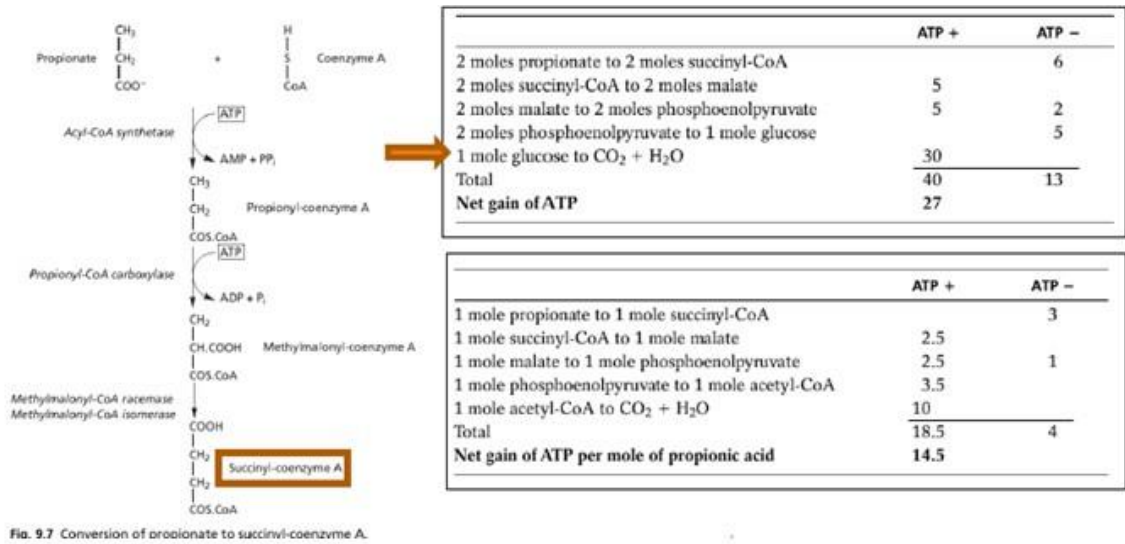
**TABLE 7.4** Metabolism of the carbon chain of amino acids.

ACETATE	CITRIC ACID CYCLE		NICOTINIC ACID AND SEROTONIN
	PYRUVATE	$\alpha$ -KETOGLOUTARATE	
Isoleucine	Alanine	Arginine	Tryptophan
Leucine	Cystine	Glutamic acid	
Phenylalanine	Glycine	Hydroxyproline	
Treonine	Methionine	Histidine	
Tyrosine	Serine	Lysine	
Valine		Proline	

### Ácido propiónico como fonte de energia

O ácido propiónico permite obter energia no ciclo de Krebs ou pode ser reutilizado na glicólise.

Nos ruminantes a digestão dos hidratos de carbono resulta na formação de ácidos gordos. Ocorre então a conversão em succinil coenzima A formando malato e ácido oxaloacético que são transformados no citoplasma em fosfoenolpiruvato. A partir deste passo é possível reverter o processo e formar glicose.



### Ácido butírico como fonte de energia

O catabolismo do ácido butírico dá origem a duas moléculas de coenzima A. É usado para a síntese de lípidos.

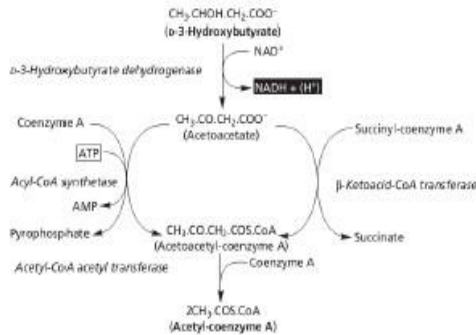


Fig. 9.9 Formation of acetyl-coenzyme A from D-3-hydroxybutyrate.

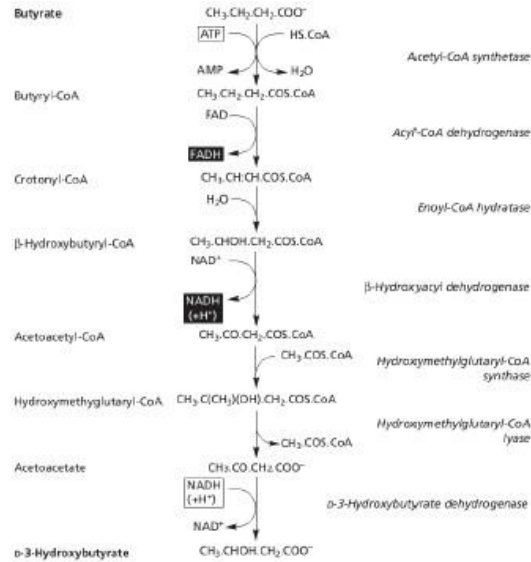
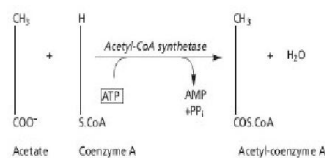


Fig. 9.8 Production of 3-hydroxybutyrate from butyrate.

	ATP +	ATP -
1 mole butyrate to 1 mole D-3-hydroxybutyrate	4	4.5
1 mole D-3-hydroxybutyrate to 2 moles acetyl-CoA	2.5	2
2 moles acetyl-CoA to CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O	20	
<b>Total</b>	<b>26.5</b>	<b>6.5</b>
<b>Net gain of ATP per mole butyrate</b>	<b>20</b>	

## Ácido acético como fonte de energia

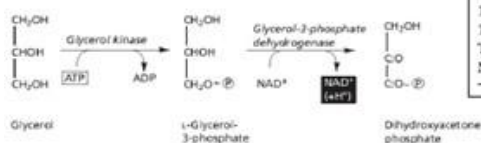
O ácido acético é utilizado para síntese de ácidos gordos e é catabolizado para fornecer energia líquida ao organismo.



<b>2 moles acetyl-CoA to CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O</b>	
ATP yield (substrate-level phosphorylation)	2
2 FADH (oxidative phosphorylation glycerophosphate shuttle)	3
6 NADH (oxidative phosphorylation glycerophosphate shuttle)	12

## Gordura como fonte de energia

A glicose é obtida a partir de aminoácidos, glicerol e ácido propiônico.



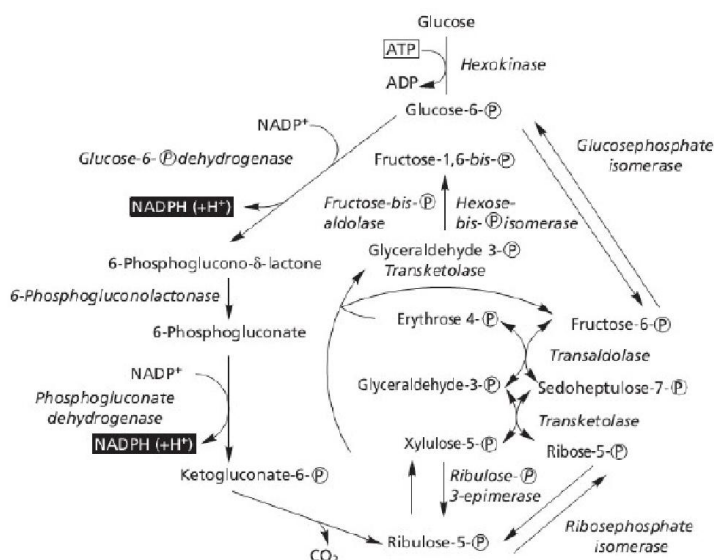
	ATP +	ATP -
1 mole glycerol to 1 mole dihydroxyacetone phosphate	2.5	1
1 mole dihydroxyacetone phosphate to 1 mole pyruvate	4.5	
1 mole pyruvate to CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O	12.5	
<b>Total</b>	<b>19.5</b>	<b>1</b>
<b>Net yield of ATP per mole glycerol</b>	<b>18.5</b>	

	ATP +	ATP -
2 moles glycerol to 2 moles dihydroxyacetone phosphate	5	2
2 moles dihydroxyacetone phosphate to 1 mole glucose	30	
1 mole glucose to CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O	35	
<b>Total</b>	<b>35</b>	<b>2</b>
<b>Net yield of ATP per mole glycerol</b>	<b>16.5</b>	

## Via das pentoses fosfato

Nesta via o carbono é retirado da glicose e libertado sob a forma de CO<sub>2</sub> resulta em NADPH, que não pode entrar no ciclo da fosforilação oxidativa pois é reduzida a NAD, servem então para biossíntese redutiva de ácidos gordos/lípidos e em ribose para a biossíntese de nucleótidos, ácidos nucleicos e ATP.

A via das pentoses fosfato compreende tanto reações oxidativas irreversíveis como fases não oxidativas reversíveis. O tecido muscular é deficiente em glucose 6-fosfato dehidrogenase, a enzima limitante da fase oxidativa da via das pentoses fosfato. O fígado, os adipócitos e os tecidos endócrinos possuem uma ativa via das pentoses fosfato, assim como os tecidos mamários e os eritrócitos



maduros. A deficiência em tiamina afeta a porção não oxidativa da via das pentoses fosfato. A sedoheptulose 7-fosfato e a eritrose 4-fosfato são intermediárias nesta via.

De forma a completar a oxidação da glucose na via das pentoses fosfato, Glc-3-P deve ser convertido em Glc-6-P, o que requer enzimas da via glicolítica a atuar em sentido inverso.

Recorre-se então a esta via quando é necessária a produção de NADP para a formação de ácidos gordos.

# Síntese de carboidratos

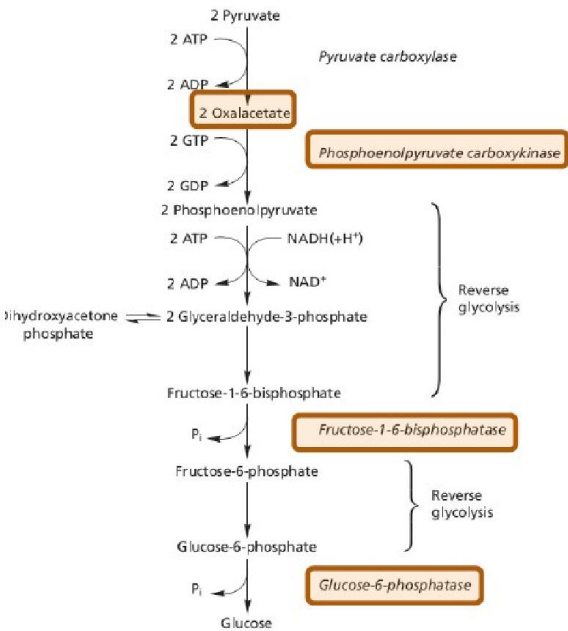
## Via da gliconeogénese

A gliconeogénese é a produção de glucose a partir de substratos não carboidratos. O piruvato é o principal precursor da gliconeogénese, que segue uma via inversa à da glucose.

Os monogástricos também podem usar como substratos lactato, aminoácidos provenientes da digestão de proteínas e o glicerol proveniente de triglicerídeos. Os ruminantes precisam de manter a mesma quantidade de glucose, no entanto não obtém os HC da glucose devido à digestão no rúmen que torna os ácidos gordos muito voláteis.

Tanto a glicólise como a gliconeogénese ocorrem no citoplasma. O piruvato e os aminoácidos e outros precursores são formados na mitocôndria e têm então de ser transportados para o citoplasma. O piruvato passa para o citoplasma através do malato.

A gliconeogénese ocorre no fígado e nos rins e garante as necessidades do plasma em glucose entre as refeições e durante uma atividade física. É estimulada por hormonas diabéticas como o glucagon, hormona do crescimento, epinefrina e cortisol. A PEP carboxikinase catalisa a reação limitante da gliconeogénese. O ácido dicarboxílico transporta os hidrocarbonetos do piruvato para a PEP.



## Eficiência da síntese de hidratos de carbono

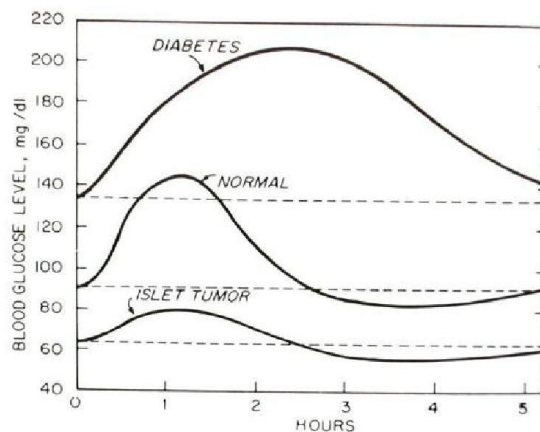
Table 9.3 Energy cost of gluconeogenesis

Source	Input	Energy cost (kJ)	Energy retained (kJ)	Efficiency
Aspartate	2 moles + 10 ATP	3968	2870	0.72
Propionate	2 moles + 4 ATP	3248	2870	0.88
Lactate	2 moles + 6 ATP	3246	2870	0.88
Glycerol	2 moles - 4 ATP	2982	2870	0.96

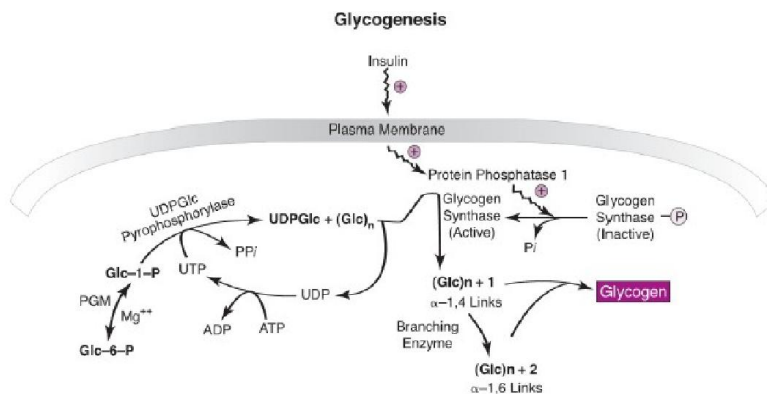
Synthesis	Energy efficiency*
Carbohydrate synthesis	
Lactic acid → glucose	92
Glucose → glycogen	94
Glucose → lactose	94

Utilizando o glicerol como substrato a eficiência é mais elevada pois não ocorrem tantas reações, e necessita de um "input" de energia menor.

3

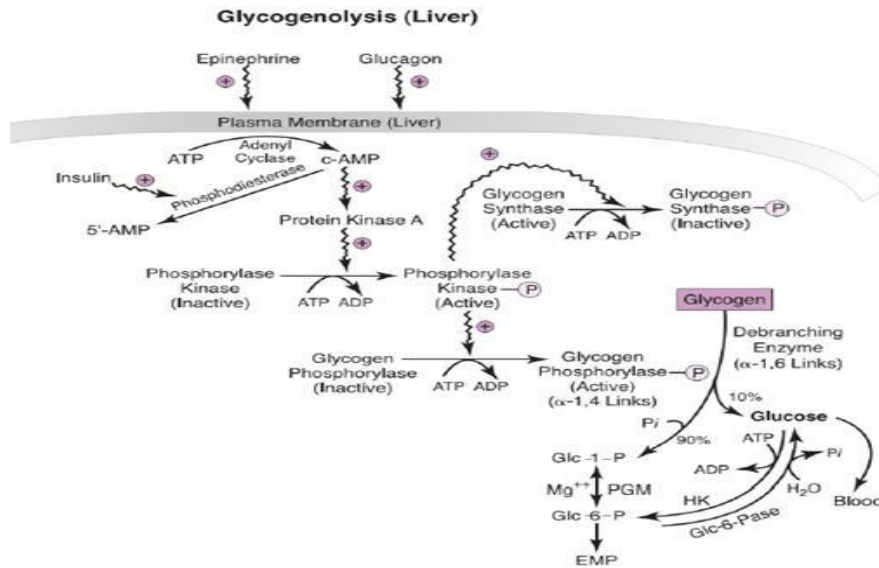


A síntese de ácidos gordos ocorre principalmente no fígado e são armazenados nos adipócitos.



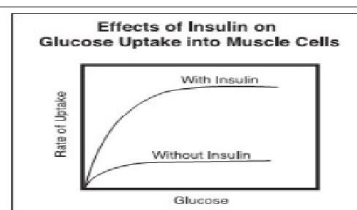
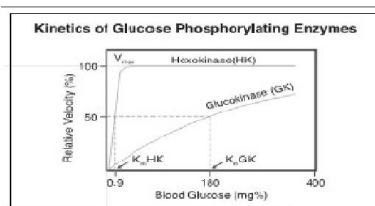
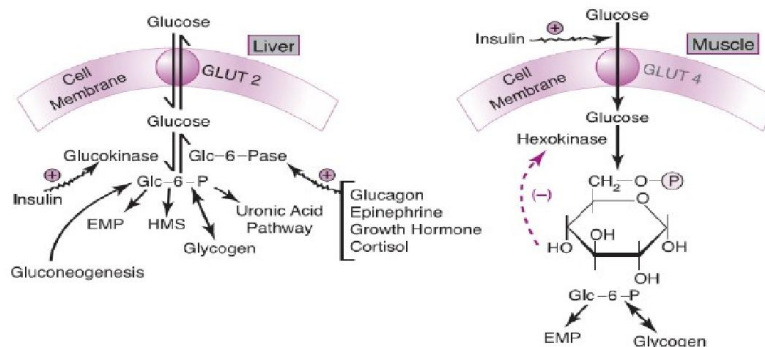
## Glicogenólise

A glicogenólise é ativada pelo glucagon e atua ao nível do AMP ciclo. Ativa a glucose fosforilase.



## Ativação das enzimas

### Glucose Pathways in Liver and Muscle



A glucose absorvida pelo fígado é então convertida em glicogénio e o excesso é convertido em lípidos e armazenada nos adipócitos aos quais chega através de um transportador. A glucose fica retida no fígado porque é fosforilada pela glucoquinase que é ativada pela insulina. Esta enzima satura mais lentamente o que leva a uma maior absorção de glucose. Após a absorção, o glucagon ativa a glucose 6-fosfato lançando-a no sangue, repondo assim os níveis.

Os adipócitos utilizam a glucose para produzir triglicerídeos.



A absorção de glicose pelo músculo ocorre devido ao transportador gluc-4 ativado pela insulina que provoca a deslocação para a membrana. Após a absorção de glicose os níveis de glucagon aumentam e os de insulina diminuem permitindo a utilização do glicogénio pelo músculo.

### Retenção da glucose

A “prisão” da glucose implica a sua fosforilação, o que reduz a lipofilicidade dos produtos.

Apenas um GLUT transportador é conhecido como sendo dependente da insulina o GLUT4. Os transportadores GLUT4 são translocados do complexo de Golgi para a membrana plasmática, voltando outra vez seguindo um recetor de insulina. O GLUT3 e o GLUT1, respetivamente, podem estar envolvidos no transporte de metabolitos da vitamina C para fora dos neurónios e para dentro dos astrocitos.

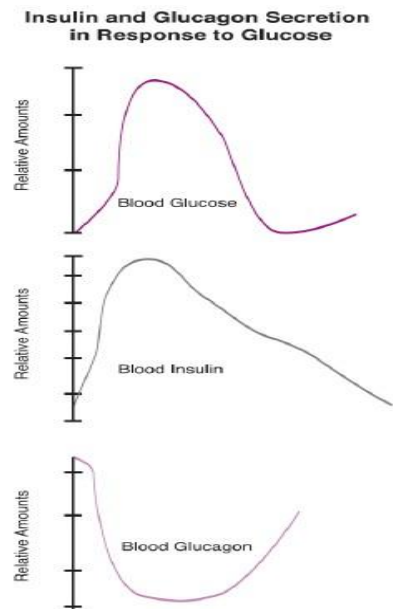
### Estado pós-absortivo:

A insulina e o glucagon apresentam-se geralmente de forma inversa, quando os níveis de insulina aumentam, os níveis de glucagon diminuem. A insulina baixa os níveis de glucose, e o glucagon aumenta.

Em dietas com baixos hidratos de carbono mas elevadas proteínas, a secreção de insulina e de glucagon pode aumentar pois os aminoácidos resultantes da degradação das proteínas estimulam essa secreção e contrabalança então os níveis de glucose.

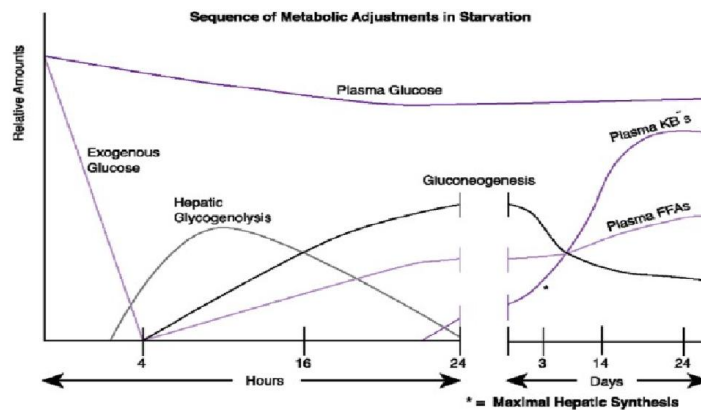
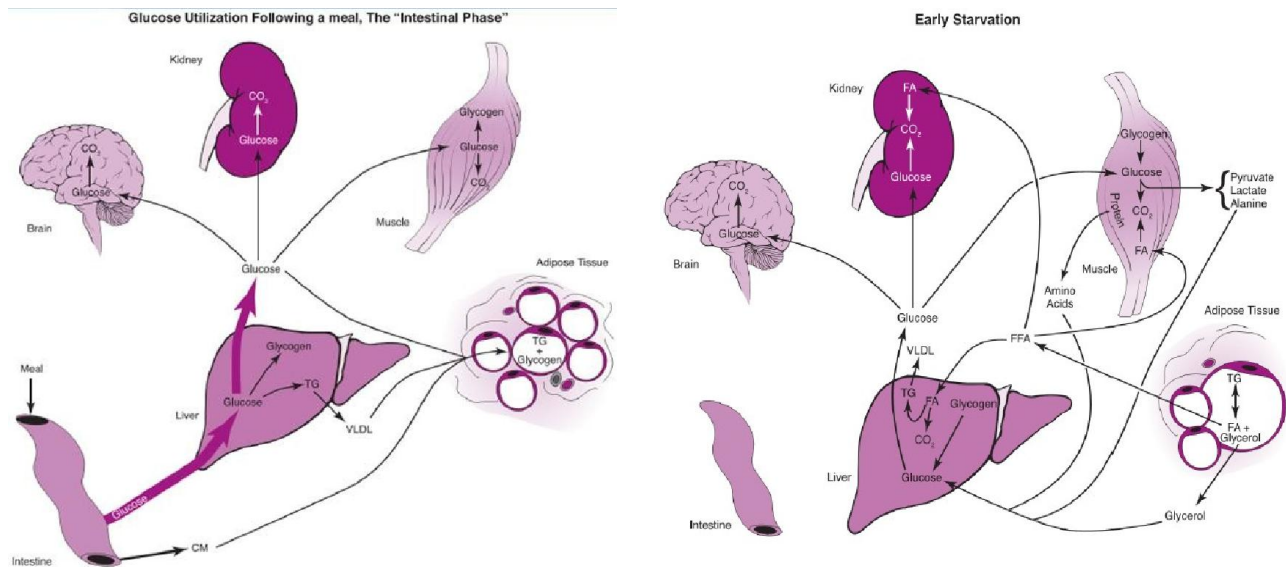
A fase metabólica após uma refeição varia consoante o alimento digerido. A fase pós-absortiva imediata está associada a uma diminuição das reservas de glicogénio dos hepatócitos, pois o fígado utiliza as reservas de glicogénio, lançando glucose no sangue de forma a satisfazer as necessidades. Esta fase é relativamente pequena pois as reservas de glicogénio dos hepatócitos são pequenas.

Mecanismos psicológicos sensíveis respondem a pequenas variações da concentração de glucose no sangue.





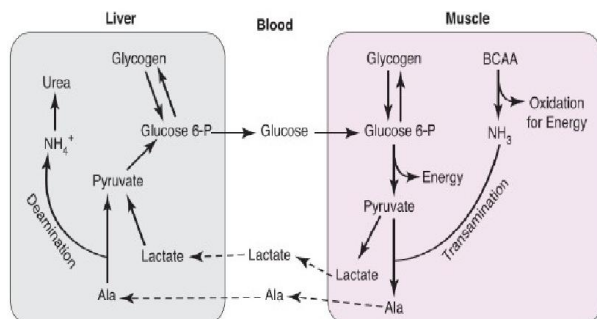
Glicogenólise e gliconeogénese hepática e a lipólise dos tecidos adiposos proporcionam a maior parte do “combustível” para a fase pós-absortiva imediata. O controlo da gliconeogénese hepática durante a fase de “starvation” é feito pelos substratos presentes assim como pela insulina e glucagon. A redução dos tecidos musculares depende da glucose.



## Evolução dos gastos metabólicos

A glucose metabólica é rapidamente consumida. Só em casos de jejuns muito acentuados é que se acumulam os corpos cetônicos. E só quando existe carência em glucose no organismo é que se utiliza esses corpos cetônicos.

The Lactic Acid (Cori) Cycle, and the Glucose-Alanine Cycle



A manutenção de glucose no sangue é conseguida por catabolismo de aminoácidos (alanina) e glicerol. A alanina é formada no fígado por transaminação de aminoácidos formando glucose.

## As principais hormonas no metabolismo dos hidratos de carbono

Table 16.2 The principal hormones that regulate metabolism.

HORMONE	STRUCTURE	SOURCE	REGULATION	ACTIONS
Insulin "Storage hormone"	51-AA peptide	$\beta$ cells of pancreas	$\uparrow$ rapidly by glucose, AA, ketoacids, propionate, butyrate	$\uparrow$ glucose use by most tissues $\uparrow$ glycogen synthesis $\uparrow$ lipogenesis, $\downarrow$ lipolysis $\uparrow$ net protein synthesis
Glucagon "Mobilizing hormone"	29-AA peptide	$\alpha$ cells of pancreas	$\uparrow$ by AA, butyrate, propionate $\downarrow$ by glucose, FFA, ketones	$\downarrow$ glucose use by most tissues $\uparrow$ glycogenolysis $\uparrow$ gluconeogenesis $\uparrow$ net lipolysis $\uparrow$ muscle protein mobilization
Cortisol "Mobilizing hormone"	Steroid	Adrenal cortex	$\uparrow$ by ACTH $\uparrow$ by stress	$\downarrow$ glucose use by tissues $\uparrow$ gluconeogenesis $\uparrow$ glycogen synthesis $\uparrow$ net lipolysis $\uparrow$ muscle protein mobilization
Somatotropin "Anti-obesity production hormone"	191-AA Peptide	Anterior pituitary	$\uparrow$ by G $\downarrow$ by somatostatin inversely correlated with nutritional status	$\uparrow$ IGF-I and thus promotes skeletal and muscle growth $\downarrow$ lipogenesis ( $\uparrow$ net lipolysis)
Insulin-like growth factor-I "Anabolic hormone"	70-AA peptide	Most tissues, especially liver	$\uparrow$ by GH $\downarrow$ by low insulin long term $\downarrow$ by malnutrition positively correlated with nutritional status	$\uparrow$ net protein synthesis $\uparrow$ DNA synthesis (so-cell number in most body tissues) $\uparrow$ bone elongation, muscle growth (might $\uparrow$ milk synthesis and ovarian function)

# Lípidos

## Funções dos lípidos

- Fonte de energia
- Componentes estruturais das membranas
- Proteção contra traumas físicos
- Isoladores térmicos
- Reguladores metabólicos
- Ajudas digestivas
- Isoladores elétricos

Os lípidos têm duas vantagens em relação aos hidratos de carbono e às proteínas: por grama de lípidos a energia acumulada é o dobro, e nos adipócitos temos 15% de água e 85% de lípidos, em proteínas temos 18% de proteínas e o restante de água.

## Classificação

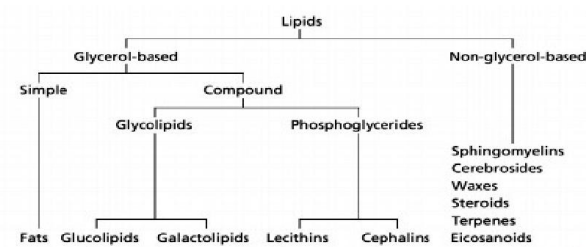


Fig. 3.1 Classification of the lipids.

TABLE 7.1. A Classification of the Lipids

Saponifiable		Nonsaponifiable
Simple	Compound	Terpenes
Fats	Glycolipids	Steroids
Waxes	Phospholipids	Prostaglandins

Nutricionalmente, os lípidos mais importantes são os ácidos gordos que compõem os fosfolípidos e os triglicerídeos (simples).

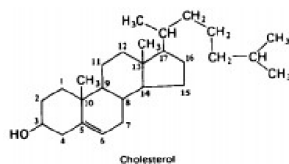
Os ácidos gordos podem ser:

- Saturados – o ponto de fusão depende do tamanho da cadeia. Quanto maior o número de carbonos, maior o ponto de fusão.
- Insaturados – Os pontos de fusão são baixos. O ponto de fusão varia com o número de insaturação. Um monoinsaturado tem ponto de fusão mais elevado que um polinsaturado. Ácidos gordos altamente insaturados têm ponto de fusão muito baixo.

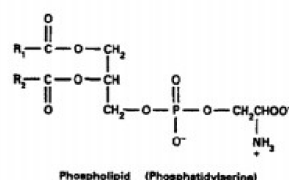
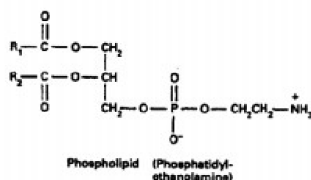
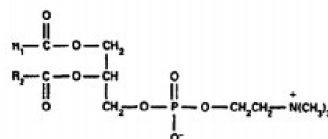
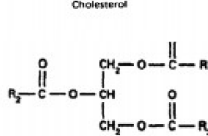
Table 3.1 Common fatty acids of natural fats and oils

Acid	Formula	Melting point (°C)
<b>Saturated</b>		
Caprylic (octanoic)	$C_7H_{15}COOH$	16.3
Capric (decanoic)	$C_9H_{19}COOH$	31.2
Lauric (dodecanoic)	$C_{11}H_{23}COOH$	43.9
Myristic (tetradecanoic)	$C_{13}H_{27}COOH$	54.1
Palmitic (hexadecanoic)	$C_{15}H_{31}COOH$	62.7
Stearic (octadecanoic)	$C_{17}H_{35}COOH$	69.6
<b>Unsaturated</b>		
Palmitoleic (9-hexadecenoic)		
(9-16:1 or 16:1n-7)	$C_{15}H_{29}COOH$	0
Oleic (octadecenoic) (9-18:1 or 18:1n-9)	$C_{17}H_{33}COOH$	13
Linoleic (octadecadienoic)		
(9,12-18:2 or 18:2n-6)	$C_{17}H_{31}COOH$	-5
$\alpha$ -Linolenic (9,12,15-octadecatrienoic)		
(9,12,15-18:3 or 18:3n-3)	$C_{17}H_{29}COOH$	-14.5
Arachidonic (eicosatetraenoic)		
(5,8,11,14-20:4 or 20:4n-6)	$C_{19}H_{31}COOH$	-49.5
Timnodonic (eicosapentaenoic)		
(5,8,11,14,17-20:5 or 20:5n-3)	$C_{19}H_{29}COOH$	
Docosahexaenoic (5,8,11,14,17,20-22:6 or 22:6n-3)	$C_{21}H_{36}COOH$	

## Tipos de fosfolípidos e triglicerídeos



Os crustáceos não conseguem sintetizar colesterol.



## Composição das matérias-primas em ácidos gordos

A composição das matérias-primas em ácidos gordos confere características em termos nutricionais.

Nas gorduras animais temos a manteiga produzida a partir da vaca, que possui lípidos de cadeia curta, o que se reflete na manteiga. A manteiga, banha e sebo possuem grandes quantidades de ácidos gordos insaturados e monoinsaturados.

Nas gorduras vegetais (gorduras monoinsaturadas e polinsaturadas) temos os óleos de peixe, que possuem gorduras altamente insaturadas. Os peixes necessitam de ácidos gordos altamente insaturados.

## Denominação abreviada de ácidos gordos

- 1º número – número de carbonos que a molécula tem;
- 2º número – número de duplas ligações (AG saturados = 0)
- n-x – família
  - n-9
  - n-6
  - n-3

AG essenciais  
(não conseguem sintetizar)  
Ex.: 20:4n-6

Table 3.2 Fatty acid composition (g/100 g) of some common fats and oils

	Rapeseed	Soya bean	Ryegrass	Cocksfoot	Linseed	Butterfat	Lard	Beef tallow	Menhaden	Cod liver
4:0	–	–	–	–	–	3	–	–	–	–
6:0	–	–	–	–	–	2	–	–	–	–
8:0	–	–	–	–	–	1	–	–	–	–
10:0	–	–	–	–	–	3	–	–	–	–
12:0	–	–	–	–	–	4	–	–	–	–
14:0	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	12	Tr	3	8	1
16:0	4	10	12	11	6	31	32	26	22	19
18:0	1	4	2	3	3	10	8	19	3	5
20:0	1	Tr	–	–	–	–	–	–	–	–
22:0	Tr	Tr	–	–	–	–	–	–	–	4
16:1	2	Tr	2	2	–	2	–	6	11	4
18:1n-9	54	25	15	–	17	23	48	40	21	15
20:1n-9	–	–	–	–	–	–	–	–	2	10
22:1n-9	–	–	–	–	–	–	–	–	2	2
18:2n-6	23	52	68	79	13	2	11	5	2	2
18:3n-3	10	7	–	–	55	Tr	Tr	–	–	–
20:4n-6	–	–	–	–	–	–	–	–	2	1
20:5n-3	–	–	–	–	–	–	–	–	14	6
22:6n-3	–	–	–	–	–	–	–	–	10	27
Others	5	2	7	0	6	1	1	4	1	2

Número de iodo é a massa, expressa em gramas de iodo que é consumida por 100 gramas de uma substância química. Os índices de iodo são muitas vezes utilizados para determinar a quantidade de insaturação dos ácidos gordos. Esta insaturação sob a forma de ligações duplas reage com os compostos de iodo. Quanto maior o iodo número, mais ligações C = C (duplas ligações) estão presentes na gordura.

Número de saponificação - representa o número de miligramas de hidróxido de potássio necessário para saponificar 1g de gordura sob as condições especificadas. É uma medida do peso molecular médio (ou comprimento de cadeia) de todos os ácidos gordos presentes. Os ácidos gordos de cadeia longa encontrados em gorduras têm um baixo índice de saponificação, porque eles têm um número relativamente menor de grupos funcionais carboxílicos por unidade de massa de gordura, em comparação com ácidos gordos de cadeia curta. Ou seja, quanto maior o índice de saponificação, menor é o tamanho da cadeia.

Valor de Reichert é um indicador da quantidade de ácido gordo volátil que pode ser extraído de gordura através de saponificação. É igual ao número de 0,1 ml de solução normal de hidróxido necessário para a neutralização de ácidos gordos voláteis solúveis em água, destilados e filtrados a partir de 5 gramas de uma dada gordura saponificada. Dá-nos o valor de ácidos gordos de cadeia curta.

## Metabolismo dos ácidos gordos

As gorduras da dieta são transportadas sob a forma de ácidos gordos (triglicerídeos).

Os ácidos gordos utilizados na lipólise são os ácidos gordos livres, fonte de energia, estes sofrem  $\beta$ -oxidação e são transformados em Acetil-CoA, que por sua vez dá origem aos corpos cetônicos.

Quando a Acetil-CoA é transformada em ácidos gordos por lipogénese, os ácidos gordos são armazenados no fígado.

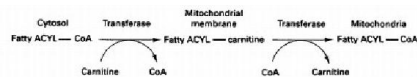
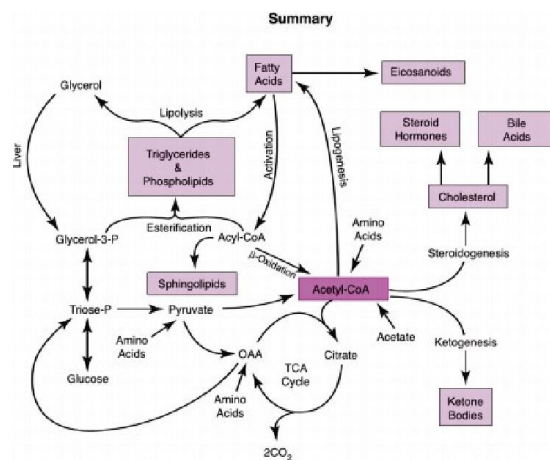
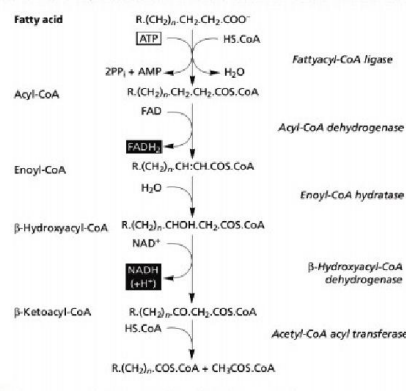


FIGURE 4.53 Transport mechanism for introducing fatty acids into the mitochondrion.



A  $\beta$ -oxidação ocorre no interior da mitocôndria, para haver  $\beta$ -oxidação é importante que os ácidos gordos sejam transferidos do citosol para a mitocôndria pela creatina. A creatina é considerada essencial porque é necessária para esta transferência.

Brody

Mitocôndria

Os ácidos gordos são catabolizados por reações que envolvem 4 enzimas:

- 1 Hidratase
- 1 Transferase
- 2 Hidrogenase
- E ainda uma ligase

Neste processo geram-se 1 molécula de FAD E NAD, o processo liberta 2 carbonos de cada vez até se originar Acetil-CoA.

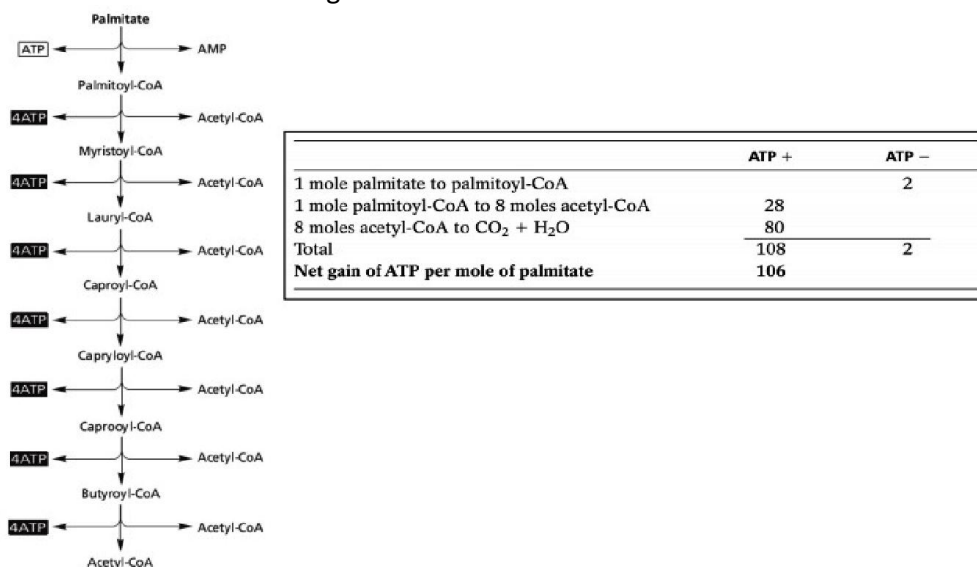


Fig. 9.11  $\beta$ -Oxidation of palmitate.

No citosol ocorre o processo inverso, a síntese de lípidos a partir de Acetil-CoA (1 molécula de acetato + proteína).

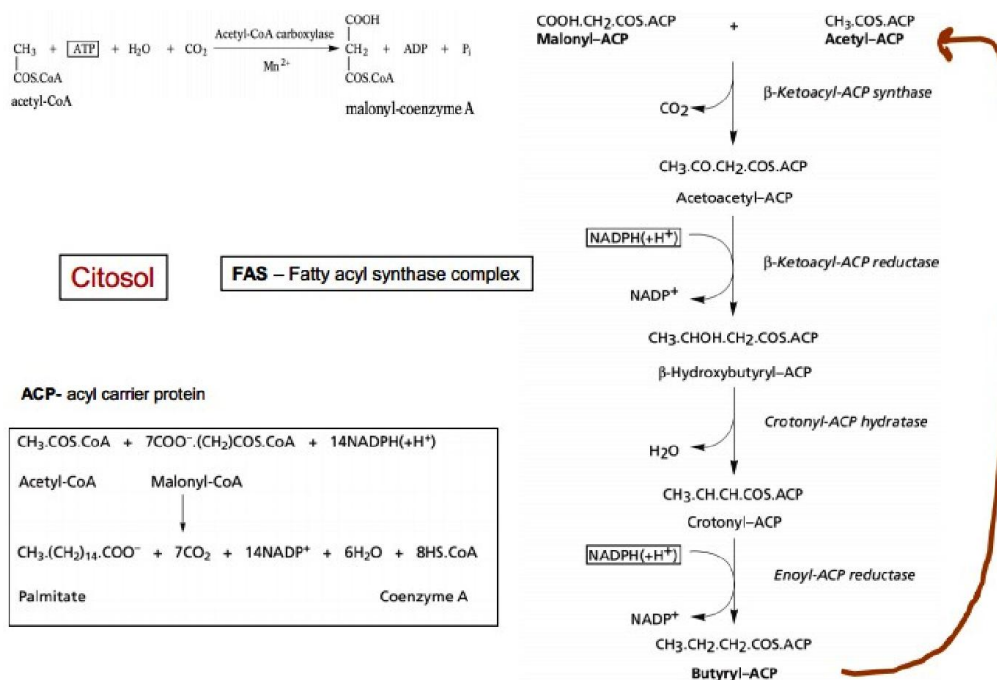
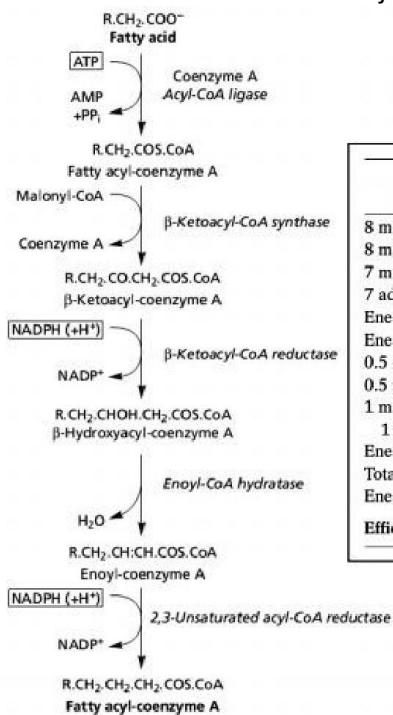


Fig. 9.18 Cytosolic synthesis of fatty acids.



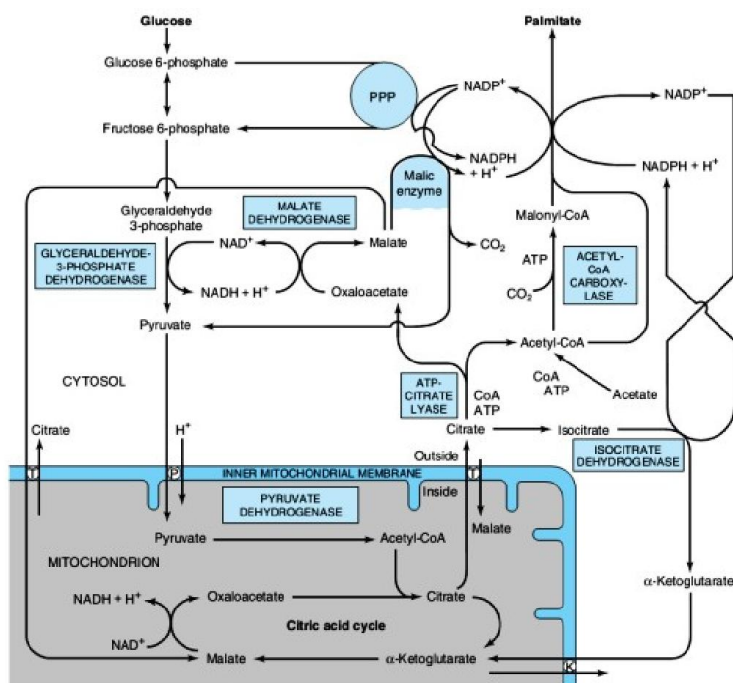
Ocorre no citosol com a ajuda do retículo endoplasmático.



**Fig. 9.19** Elongation of the fatty acid chain.

	Energy expended (kJ)	Energy stored (kJ)
8 moles acetate	6996.0	
8 moles acetate to acetyl-CoA	1366.4	
7 moles acetyl-CoA to malonyl-CoA	597.8	
7 additions of malonyl-CoA	<u>3348.3</u>	
Energy for 1 mole of palmitate	12 308.5	
Energy for 3 moles palmitate	36 925.5	
0.5 mole of glucose	1435.0	
0.5 mole glucose to dihydroxyacetone phosphate	85.4	
1 mole dihydroxyacetone phosphate to 1 mole L-glycerol-3-phosphate	256.2	
Energy for 1 mole L-glycerol-3-phosphate	<u>1776.6</u>	
Total energy for 1 mole tripalmitin	38 702.1	
Energy stored in 1 mole tripalmitin		32 025.0
<b>Efficiency of synthesis = <math>32\,025.0/38\,702.1 =</math></b>	<b>0.83</b>	

- NADP – obtido por várias formas:
- Enzima málica  $\rightarrow$  piruvato  $\rightarrow$  NADP
  - Via das pentoses-fosfato
  - Isocitrato
- Glucose



**Figure 21-4.** The provision of acetyl-CoA and NADPH for lipogenesis. (PPP, pentose phosphate pathway; T, tricarboxylate transporter; K,  $\alpha$ -ketoglutarate transporter; P, pyruvate transporter.)



O acetato é obtido diretamente do ciclo de Krebs ou da célula. A célula não é permeável ao acetato, mas sim ao citrato.

FAS – dá indicação se está a ocorrer lipogénese, assim como a enzima málica e isocitrato, são marcadores.

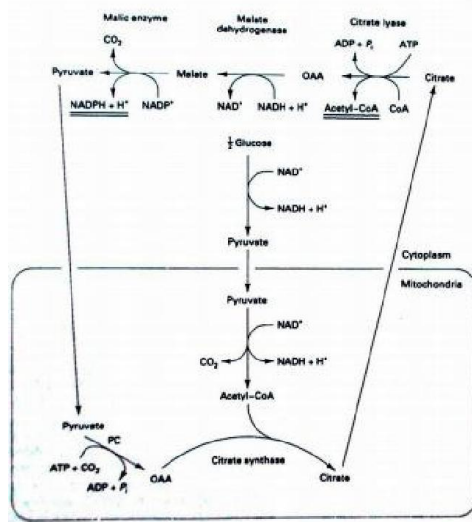
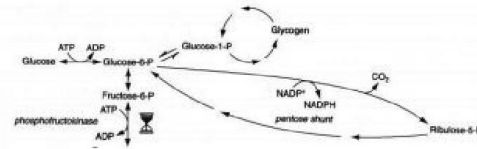


FIGURE 5.10 Malic enzyme/citrate lyase pathway. Citrate lyase is used for producing acetyl-CoA in the cytoplasm, the site of fatty acid synthesis. Acetyl-CoA is used by fatty acid synthase for the synthesis of fatty acids. Malic enzyme catalyzes the reduction of NADP<sup>+</sup>, which is required as a cofactor by fatty acid synthase.



Brodi

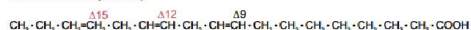
## Desaturação de ácidos gordos

Os ácidos gordos podem ser alongados e saturados através das enzimas alongase e saturase (enzima que saturam, atuam preferencialmente em ácidos gordos insaturados).

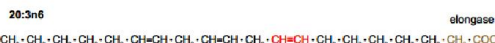
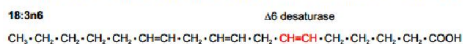
Enzyme	Fatty Acid Series				Reticulo endoplasmático
	(n-7)	(n-9)	(n-6)	(n-3)	
Δ 9 desaturase	16 : 0	18 : 0			desaturation (double bond formation)
Δ 6 desaturase	16 : 1 (n-7)	18 : 1 (n-9)	18 : 2 (n-6)	18 : 3 (n-3)	
elongase	16 : 2 (n-7)	18 : 2 (n-9)	18 : 3 (n-6)	18 : 4 (n-3)	
Δ 5 desaturase	18 : 2 (n-7)	20 : 2 (n-9)	20 : 3 (n-6)	20 : 4 (n-3)	elongation (addition of 2C unit)
elongase	18 : 3 (n-7)	20 : 3 (n-9)	20 : 4 (n-6)	20 : 5 (n-3)	
Δ 4 desaturase	20 : 3 (n-7)	22 : 3 (n-9)	22 : 4 (n-6)	22 : 5 (n-3)	
			22 : 5 (n-6)	22 : 6 (n-3)	

Os ácidos gordos Linolenico e Linoleico têm que ser fornecidos na dieta. Se há muito 22:3 (n-9) há deficiência de ácidos gordos essenciais. O Araquidónico é formado a partir do ácido Linoleico.

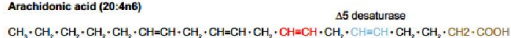
#### Linolenic acid (18:3n3)



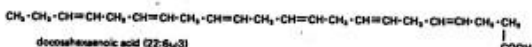
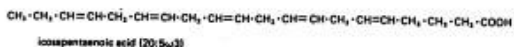
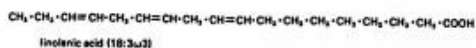
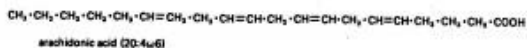
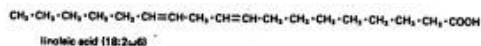
#### Linoleic acid (18:2n6)



#### Arachidonic acid (20:4n6)



Os ácidos Linoleico e Linolenico podem ser obtidos a partir de matérias-primas vegetais e através do alongamento e desnaturação obtemos ácidos gordos essenciais.



Maynard

**TABLE 8.2** Position of double bonds in unsaturated fatty acids.

ACID	POSITION OF DOUBLE BONDS <sup>a</sup>	PRECURSOR
Palmitoleic	9	Palmitic
Oleic	9	Stearic
Linoleic	9, 12	None
Linolenic	9, 12, 15	None
Arachidonic	5, 8, 11, 14	Linoleic

<sup>a</sup>C atoms are numbered from the carboxyl end.

Church

### Sintomas associados a deficiências de ácidos gordos essenciais

- Retardo de crescimento.
- Aumento da permeabilidade à água e aumento do consumo de água.
- Aumento da suscetibilidade a infeções bacterianas.
- Esterilidade.
- Fragilidade capilar.
- Danos nos rins, hematúria e hipertensão.
- Diminuição da acuidade visual.
- Diminuição da contratilidade do miocárdio.
- Diminuição da síntese de ATP no fígado e no coração.
- Retenção de nitrogênio diminui.

## Metabolismo de ácidos gordos de cadeia longa em gatos e peixes marinhos

Nos gatos e nos peixes marinhos fornecer ácido não satisfaz as necessidades de ácidos gordos essenciais devido à atividade limitada da enzima  $\Delta 6$ saturase, que é essencial na conversão destes ácidos em outros ácidos.

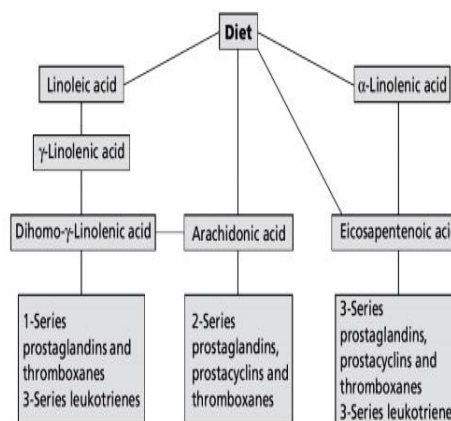
## Necessidades de ácidos gordos essenciais na dieta

Os peixes marinhos precisam de EPA e DHA porque não conseguem alongar os ácidos Linolenico e Linoleico.

	EFA	Requirement (% energy requirement)	Requirement (% diet)
Mammals (general rule)		3	1
Pigs (<30 kg)	Linoleic acid	3	1.2
	Araquidonic acid	2	
Pigs (30-90 kg)	Linoleic acid	1.5	0.6
	Araquidonic acid	1%	
Birds (growing and adult)			1
Ruminants	???		???
Freshwater fish warmwater	Linoleic acid		0.5-1
Freshwater fish warmwater	Linoleic acid and Linolenic acid		0.5-1
Freshwater fish coldwater	Linolenic acid		0.5-1
Marine fish	DHA EPA		0.5-1

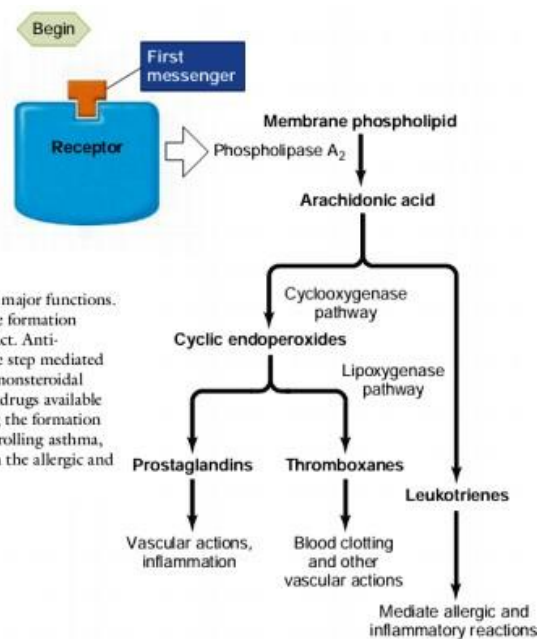
## Relação entre ácidos gordos essenciais e eicosanóides

Os eicosanóides (prostaglandinas, tromboxanos e leucotrienos) têm função hormonal, mas atuam localmente. As prostaglandinas atuam a nível de ações e inflamações musculares, os tromboxanos atuam a nível da coagulação do sangue e outras ações musculares, e os leucotrienos mediam reações alérgicas e inflamatórias.



**Figure 5-12**

Pathways for eicosanoid synthesis and some of their major functions. Phospholipase A<sub>2</sub> is the one enzyme common to the formation of all the eicosanoids; it is the site at which stimuli act. Anti-inflammatory steroids inhibit phospholipase A<sub>2</sub>. The step mediated by cyclooxygenase is inhibited by aspirin and other nonsteroidal anti-inflammatory drugs (NSAIDs). There are also drugs available that inhibit the lipoxygenase enzyme, thus blocking the formation of leukotrienes. These drugs may be helpful in controlling asthma, in which excess leukotrienes have been implicated in the allergic and inflammatory components of the disease.



Vander

## Locais de síntese de ácidos gordos

Os ruminantes têm como local de síntese dos ácidos gordos os adipócitos e os não-ruminantes o fígado.

**TABLE 7.6.** Tissue Site of Excess Energy Conversion to Fatty Acids in Various Species<sup>a</sup>

	Fatty acid synthesis	
	Tissue	Substrate
Ruminant		
Sheep	Adipose	Acetate, from rumen fermentation
Cow	Adipose	
Nonruminant		
Pig	Adipose	Glucose, from carbohydrate digestion
Rat	Liver and adipose	
Chick	Liver	
Human	Liver	

<sup>a</sup>D. E. Bauman, Fat metabolism in ruminants, *Proc. Cornell Nutrition Conf.*, 1974, 69-73.

## Composição de gorduras dos animais

A composição de gorduras de um animal reflete o tipo de gorduras fornecidas na dieta. Estas gorduras fornecidas vão ter consequências na gordura que é produzida pelo animal. Estas gorduras produzidas pelo animal influenciam a produção (ex.: bacon).

A composição do animal pode ser alterada tendo em conta as gorduras fornecidas.

**TABLE 8.6** Effect of dietary fatty acid composition on fatty acid composition of the depot fat of growing pigs.<sup>a</sup>

FATTY ACID DESIGNATION	DIETARY FAT		PIG DEPOT FAT	
	SAFFLOWER <sup>b</sup>	HYDROGENATED COCONUT <sup>b</sup>	SAFFLOWER <sup>b</sup>	HYDROGENATED COCONUT <sup>b</sup>
8:0		7.8		
10:0		5.7	0.2	0.2
12:0		44.5	0.2	0.6
14:0	trace	17.2	2.0	3.9
16:0	8.8	9.2	15.6	21.0
16:1			13.0	16.5
18:0	1.5	10.4	50.7	55.9
18:1	9.3	5.0		
18:2	80.4	0.2	17.2	0.9
18:3	trace		0.1	0.1

<sup>a</sup>From Babatunde et al. (1967).

<sup>b</sup>Percent of total fatty acids.

**TABLE 7.8.** Influence on Hog Carcass of Adding Various Oils to a Basal Ration of Corn and Tankage

Oil supplement	Firmness grade <sup>a</sup>	Melting point, °C	Iodine number	Fatty acids, %		
				Oleic	Linoleic	Total saturated
Peanut oil, 4.1%	MS	34.3	72.4	47.9	13.8	32.5
Cottonseed oil, 4.1%	H	45.3	64.4	35.9	15.7	43.0
Soybean oil, 4.1%	MS	31.2	75.7	43.3	18.6	33.8
Corn oil, 4.1%	MS	36.3	76.3	45.0	16.8	33.0
Corn oil 11.5%	O	24.5	97.2	41.4	31.4	23.1

<sup>a</sup>H = hard, MS = medium soft, O = oily.

Source: N. R. Ellis and H. S. Isbell, Soft pork studies. II. The influence of the character of the ration upon the composition of the body fat of hogs. III. The effect of food fat upon body fat, as shown by the separation of the individual fatty acids of the body fat, *J. Biol. Chem.*, 69:219-248, 1928.



Fig. 7.2. Lard from hard, soft and oily carcasses. (Taken from O. G. Hawkins, N. R. Ellis, and J. H. Zeller, Some results of soft pork investigations II. U.S. Dept. Agr. Bull. 1490, 1928.)

Maynar

**TABLE 7.7.** Iodine Number in Food Fat and Body Fat

Food fat	Iodine number of food fat	Iodine number of body fat
Soybean oil	132	123
Corn oil	124	114
Cottonseed oil	108	107
Peanut oil	102	98
Lard	63	72
Butterfat	36	56
Coconut oil	8	35

Source: W. E. Anderson and L. B. Mendel, The relation of diet to the quality of the fat produced in the animal body, *J. Biol. Chem.*, 76:729-747, 1928.

## Vitaminas

### Noção de vitaminas e funções gerais

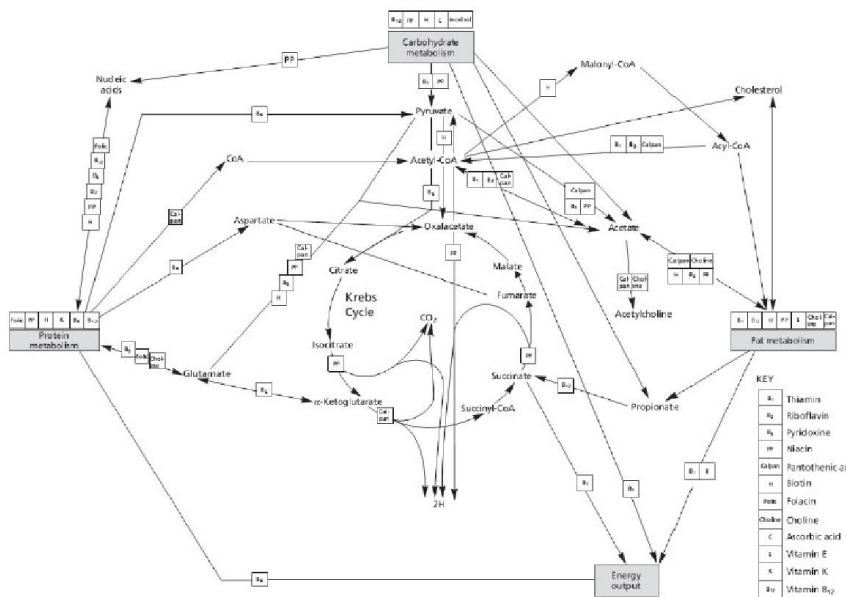
As vitaminas são substâncias/compostos orgânicos necessárias em pequenas quantidades para um normal crescimento e manutenção normal de um animal. Estão envolvidas em processos metabólicos e funcionam como coenzimas e muitas vezes como protetoras em sistemas de antioxidantes e imunes. Os animais não as conseguem sintetizar e por isso têm que ser fornecidas através das dietas. Em termos globais existem 15 vitaminas.

As vitaminas podem ser classificadas como lipossolúveis e hidrossolúveis. As lipossolúveis (A, E, D e K) acumulam-se em grandes quantidades nas gotículas de gordura,

**Table 5.1** Vitamins important in animal nutrition

Vitamin	Chemical name
<b>Fat-soluble vitamins</b>	
A	Retinol
D <sub>2</sub>	Ergocalciferol
D <sub>3</sub>	Cholecalciferol
E	Tocopherol <sup>a</sup>
K	Phylloquinone <sup>b</sup>
<b>Water-soluble vitamins</b>	
<b>B complex</b>	
B <sub>1</sub>	Thiamin
B <sub>2</sub>	Riboflavin
	Nicotinamide
B <sub>6</sub>	Pyridoxine
	Pantothenic acid
	Biotin
	Folic acid
	Choline
B <sub>12</sub>	Cyanocobalamin
C	Ascorbic acid

por exemplo, no fígado. As hidrossolúveis (B e C) são absorvidas em conjunto com lipídios por difusão facilitada. Estas não se acumulam em grandes quantidades e quando estão em níveis elevados são excretadas.



A falha de vitaminas nas rações provoca deficiências, nomeadamente, diminuição do apetite, diminuição no crescimento, cegueira (vit.A) noturna, raquitismo (vit.D), escorbuto (vit.C).

Os cereais, os vegetais verdes e as leveduras são fontes de algumas vitaminas. O óleo de fígado de bacalhau é fonte em vitamina A e D.

As vitaminas não são estáveis, podem sofrer

detioração devida a humidade, luz solar, contato com radicais livres.

Para garantir que as rações são completas acrescenta-se suplementos vitamínicos. No entanto, como são necessários em pequenas quantidades é difícil de fazer uma homogeneização desses nutrientes. Sendo assim, utiliza-se um Pré-mix.

Vitaminas necessárias à alimentação de diferentes espécies

Os ruminantes, como têm flora microbiana conseguem sintetizar quase todas as vitaminas, exceto a vitamina A. No entanto suplementa-se as rações com vitamina D e E.

Os mamíferos e as aves não necessitam de vitamina C, por isso é que os humanos têm constipações, nem de mioinositol com a exceção dos gatos, que necessitam desta vitamina.

Os peixes necessitam das 15 vitaminas.

Os crustáceos, os primatas e o porco da Índia necessitam também de vitamina C.

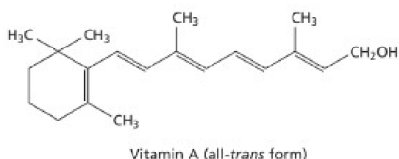
Species	Ruminants	Swine	Chickens	Dogs	Cats	Horses	Rabbits	Fish
Vitamin A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Vitamin D	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Vitamin E	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Vitamin K		✓	✓	✓	✓		✓	✓
Thiamin		✓	✓	✓	✓		✓	✓
Riboflavin		✓	✓	✓	✓		✓	✓
Pyridoxine		✓	✓	✓	✓		✓	✓
Pantothenic acid		✓	✓	✓	✓		✓	✓
Niacin		✓	✓	✓	✓		✓	✓
B <sub>12</sub>		✓	✓	✓	✓		✓	✓
Choline		✓	✓	✓	✓		✓	✓
Biotin		✓	✓	✓	✓			✓
Folacin (folate or folic acid)		✓	✓	✓	✓		✓	✓
Myoinositol					✓			✓
Vitamin C								✓



## Vitamina A

### Natureza química

A vitamina A ( $C_{20}H_{29}OH$ ), conhecida quimicamente como retinol, é um álcool monohidrico insaturado, com a seguinte estrutura:



Existem substâncias que funcionam como vitamina A, quando sofrem mudanças bioquímicas – Provitaminas. É exemplo dessas substâncias o caroteno, que é constituído por duas moléculas de vitamina A ligadas.

No entanto nem todos os carotenos têm a mesma eficiência de conversão, esta varia entre diferentes espécies.

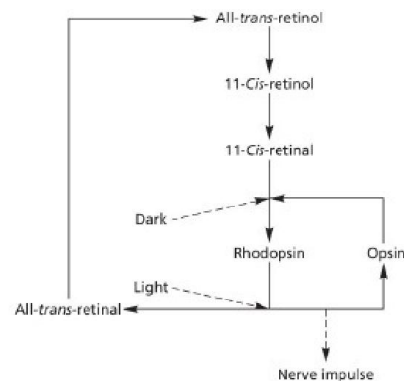
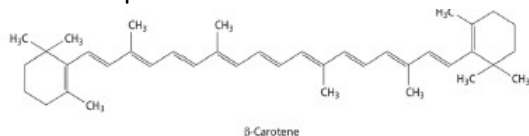


Fig. 5.2 The role of vitamin A (retinol) in the visual cycle.

Species	Conversion efficiency (%)	IU vitamin A equivalent to 1 mg $\beta$ -carotene
Rat	100*	1667
Chicken	100	1667
Pig	30	500
Cattle	24	400
Sheep	30	500
Horse	33	555
Man	33	555
Dog	67	1111

### Funções e sinais de deficiência

A vitamina A é essencial para a manutenção do epitélio dos tecidos, quer reprodutivo quer de revestimento do corpo. É importante também a formação de osso, para a visão, crescimento e síntese da glicose.

Deficiências em vitamina A podem provocar então, cegueira noturna, lesões no esqueleto e na remodelação dos ossos, atraso no crescimento, falhas reprodutivas como a redução da produção de ovos e da sua eclosão. Pode também provocar lacrimação, queratinização dos tecidos, aumento da pressão do fluido cefaloespinal. Como existem reservas de vitamina A, os sintomas de deficiência não se manifestam de imediato.

O excesso de vitaminas tem também efeitos negativos e os sintomas são idênticos aos provocados por deficiência. É possível reduzir este excesso, pois tanto o caroteno como a vitamina A podem ser destruídos por oxidação.

Entre as diferentes espécies as diferenças em necessidades de vitamina A não são muito significativas.



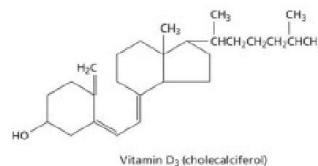
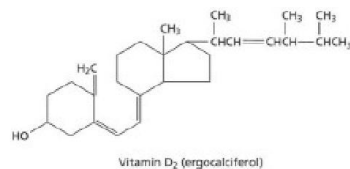
## Vitamina D

### Natureza química

A vitamina D surge na natureza sob duas formas, que são as mais importantes embora existam mais. São elas a ergocalciferol (D2) e colecalciferol (D3).

Os animais são capazes de sintetizar vitamina D através da radiação UV e do colesterol.

Os mamíferos utilizam as duas vitaminas que tem a mesma potência. As aves usam mal a vitamina D2 que tem apenas 10% da potência da D3. Os peixes necessitam da presença da vitamina D3 na dieta.



### Metabolismo

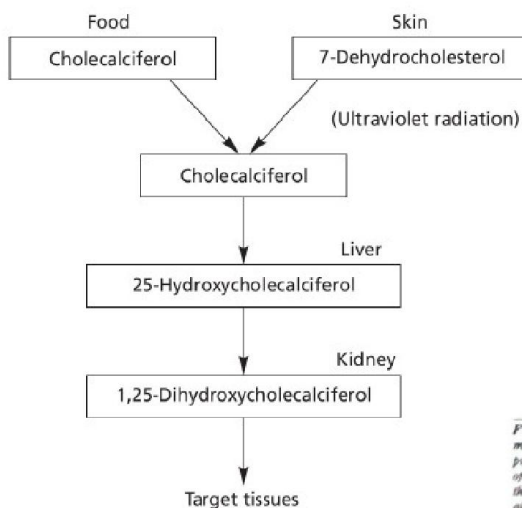
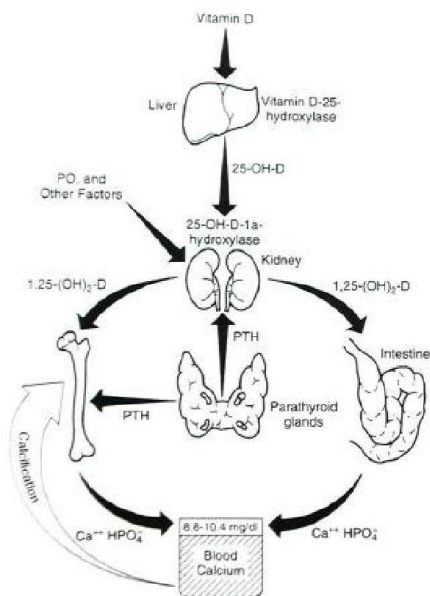


Fig. meta. prop. of ca. the k. also

### Funções e sinais de deficiência

A vitamina é importante na formação de osso na medida em que intervém no metabolismo (mobilização, transporte e absorção) do cálcio e do fósforo na corrente sanguínea e nos tecidos. Intervém também no metabolismo do CHO e é importante no crescimento.

Deficiências em vitamina D causam insuficiência na mineralização do osso que leva a raquitismo. Pode causar também ovos moles e redução da sua produção e eclosão.

Uma hipervitaminose pode causar descalcificação do esqueleto e calcificação dos tecidos moles.

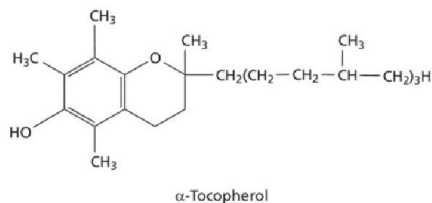
## Vitamina E

### Natureza química

A vitamina E é um grupo que inclui muitos compostos relativamente

semelhantes. As formas que ocorrem na natureza podem ser divididas em dois grupos, saturadas e insaturadas.

As quatro vitaminas saturadas são designadas por  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  e  $\delta$  – tocoferol. A forma  $\alpha$  é a mais biologicamente ativa e que está distribuída mais largamente.



	Structure	Biological activity*
$\alpha$ -Tocopherol	5,7,8-Trimethyltolcol†	100
$\beta$ -Tocopherol	5,8-Dimethyltolcol	15–40
$\gamma$ -Tocopherol	7,8-Dimethyltolcol	8–20
$\delta$ -Tocopherol	8-Methyltolcol	0.3–0.7

### Funções e sinais de deficiência

A vitamina E funciona como antioxidante na proteção dos lípidos das membranas das células contra a oxidação. É importante também na estrutura muscular e na reprodução, nomeadamente ao nível do epitélio seminífero.

As deficiências em vitamina E provocam degeneração do músculo, anemia, distúrbios alimentares, alterações na função imune, problemas no fígado e até morte súbita.

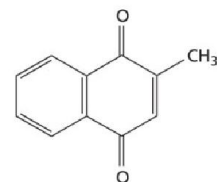
Vitaminas E e outros antioxidantes são adicionados a dieta para evitar a degradação de ácidos gordos insaturados. Esta adição é importante pois uma vez utilizadas as vitaminas são destruídas e é então necessário repor. A vitamina E atua em conjunto com o nutriente selénio.

## Vitamina K

### Natureza química

São conhecidas várias formas de vitamina K. Todos os compostos que exibem atividade da vitamina K possuem a menadiona, que os animais são incapazes de sintetizar, mas as plantas e as bactérias conseguem. Existem 2 formas, a fitoquinona nas plantas e menaquinona nos microrganismos.

Os peixes necessitam de vitamina K mas os ruminantes e herbívoros dispensam.



Menadione (2-methyl-1,4-naphthoquinone)

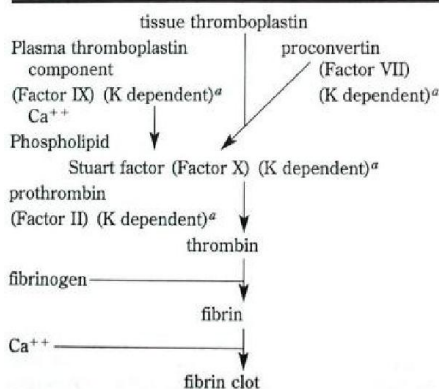
## Funções e sinais de deficiência

A vitamina K é importante na formação de protrombina e na coagulação do sangue. Deficiências nesta vitamina podem resultar na redução da capacidade de formar coágulos, em hemorragias internas e morte.

Os micróbios presentes no sistema digestivo dos animais sintetizam vitamina K. Mas se não houver um suplemento na dieta desta vitamina aquando de um tratamento com antibióticos pode resultar numa deficiência em vit.k.

O dicumarol é um ingrediente presente no veneno pra ratos e atua na medida em inibe a atividade da vitamina K.

TABLE 14.3 Vitamin K involvement in blood clotting.



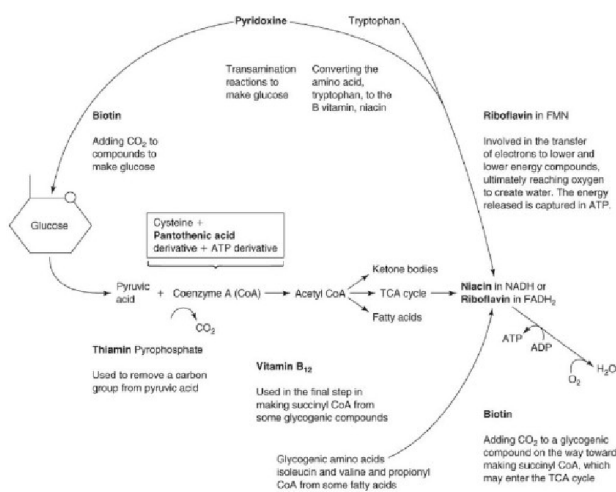
<sup>a</sup>Synthesis of each is inhibited by vitamin K antagonists.

## Complexo de vitamina B

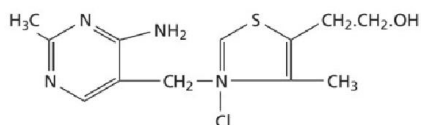
Estas enzimas são todas solúveis em água e a maioria delas são componentes de coenzimas. Intervêm no transporte de H e grupos acil-.

A ligação entre os sintomas de deficiência e as falhas no metabolismo nem sempre é claro. No entanto falhas em vitamina B influenciam as necessidades de HC, lípidos e proteínas., têm influências no metabolismo intermediário.

As quantidades necessárias na dieta são mínimas.



## Tiamina (B1)



Thiamin chloride

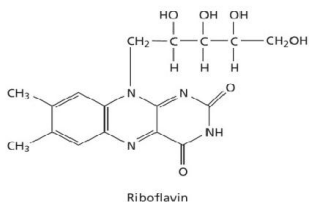
A tiamina está envolvida no funcionamento do sistema nervo e participa na produção de ATP a partir de moléculas orgânicas. É utilizada também na descarboxilação do cetoácidos e reações das transcetolases.

Os sintomas de deficiências incluem supressão de apetite e problemas na digestão. Poliencefalomalacia é um problema que surge nos ruminantes como consequência da falta de tiamina. Nas galinhas a reprodução é debilitada pela falta de tiamina.

O peixe cru contém tiaminase, uma enzima que destrói a tiamina após um contato muito prolongado. Uma deficiência em tiamina poderia surgir depois da ingestão de uma dieta com peixe cru.

Esta vitamina é relativamente não tóxica e raramente se esgotam as reversas.

### Riboflavina (B2)

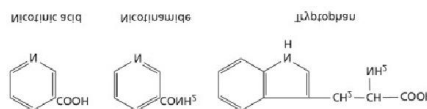


Riboflavina é um cofator de muitos sistemas de enzimas. Participa na produção de ATP a partir de moléculas orgânicas, também funciona como antioxidante e é importante no metabolismo de proteínas e CHO.

Deficiências em riboflavina podem causar queda de cabelos, problemas neurológicos e alterações na composição do sangue. Em galinhas a função reprodutiva é debilitada. Pode causar cegueira noturna em cavalos, problemas nas pernas nos porcos, paralisia em pássaros.

A riboflavina não é tóxica.

### Ácido nicotínico ou niacina (B3)

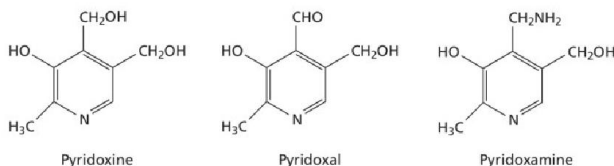


A niacina também participa na produção de ATP. É necessária para a manutenção de uma saúde normal da pele. É constituinte de coenzimas, de NAD e NADP.

Deficiências em niacina resultam em redução do crescimento, distúrbios alimentares e problemas na pele, inflamação e ulceração da boca e do tubo digestivo. Em vacas lactantes, altos níveis de niacina podem reduzir a concentração de cetona no plasma e pode ajudar a baixar os índices de cetoses.

O triptofano pode ser convertido em vitamina B3 nos tecidos corporais.

### Piridoxina (B6)



A forma ativa é a pirodoxal fosfato.

A piridoxina está envolvida no metabolismo das proteínas. É um cofator para muitos sistemas de enzimas, incluindo aqueles envolvidos na síntese de neurotransmissores. Participa na produção de ATP a partir de moléculas orgânicas.

As deficiências resultam em redução do crescimento, debilitação da função imune, fígado gordo, alterações do sistema nervoso, alterações na composição do sangue, anemia. Nas galinhas, a função reprodutora é debilitada.

Em caso de hipervitaminose ocorre convulsões e morte.

### Ácido pantoténico (B5)

A vitamina B5 faz parte da coenzima A, intervém na transferência de acilo, na produção de ATP a partir de moléculas orgânicas. É também necessário para manter uma saúde da pele normal e está envolvido no metabolismo de gorduras e na síntese de cetona.

Deficiências resultam em problemas de pele, distúrbios nervosos, problemas digestivos e debilitação da função imune, retardamento no crescimento e problemas na reprodução. Em suínos, deficiências nesta vitamina pode provocar uma mancha anormal. Em galinhas a função reprodutiva fica debilitada.

É relativamente não tóxico. Apresenta baixos níveis em grãos de cereais.

### Ácido fólico (B9)

Está relacionado com o metabolismo da vitamina B12, envolvida na formação dos constituintes do sangue e na conversão de serina em glicina, que tem especial importância em aves domésticas, pois nessas espécies a glicina é um aminoácido que não conseguem sintetizar em quantidades suficientes para garantir o crescimento máximo. Intervém no transporte de carbonos.

Sintomas de deficiências incluem variações na composição do sangue, condições da pele pobres e problemas com a cartilagem dos ossos. Podem também causar anemia, paralisia cervical em perus e atrasos no crescimento. E nas galinhas causam também problemas na reprodução.

É não tóxico.

### Cianocobalamina (B12)

É a vitamina mais complexa, uma molécula grande com anéis pirrol, com núcleo central de cobalto e cianato. Para ser absorvida tem de ser ligada a um fator intrínseco. Intervém no metabolismo de grupos metil, em reações de isomerização. É cofator para muitos sistemas de enzimas, incluindo no metabolismo de proteínas e na síntese de ADN. Participa também na produção de ATP.

Os sintomas de deficiências podem ser anemia, distúrbios neurológicos, redução do crescimento. Pode também causar danos nos rins e alterações na composição do sangue.

É não tóxico, e não está disponível em fontes vegetais.

As necessidades em vitamina B12 são mínimas.

### Biotina (B7)

Esta vitamina funciona como coenzima, intervém em reações de carboxilação e descarboxilação e na fixação de dióxido de carbono. Participa também na síntese de ATP. Tem um papel importante na gliconeogénese e na síntese de ácidos gordos. Está envolvida na manutenção do colagénio.

Deficiências nesta enzima podem causar dermatite e perda de cabelo, redução no crescimento. Podem surgir também problemas de pele, olhos e pés. Em galinhas provoca também problemas na reprodução. Os ovos crus contêm um composto, avidina, que forma um complexo de indigestível de biotina, e os animais que os consomem podem desenvolver então carências nesta vitamina.

Esta enzima é não tóxica e provem de forma adequada da dieta ou da síntese intestinal.

As necessidades nesta vitamina são reduzidas.

### **Colina**

A colina é importante em reações de transferência de grupos metil. É um componente de fosfolípidos e intervém na síntese de acetilcolina que é um

neurotransmissor. Tem um papel importante na formação da membrana das células e no metabolismo de ácidos gordos.

As necessidades nesta vitamina são elevadas, na ordem da grama, pois são importantes ao nível dos aminoácidos. Pode ser sintetizada no corpo especialmente em casos de dietas com elevadas proteínas.

Deficiências nesta enzima causam fígado gordo, degeneração dos rins, redução no crescimento e na reprodução, problemas na lactação em suínos. Pode provocar alterações na constituição do sangue.

Em caso de hipervitaminose ocorre diarreia persistente.

## **Vitamina C**

A vitamina C intervém na formação de colagénio e no transporte de hidrogénio. Tem função de antioxidante, e por isso ajuda a proteger os lípidos das membranas das células da destruição por reação com o oxigénio, e de reparação de tecidos. Está envolvida no metabolismo de aminoácidos e no crescimento dos ossos.

Deficiências em vitamina C podem causar problemas nas gengivas, hemorragias, anemia, inchaços nas articulações. Pode causar anomalias na estrutura e suportes de cartilagens. Falhas em vitamina C causam também debilidade na resposta imune e na função reprodutora. Nos peixes, dietas contaminadas com metais pesados ou pesticidas, causam deficiências em vitamina C.

Esta vitamina é não tóxica e pode ser sintetizada nos tecidos corporais.

## **Mioinositol**

Inositol é um componente estrutural de fosfolípidos encontrado nas membranas das células. Está envolvido no metabolismo e transporte de lípidos, e em vários processos celulares, incluindo a glicogenólise no fígado e na libertação de insulina pelo pâncreas.

Deficiências em mioinositol provocam anorexia, fraco crescimento, anemia, fígado gordo, coloração escura da pele, diminuição da atividade da colinesterase e aminotransferase.

### **Fatores que influenciam as necessidades em vitaminas no gado:**

- Stresses ambientais que levam a tensões no animal, a doenças infecciosas, parasitas internos e externos e outras condições que reduzem o consumo de alimento e reduzem a absorção de vitaminas pelo intestino;
- Distúrbios na microflora intestinal;
- Biodisponibilidade ou estabilidade de várias fontes vitamínicas em certos alimentos;
- Relação entre certas vitaminas e outros nutrientes.

### **Fatores ambientais que influenciam a estabilidade de vitaminas**

Oxidação, redução, calor, luz e pH.

## Minerais

### Classificação dos minerais

Os minerais podem dividir-se em:

- Macro elementos – quantidades dos gramas, são os mais abundantes.
    - Cálcio e fósforo – constituição dos ossos
    - Sódio e potássio – regulação
    - Enxofre – aminoácidos
    - Magnésio – co-fator enzimático e constituição dos ossos
  - Oligoelementos – quantidades dos miligramas, muitos são co-fatores enzimáticos e intervêm na regulação da atividade enzimática.
- Os minerais intervêm no metabolismo intermediário e na produção de energia.

**Table 6.1** Nutritionally important essential mineral elements and their approximate concentration in the animal

Major elements	g/kg	Trace elements	mg/kg
Calcium	15	Iron	20-80
Phosphorus	10	Zinc	10-50
Potassium	2	Copper	1-5
Sodium	1.6	Molybdenum	1-4
Chlorine	1.1	Selenium	1-2
Sulphur	1.5	Iodine	0.3-0.6
Magnesium	0.4	Manganese	0.2-0.5
		Cobalt	0.02-0.1

### SUMMARY

Minerals fulfil physiological, structural and regulatory functions. Mineral supplements take various forms: mineral salts, rumen boluses, 'organic' compounds and pasture applications. The roles of individual mineral elements, and the effects of their deficiencies, are summarised below:

Mineral element	Role	Effects of deficiency
Calcium	Bone and teeth, transmission of nerve impulses	Rickets, osteomalacia, thin eggshells, milk fever
Phosphorus	Bone and teeth, energy metabolism	Rickets, osteomalacia, depraved appetite, poor fertility
Potassium	Osmoregulation, acid-base balance, nerve and muscle excitation	Retarded growth, weakness
Sodium	Acid-base balance, osmoregulation	Dehydration, poor growth, poor egg production
Chlorine	Acid-base balance, osmoregulation, gastric secretion	Alkalosis
Sulphur	Structure of amino acids, vitamins and hormones, chondroitin	Equivalent to protein deficiency (urea-supplemented diets)
Magnesium	Bone, activator of enzymes for carbohydrate and lipid metabolism	Nervous irritability and convulsions, hypomagnesaemia
Iron	Haemoglobin, enzymes of electron transport chain	Anaemia
Copper	Haemoglobin synthesis, enzyme systems, pigments	Anaemia, poor growth, depigmentation of hair and wool, swayback
Cobalt	Component of vitamin B <sub>12</sub>	Pining (emaciation, anaemia, listlessness)
Iodine	Thyroid hormones	Goitre; hairless, weak or dead young
Manganese	Enzyme activation	Retarded growth, skeletal abnormality, ataxia
Zinc	Enzyme component and activator	Parakeratosis, poor growth, depressed appetite
Selenium	Component of glutathione peroxidase, iodine metabolism, immune function	Myopathy, exudative diathesis

### Cálcio

O cálcio é o mineral mais abundante no corpo, e é depositado nos dentes e esqueleto (quantidade de cálcio e fósforo no osso é de 2:1). Exceto nos peixes,



quantidades moderadas de cálcio podem ser retiradas do osso, quando a ingestão de cálcio, não é suficiente para satisfazer os requisitos (por exemplo, o final da gravidez e lactação). Nos peixes, as escamas são um local importante do metabolismo do cálcio e deposição. O cálcio tem um papel fundamental em muitas funções do organismo, incluindo contração muscular, coagulação do sangue, função nervosa, e equilíbrio ácido-base. Nutrição adequada de cálcio é dependente do estado nutricional de fósforo e vitamina D.

O cálcio encontra-se em elevadas quantidades nas cascas dos ovos, por isso é que as galinhas poedeiras têm grandes concentrações de cálcio.

Os peixes podem obter minerais da absorção da água, e o cálcio pode ser obtido desta forma.

De modo geral, não é necessária a suplementação de cálcio na dieta.

### **Fósforo**

O fósforo é o segundo mineral mais abundante no corpo. O fósforo é um componente de ossos, dentes, membranas celulares, e muitas enzimas. O fósforo desempenha um papel importante na produção e utilização de energia. O fósforo também tem funções no crescimento celular, na manutenção do equilíbrio ácido-base, e no equilíbrio osmótico.

O fósforo é poluente.

É importante considerar o fósforo disponível porque nem todo o fósforo ingerido está disponível. Nos alimentos (vegetais), o fósforo não está todo disponível, encontra-se sob a forma de fósforo fítico. Nos animais não está sob esta forma, mas sim sob a forma de fósforo não-fítico que encontramos no osso.

O fósforo fítico estabelece ligações com outros minerais (ex.: ferro) e sob esta forma os animais não conseguem digerir-lo.

### **Magnésio**

O magnésio é necessário para o desenvolvimento normal do osso. O magnésio é um co-fator em muitos sistemas enzimáticos, incluindo aqueles que estão envolvidos na produção de energia. Magnésio adequado é necessário para o funcionamento adequado da hormona da paratiroide que atua para manter o nível de cálcio adequado no sangue. O magnésio também é vital para a função normal do nervo e do músculo.

### **Sódio**

Cerca de dois terços de água do corpo é localizado no interior do corpo das células no fluido intracelular, e o terço restante está fora do corpo das células no líquido extracelular. Sódio é o principal catião inorgânico de fluidos extracelulares. Como tal, ele, juntamente com cloreto de potássio, determina, em grande medida se água entra ou sai das células por meio do processo de osmose. O Sódio, como um catião, é uma fonte de base, o qual é usado no corpo a manter o equilíbrio ácido-base. O sódio, também desempenha um papel na função cardíaca e do nervo. Os rins dos

animais têm a capacidade de conservar sódio em períodos de escassez alimentar e de excreção de sódio em tempos de excesso alimentar. Nos ruminantes, o sódio na saliva é um componente de compostos que tampona o ácido gerado durante a fermentação.

### **Cloro**

O ião cloreto nutricionalmente importante não deve ser confundido com o cloro molecular, o qual existe em condições biológicas como um gás tóxico. Cloreto é o principal anião inorgânico de fluidos extracelulares. Cloreto, como um anião, é uma fonte de ácido, que é usado para a fabricação de ácido clorídrico no estômago, abomaso e proventrículo. Cloreto, em conjunto com os iões de sódio e de potássio, é importante para o processo de osmose que determina o equilíbrio de fluidos das células do corpo.

### **Potássio**

O potássio é o terceiro mineral mais abundante no corpo. Em contraste com o cloreto de sódio, a maior parte do potássio do organismo é encontrado no interior das células do corpo no fluido intracelular. Potássio está envolvido na função neuromuscular.

Potássio está envolvido em numerosos sistemas enzimáticos, incluindo aqueles que estão envolvidos na produção de energia. O potássio também está envolvido na regulação ácido-base e balanço hídrico. É essencial para a função normal do músculo, nervos, rim e tecidos cardíacos.

### **Cobre**

O cobre é necessário na síntese de hemoglobina. Ele é usado na produção de energia. O cobre é um componente de muitos sistemas de enzimas, incluindo aqueles que estão envolvidos na produção de cabelo e o pigmento melanina da pele, a formação de tecido conjuntivo, e a função do sistema imunitário.

### **Iodo**

O iodo é um componente das hormonas da tiróide que regulam a taxa metabólica.

### **Ferro**

O ferro é um componente da hemoglobina nos glóbulos vermelhos. Ele também funciona na produção de energia. O ferro é um componente de muitos sistemas de enzimas.

### **Manganês**

O manganês é um componente dos sistemas de enzimas, incluindo aqueles que estão envolvidos na produção de energia. O manganês é também necessário para o crescimento ósseo adequado.

### **Selénio**

O selénio é um componente da enzima glutathione peroxidase que protege as membranas celulares dos danos do peróxido. Selénio também desempenha um papel essencial no metabolismo da tireóide e na função reprodutiva.

Selénio partilha a sua função antioxidante com vitamina E, e estes nutrientes parecem ter um efeito poupador mútuo um do outro. Os animais que recebem rações que são deficientes em selénio ou vitamina E respondem a quantidades adicionais do outro nutriente. A natureza da relação, no entanto, não foi quantificada.

### **Zinco**

O zinco tem muitas funções nos sistemas enzimáticos, incluindo aqueles que estão envolvidos na produção da hormona insulina. O zinco está associado ao metabolismo de hidratos de carbono, proteínas, e lípidos. O zinco também está envolvido na síntese de leite, reparação de tecidos, produção de esperma e na função imunológica.

### **Enxofre**

Vitaminas B, tiamina e biotina contêm enxofre. O enxofre é igualmente contido nos aminoácidos metionina e cisteína, que são encontrados nas proteínas em todo o corpo. Enxofre está envolvido na produção de energia a partir de nutrientes para alimentação animal.

Não é necessário incluir nas dietas dos monogástricos. Em ruminantes é necessário incluir quando a dieta é deficiente em aminoácidos sulfurosos.

### **Cobalto**

O cobalto é um componente da vitamina B12, e parece que esta é a única utilização de cobalto em gado. Gluconeogénese utiliza a vitamina B12, por micróbios a partir de cobalto, para ligar alguns compostos glicogénicos em glicose (o ruminantes obtêm esta vitamina pelos microrganismos do rúmen, daí a necessidade de cobalto para eles sintetizarem a vitamina). Os monogástricos não necessitam de cobalto.

### **Crómio**

O crómio deve funcionar como um co-fator com a insulina, e, como tal, parece estar envolvido no metabolismo de hidratos de carbono. O crómio pode estar também envolvido no metabolismo de proteínas, lípidios e ácidos nucleicos. A função específica do crómio não é conhecida, mas o crómio utilizado como suplemento em dietas para suínos, por vezes, resulta numa melhor utilização da ração, das características da carcaça, e do desempenho reprodutivo. Em bovinos, os estudos mostraram que a

suplementação com cromo tem potencial para melhorar a função do fígado e aumentar o consumo de matéria seca e a produção de leite. Em outras espécies de suínos e bovinos, o crómio tem sido menos bem estudado e as informações nutricionais são escassas. Mesmo com suínos e bovinos, não há ainda informações suficientes para estabelecer um requisito quantitativo para o crómio.

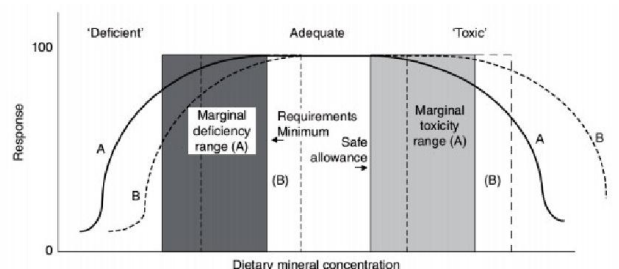


Fig. 1.3. The dose-response relationship between mineral supply and animal production showing marginal bands between adequate and inadequate or toxic dietary concentrations. For a given range of concentrations, the graph and marginal ranges move to the right as absorbability of the mineral source declines; thus A represents the more and B the lesser absorbable of two mineral sources. 'Requirements' are variously set within the central 'Adequate' band, ranging from minimum requirements to safe allowances, depending on the extent to which absorbability and other variables are taken into consideration.

É muito difícil formular dietas que não contenham minerais não necessários. Além disso é difícil garantir que o animal não tenha acesso ao mineral que está a ser estudado (água, ar, etc.).

Nas concentrações baixas há uma resposta linear por parte do animal. Concentrações de minerais elevadas provocam toxicidade e desencadeia uma resposta por parte do animal.

### Sintomas provocados pela deficiência de minerais

Clinical signs of mineral deficiencies.

Mineral	Dietary deficiency symptoms
<b>Macrominerals</b>	
Calcium	Bone disease – osteoporosis (adult), rickets (young); hypocalcaemia – tetany, paresis, abnormal blood clotting, reduced eggshell thickness
Phosphorus	Bone disease – osteomalacia (adults), rickets (young); impaired growth and feed intake, appetite for unusual items (pica)
Magnesium	Impaired neuromuscular activity, tetany, impaired growth, low milk production, urinary calculi; reduced eggshell thickness and hatchability
Sodium	Depressed growth, depressed milk or egg production, pica, reduced milk fat concentration in ruminants
Chloride	Depressed growth, depressed milk or egg production, pica, decreased plasma volume
Potassium	Reduced feed and water intake, impaired growth, muscle weakness; rapid decline in milk production; sudden death in poultry
Sulphur (ruminants only)	Reduced production of microbial protein within rumen, leading to impaired growth or milk production

Clinical signs of mineral deficiencies.

Mineral	Dietary deficiency symptoms
Trace minerals	
Chromium	Impairment of glucose tolerance, reproduction and immune response
Cobalt (ruminants only)	(Used by rumen microbes to produce vitamin B <sub>12</sub> vital for efficient use of propionate.) Reduced growth and productivity
Copper	Anaemia, rough hair coat with fading colours due to inability to make melanin, impaired immune responses; defective collagen synthesis leading to impaired bone growth, osteochondrosis, stillbirths, neonatal ataxia and swayback and, in birds, aortic rupture
Iodine	Inability to make thyroid hormones; goitre; reduced growth, reproduction, milk production and cold tolerance
Iron	Anaemia, reduced growth, intolerance of exercise, reduced immune response
Manganese	Reduced reproductive efficiency, anoestrus; skeletal abnormalities and reduced growth in length of bones, perosis and slipped tendons in birds
Selenium	Degeneration of skeletal muscle, 'white muscle disease' and cardiac muscle 'mulberry heart disease', leading to muscle weakness and heart failure; impaired immune responses; retained placenta in cattle; infertility in many species
Zinc	Impaired keratin production resulting in rough hair coat, dermatitis (parakeratosis in swine), weak hooves, poor feathering; impaired immune response (lack of thymus development); impaired wound healing; reduced growth; short, thick bones; testicular hypoplasia

## Interações minerais

O excesso de um mineral pode provocar efeitos no outro (absorção no trato digestivo).

Existem níveis máximos de minerais nas rações para evitar a toxicidade.

Os minerais podem ser obtidos nos alimentos, mas também por fontes inorgânicas. A disponibilidade depende como o mineral é fornecido. De um modo geral, os minerais que estão ligados a moléculas orgânicas têm disponibilidade mais elevada do que os que estão ligados a moléculas inorgânicas.