

Nutrição Animal

29 de Abril de 2020

**Valorização energética
dos alimentos**

Digestão e digestibilidade dos diversos sistemas digestivos

Função	Monogástricos	Ruminantes	Fermentadores pós-gástricos
Carboidratos (utilização direta da dieta)	Sim (absorvida como glucose)	Não (fermentados até AGV)	Sim (absorvida como glucose)
Proteína (utilização direta da dieta)	Sim	Limitada (maioria convertida em proteína microbiana)	Sim
Gorduras/lipidos (utilização direta da dieta)	Sim	Alguma (maioria fermentada em AGV)	Sim
Digestão e extração de energia da celulose	Muito limitada (intestino grosso)	Sim (Rúmen/retículo)	Sim (intestino grosso)
Utilização de Proteína microbiana	Não	Sim (60-80% aa de origem microbiana)	Não



Digestão e digestibilidade dos diversos sistemas digestivos

Hidratos de Carbono

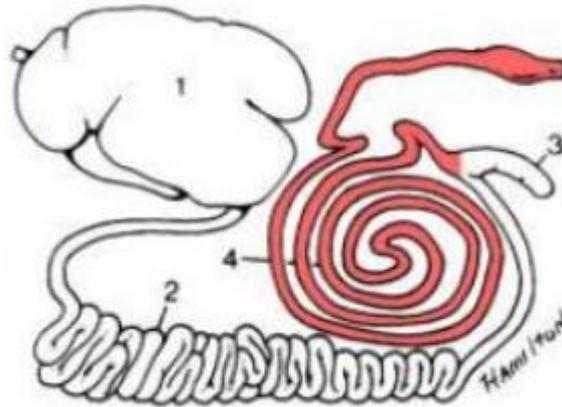
Rúmen



Ácidos Gordos
Voláteis
Metano



Butírico – 15 ATP
Acético – 10 ATP
Propiónico – 17 ATP



Intestino
delgado



Glucose



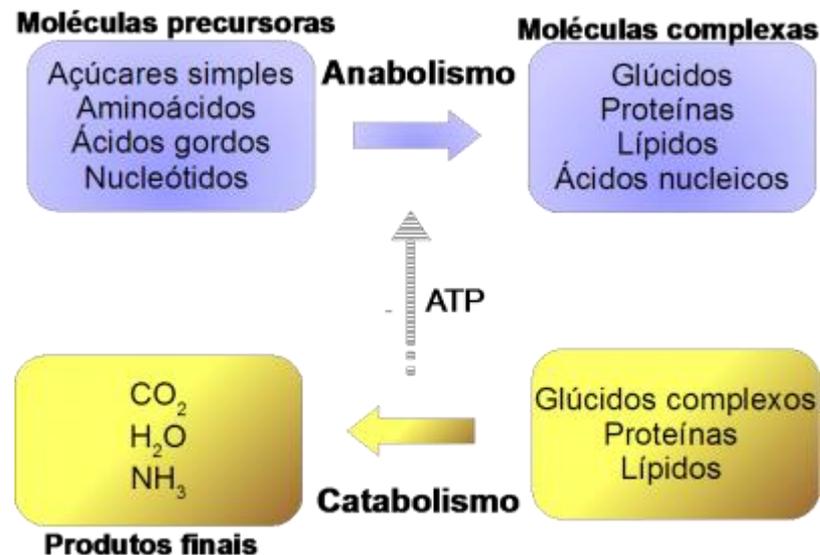
38 ATP

Metabolismo

Conjunto de reações químicas do organismo, responsáveis pelos processos de síntese e degradação dos nutrientes na célula, dependentes de enzimas, que têm a função de transformar os nutrientes ricos em energia em produção de energia útil para a célula (ATP)

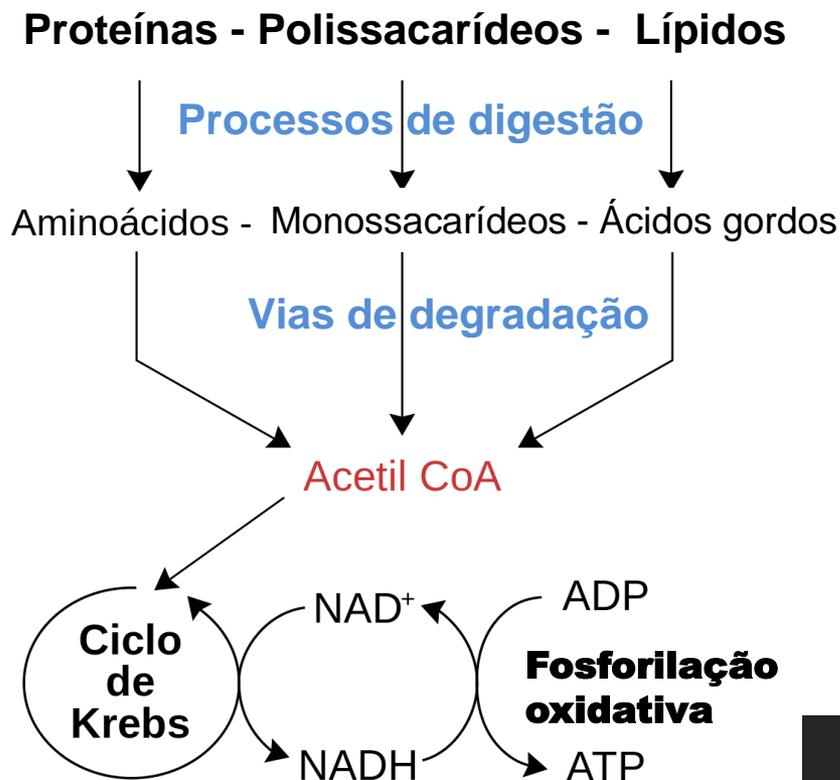
Catabolismo – (degradação – Libertação de ATP)

Anabolismo – (síntese – Consumo de ATP)



Metabolismo

- Constituintes orgânicos do alimento (**proteínas, gorduras e carboidratos**) representam uma **energia química** a ser utilizada pelo organismo animal.
- As **vitaminas e os minerais**, representam os **meios de viabilização** desta energia.



ENERGIA



ENERGIA

Alimento

Energia química

Transferência de energia

Energia para manutenção e produção

Mecânica

(atividade muscular)

Calórica

(regulação da temperatura corporal)

O valor energético constitui uma base para expressar o Valor Nutritivo dos alimentos.

ENERGIA

Animal privado de alimento continua a ter necessidades de energia

- Energia necessária para os processos vitais do corpo é obtida a partir do **catabolismo das reservas corporais**.



Num animal alimentado:

- Energia necessária para os processos vitais do corpo é a **energia de manutenção**, necessária para evitar o catabolismo dos tecidos do corpo.

- Fatores que afetam o conteúdo energético dos alimentos
- Partição da energia dos alimentos no animal
- Medição do metabolismo energético
- Diferentes métodos usados para expressar a energia.

Energia Bruta (EB)

Energia Bruta do alimento
(energia química)

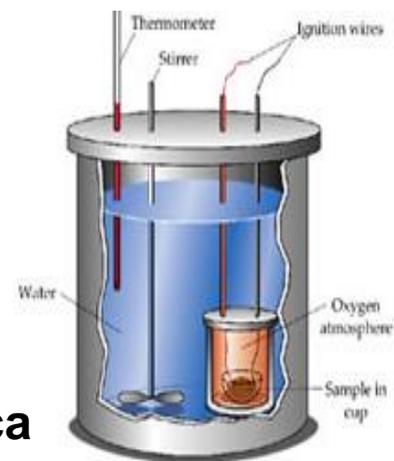


Conversão em energia calórica

Determinação da EB



Bomba
Calorimétrica



Oxidação do alimento (por combustão) → produção de calor

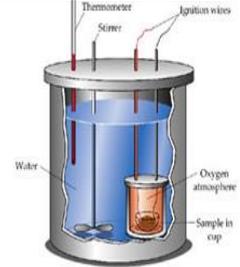
Expressa como a relação entre Carbono + Hidrogénio / Oxigénio

A Bomba Calorimétrica pode também ser usada para determinar a energia bruta dos constituintes (proteínas, gorduras e carboidratos) do alimento

Energia Bruta (EB)

ENERGIA

Sistema de Atwater é baseado no calor de combustão de proteínas, gorduras e carboidratos,



Carboidratos - Têm relações (C, O e H) semelhantes **EB \approx 17,5 MJ/kg MS**

Lípidos - Triacilgliceróis tem **menos oxigênio** - **EB \approx 39 MJ/kg MS**

- Ácidos gordos de cadeia curta (ácidos gordos voláteis)- EB mais baixos

Proteína – Têm elementos oxidável – Azoto e enxofre - **EB \approx 23,6 MJ / kg**

Apesar das diferenças de EB entre os diferentes componentes alimentares, na maioria dos alimentos para os animais os carboidratos são os componentes predominantes, pelo que os valores de EB variam muito pouco

EB \approx 18,4 MJ / kg de MS

Energia Bruta (EB)

ENERGIA

Nem toda a EB dos alimentos está disponível para utilização pelo animal.

Parte desta EB é perdida nos vários produtos excretados sólidos, líquidos ou gasosos, e outra parte é perdida como calor.

Energia Bruta (EB)



PERDAS



Energia Fezes

ENERGIA

Energia Bruta (EB)

ENERGIA



Energia Digestível (ED)

Energia Digestível (ED) de um alimento é a sua EB menos a energia excretada nas fezes (expresso em MJ / kg de alimento consumido)

$$ED_{\text{Alimento}} = EB_{\text{Alimento}} - \text{Perdas energéticas Fezes}$$



Energia Digestível (ED)

ENERGIA

$$ED = \text{Energia Bruta do alimento} \times \text{Digestibilidade Energia Bruta}$$



$$D EB = (\text{EB ingerida} - \text{EB Fezes}) / \text{EB ingerida}$$

Exemplo:

Ovinos

Consomem 1,63 kg MS de feno

Energia Bruta 18 MJ/kg MS feno

$$1,63 \text{ kg MS} \times 18 \text{ MJ/kg MS} = \mathbf{29,3 \text{ MJ EB/dia (ingestão de EB)}}$$

A energia das fezes foi: 18,7 MJ/kg MS de fezes

A excreção foi de: 0,76 kg MS/dia

$$18,7 \text{ MJ/kg} \times 0,76 \text{ kg/dia} = \mathbf{14,2 \text{ MJ EB/dia (perda de EB nas Fezes)}}$$

$$\text{Digestibilidade Aparente da Energia} = (29,3 - 14,2) / 29,3 = 0.515$$

$$ED \text{ do feno} = 18 \text{ MJ/kg MS feno} \times 0.515 = \mathbf{9,3 \text{ MJ/kg MS}}$$

Factores que influenciam a digestibilidade dos alimentos

- Espécie animal
- Composição química dos alimentos
- Composição da ração
- Nível de ingestão
- Preparação do alimento



ENERGIA

Energia Bruta (EB)

PERDAS

Energia Fezes

Energia Digestível (ED)

PERDAS

Energia urina
Energia Metano

Constituem cerca de:

Suíños – 2 a 3 % da EB ingerida
Ruminantes – 3 a 6 % da EB ing.

Energia Metabolizável (EM)

Monogástricos - despreza-se
Ruminantes – Média 8% da EB ing.
(2,5 a 11%)

A energia metabolizável (EM) de um alimento é a sua EB menos a energia excretada nas fezes, urina e metano (todos expressos como MJ / kg de alimento DM consumido).

- Ingestão
- Tipo de alimento
- Forma física do alimento

$EM \text{ Alimento} = ED \text{ Alimento} - \text{Perdas energéticas urinárias e gasosas}$

$EM \text{ Alimento} = EB \text{ Alimento} - (EB \text{ Fezes} + EB \text{ Urina} + EB \text{ Metano})$

Energia Metabolizável (EM)

Determinação da Energia Metabolizável

Ensaio semelhante aos da determinação da digestibilidade, com controlo e registo das fezes, urinas e produção de metano

Se não se dispõe de Câmara respiratória

Considera-se que:

Produção de metano 8% da EB ingerida

EM Alimento = 0,8 x ED Alimento

Ruminantes

19 % da energia aparentemente digerível é excretada na urina e sob a forma de metano



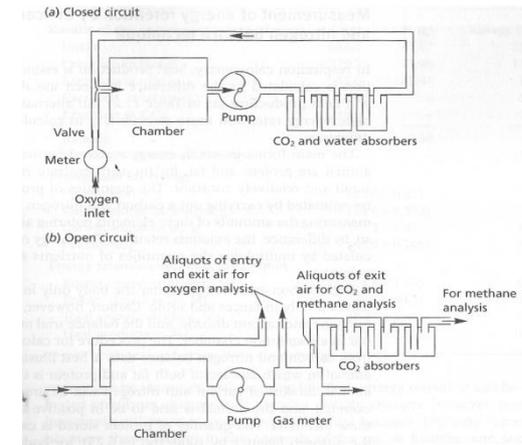
Fezes e urina excretados em conjunto



Determinação da EM mais fácil que a determinação da ED

ENERGIA

Controlo dos gases produzidos
Câmaras



Energia Metabolizável (EM)

ENERGIA

Factores que afectam a EM dos Alimentos

Os principais factores que afectam a EM são os que afectam a Digestibilidade

1. Espécie Animal

Tipo de digestão

Perdas urinárias e gasosas são maiores nos ruminantes do que em monogástricos

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
	Grass silage	19.0	5.0	0.9	1.5	11.6
Cattle	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

*Uncorrected values—see text—expressed as MJ per kg food dry matter.

Energia Metabolizável (EM)

ENERGIA

Factores que afectam a EM dos Alimentos

1. Espécie Animal

Tipo de digestão

Perdas urinárias e gasosas são maiores nos ruminantes do que em monogástricos

2. Preparação do alimento

Moenda e granulação dos alimentos grosseiros
Ruminantes - ↑ das perdas fecais de energia
Moenda dos cereais
Aves – não afecta

3. Nível de Ingestão

↑ do nível alimentar

→ ↓ da digestibilidade do alimento

↓
↑ fezes



↓ EM

Energia Metabolizável (EM)

ENERGIA

Factores que afectam a EM dos Alimentos

4. Aminoácidos absorvidos

Depende do grau com que o N é excretado

EM de um alimento depende:

- **Se os aa são absorvidos pelo animal** para a síntese de proteínas
ou
- **Se são desamimados** e o azoto é **excretado na urina** como ureia.

Os valores de EM para um dado alimento são corrigidos para um balanço azotado = 0

Retirando a cada g de N retido cerca de:

28 kJ – Suínos

31 kJ – Ruminantes

34 kJ - Aves

Energia Metabolizável (EM)

Factores que afectam a EM dos Alimentos

4. Aminoácidos absorvidos

Balanço positivo

Maior proporção de aminoácidos absorvidos e utilizados na síntese proteica

Maior Valor de EM para os alimentos



/g N retido desconta-se:

Correcção Negativa

28 kJ – Suínos

31 kJ – Ruminantes

34 kJ - Aves

Balanço negativo

Maior desaminação dos Aminoácidos

Maior excreção urinária de Azoto

Menor Valor de EM para os alimentos



/g N retido soma-se:

Correcção Positiva

ENERGIA

Energia Bruta (EB)

PERDAS

Energia Fezes

Energia Digestível (ED)

PERDAS

**Energia urina
Energia Metano**

Energia Metabolizável (EM)

PERDAS

Incremento Calórico

Energia Limpa (EL)

EL Alimento = EM Alimento – Incremento Calórico

Incremento Calórico

ENERGIA

Perdas de energia

- Fezes
 - Urina
 - Metano
 - **Calor**
- **Metabolismo basal** (jejum metabólico)
 - Incremento de calor com a **alimentação**
 - Processo da **digestão**

Animal em jejum

Alimento



Este aumento da produção de calor denomina-se:



Aumento da produção de calor acima da produção basal de calor (metabolismo basal)

Incremento Calórico dos Alimentos

Causas:

1. Processo de digestão - mastigação, deglutição, secreção de saliva, eructação

requerem certa actividade muscular que requer energia, fornecida pelos nutrientes

Ruminantes – custo energético de 3 a 6% da EM ingerida

2. Calor de Fermentação

Ruminantes - 7 a 8 % da EM ingerida

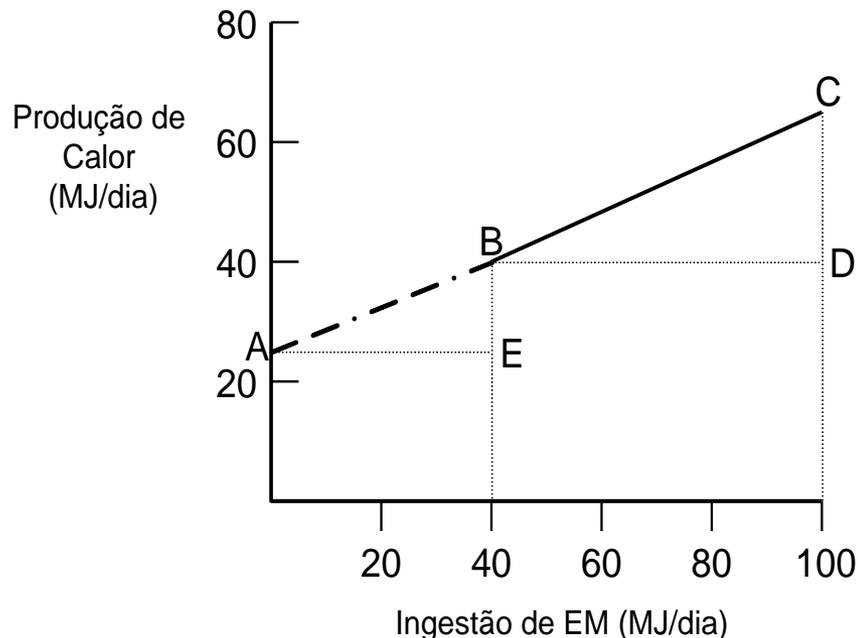
3. Metabolismo dos nutrientes

- Metabolismo dos nutrientes também produz calor
- Varia com a **natureza do alimento, espécie do animal e processo de utilização do nutriente**

Incremento Calórico dos Alimentos

ENERGIA

Determina-se por diferença de produção de calor a 2 níveis de alimentação



A – Metabolismo Basal
B e C – produção de Calor a níveis de ingestão de 40 e 100 MJ respectivamente

$$IC = \Delta \text{ Produção de Calor} / \Delta \text{ Ingestão}$$

$$IC = CD/BD$$

$$IC = 64-40 / 100-40 = 24 / 60 = 0,4$$

Se for um alimento único a ser testado
Fornece-se o alimento em **dois** níveis de ingestão

Se for mais de um alimento a ser testado

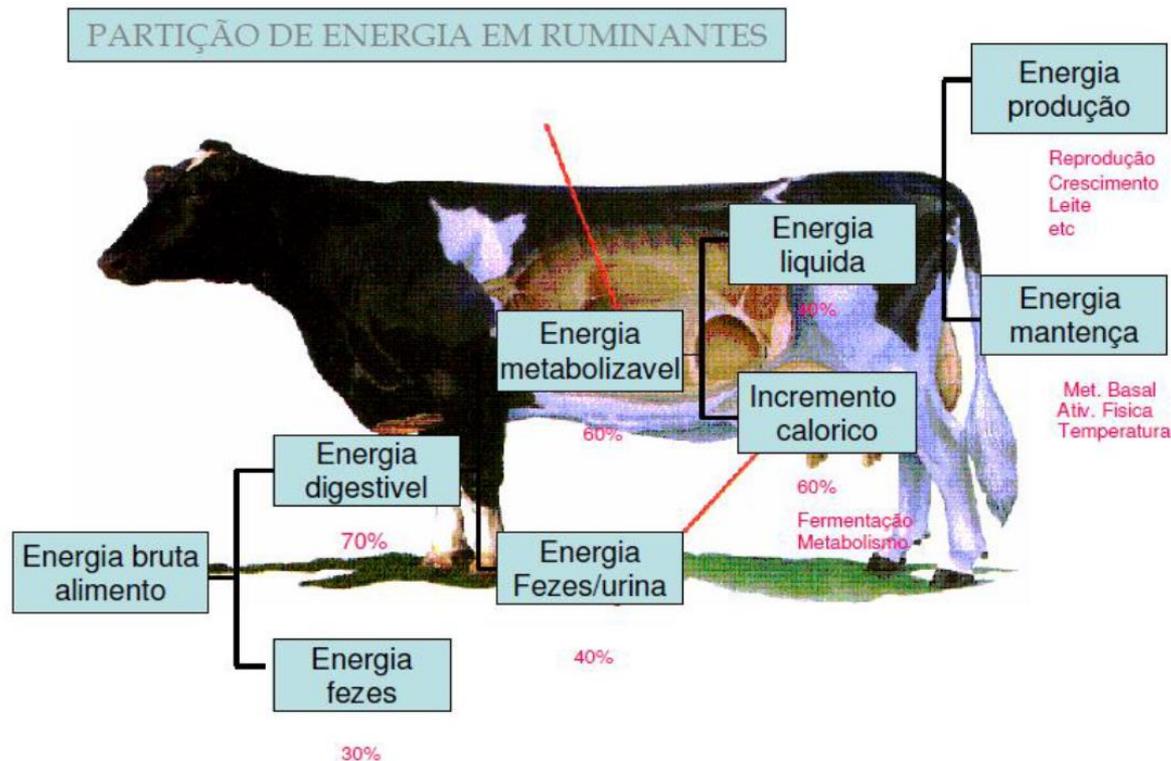
- **Nível inferior** de ingestão fornece-se só a **dieta base**
- **Nível superior** fornece-se a mesma quantidade de **dieta base** mais o **alimento em estudo**

Energia Limpa (EL)

ENERGIA

EL Alimento = EM Alimento – Incremento Calórico

EL é usada pelo animal para satisfazer as suas necessidades de manutenção e formar novos tecidos corporais (crescimento) ou produtos (leite ou ovos).



ENERGIA

Energia Bruta (EB)

PERDAS

Energia Fezes

Energia Digestível (ED)

PERDAS

**Energia urina
Energia Metano**

Energia Metabolizável (EM)

PERDAS

Incremento Calórico

Energia Limpa ou NET (EL / EN)

**Energia para
produção**

**Energia para
manutenção**

Energia Limpa (EL)



**Energia para
produção**

**Energia para
manutenção**

ENERGIA



Energia Limpa (EL)



Energia para produção

Energia que fica retida no animal ou que é excretada sob a forma química

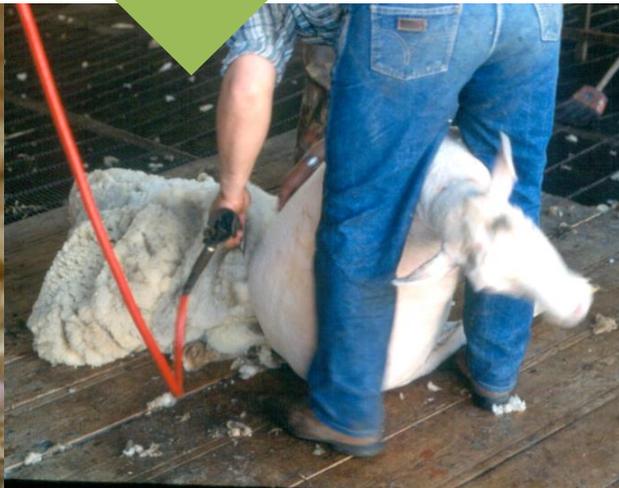
ENERGIA RETIDA

Crescimento

- Energia utilizada para o crescimento dos ossos, pele...

Produção

- Energia para actividade produtiva (leite, ovos, lã...)



ENERGIA

Energia Limpa (EL)

ENERGIA



Energia para manutenção

É a fracção de **EL** utilizada para **manter o animal em equilíbrio energético** e que é libertada sob a forma de **calor**

Metabolismo basal

- Dispêndio energético mínimo para manutenção dos sistemas vitais
- Actividade involuntária muscular (batimento coração)

Act sint.

- Energia para transporte ativo de substâncias
- Síntese de componentes do corpo (enzimas e hormonas)

Termo

- Dispêndio energético com a termorregulação

Energia libertada sob a forma de **calor**

ENERGIA

Energia Bruta (EB)

PERDAS

Energia Fezes

Energia Digestível (ED)

PERDAS

Energia urina
Energia Metano

Energia Metabolizável (EM)

PERDAS

Incremento Calórico

Energia Limpa (EL)

Energia libertada
sob a forma de calor

Energia para
produção

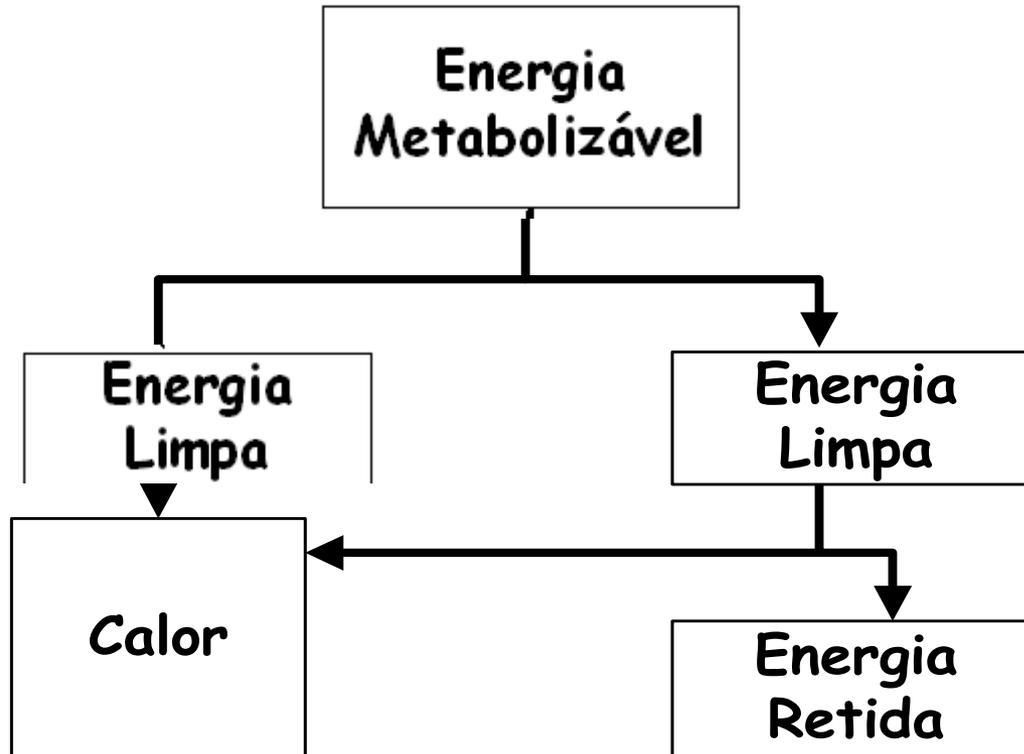
Energia para
manutenção

Perda total
de calor

Métodos de medição do calor de produção e retenção de energia

CALORIMETRIA ANIMAL

Calorimetria \approx medição do calor



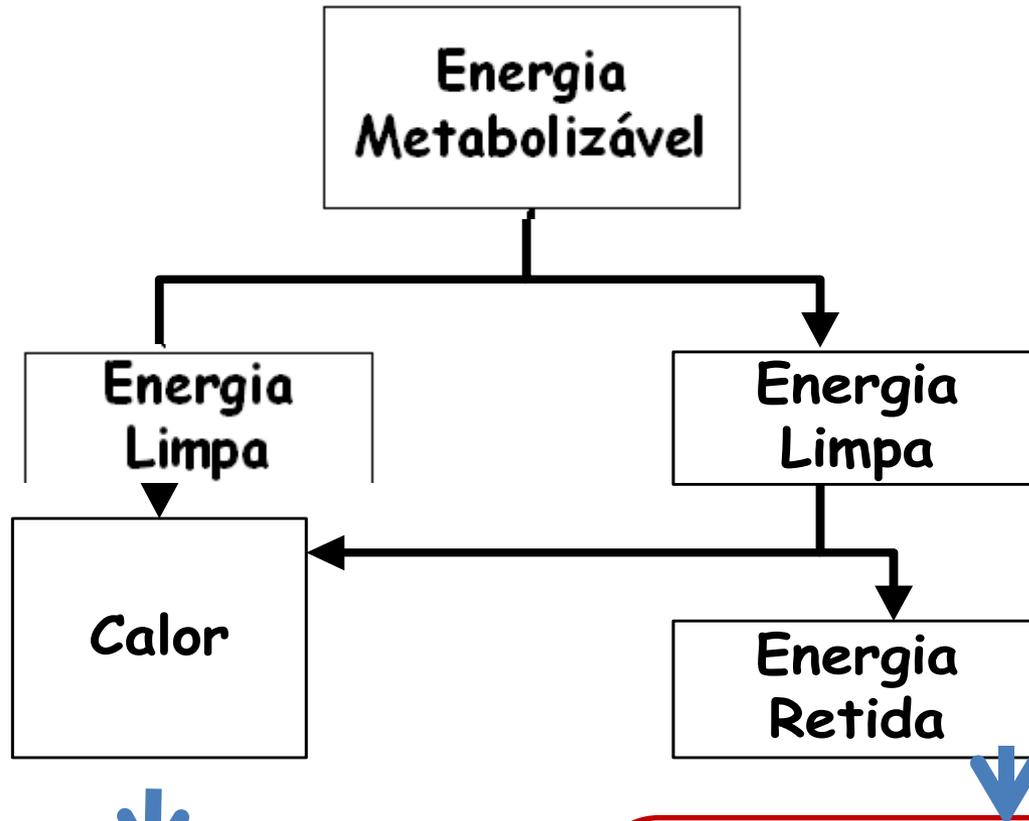
EM Alimento = Energia Retida + Produção de Calor

?

Métodos de medição do calor de produção e retenção de energia

CALORIMETRIA ANIMAL

Calorimetria \approx medição do calor



Medir a Produção de Calor:
Calorimetria directa
Calorimetria Indirecta

Medir a Energia Retida:
Calorimetria Indirecta
Variação do peso vivo
Método dos abates comparativos
Marcadores – Determinação da composição corporal

Métodos de medição do calor de produção e retenção de energia

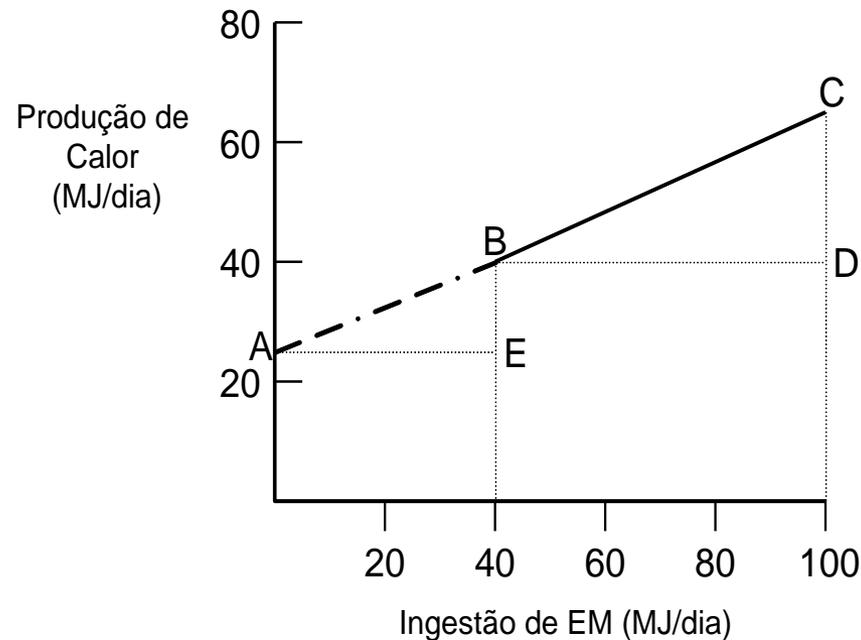
CALORIMETRIA ANIMAL

Calorimetria Directa

Calorímetros animais: câmara herméticas

Animais não armazenam calor

Quantidade de calor perdida = Quantidade de calor produzida



Métodos de medição do calor de produção e retenção de energia

CALORIMETRIA ANIMAL

Calorimetria Indirecta

Medição das trocas respiratórias em **Câmaras Respiratórias**

Produção de calor é estimada a partir do consumo de oxigénio e carbono e a produção de dióxido de carbono

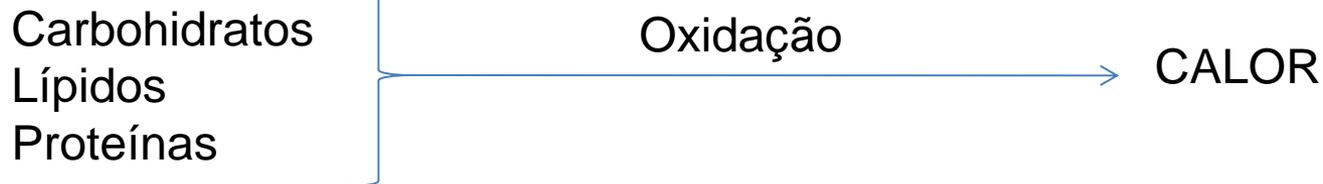
Para se estimar a produção de calor a partir do consumo de oxigénio usam-se:

EQUIVALENTES TÉRMICOS do OXIGÉNIO – ETO

ETO = Prod. Calor 1L O₂ / (N^o moléculas O₂ x Volume de 1 mol. O₂)

Calorimetria indireta por medição de trocas respiratórias

A produção de calor é estimada a partir do consumo de oxigénio



Para se utilizar o Equivalente Térmico do Oxigénio correcto é preciso determinar a quantidade de O_2 que foi usado para cada tipo de nutriente.

1 molécula-grama de O_2 ocupa 22,4 L em condições standard
(temperatura e pressão normais)

Equivalente Térmico do Oxigénio médios:

- ✓ Mistura de carbohidratos – 21,12 KJ/L
- ✓ Mistura de triacilgliceróis – 19,61 KJ/L
- ✓ Proteínas – 18,8 KJ/L

Equivalente térmico médio – 20,0 KJ/L

Medição da Energia Retida através da técnica de balanço de carbono e azoto

EM Alimento = Energia Retida + Produção de Calor

Câmaras de respiração também podem ser usado para estimar a retenção de energia em vez da produção de calor - **Técnica de balanço de carbono e azoto**

Carbono e Azoto (alimento) **>** **Azoto** (excretado fezes e urina) **+** **Carbono** (metano e dióxido de carbono)

Principais formas de armazenamento de energia nos animais em crescimento e engorda – **PROTEÍNA E GORDURA**

Reservas de carboidratos são baixas e relativamente constantes

Quantifica-se a quantidade de N e C que entram (alimentos) e que é excretada (fezes, urina, CO₂ e CH₄)

**balanço conjunto do azoto e carbono =
= quantidade de Proteína e Gordura retidas**

Energia Retida

Medição da energia retida através da técnica de balanço de carbono e azoto

A proteína corporal contém 160 g N / kg (1000/160 = 6,25)

Proteína armazenada é calculada multiplicando-se o balanço de azoto por 6,25

- Quantidade de **Proteína Retida** = $N_{\text{retido}} \times 6,25$
- **1 kg de proteína tem 512 g de Carbono** → E calcula-se a quantidade de Carbono que foi retido como proteína
- Carbono restante é **armazenado como gordura - Carbono retido** (C_{retido}) contém 746 g C / kg

Energia presente na proteína e gordura armazenada representa os Valores Caloríficos médios (VC) de cada tecido corporal

Valor caloríficos (VC) varia com as espécies

$$E. \text{ Retida} = (\text{Qt Gordura} \times V.C_{\text{Gord}}) + (\text{Qt Proteína} \times V.C_{\text{Proteína}})$$

Bovinos e Ovinos:

$VC_{\text{gordura}} - 39,3 \text{ kJ / g}$

$VC_{\text{Proteína}} - 23,5 \text{ kJ / g}$

Energia Retida

Medição da energia retida
outros métodos

Variações no Peso Vivo

Pouco preciso

- **Variações dos conteúdos digestivos**, bexiga
 - O valor calórico do ganho de peso varia com a **proporção de osso, músculo e gordura**
 - O rigor melhora quando a maior parte da energia retida é leite ou ovos
- **Avaliação directa dos produtos**

Método do Abate Comparativo

Comparação entre **composição corporal de animais abatidos no início e no fim do ensaio**

Formam-se 2 grupos de animais:

- Um grupo é abatido ao **início** e determinado o seu conteúdo energético - Bomba calorimétrica
- O outro grupo é abatido no **final** do ensaio

Sistemas de expressão da energia

Sistemas de expressão da energia

Conceito: Série de normas que relacionam a ingestão de energia pelos animais com o seu rendimento ou produtividade.

Funções:

1. Prever o rendimento de um animal a partir de um determinado nível de ingestão de energia.
2. Determinar a ingestão de energia necessária para obter um determinado rendimento

Sistemas de expressão da energia

- 
- ✓ Qual a quantidade de alimento (ENERGIA) a fornecer a um Novilho para que se obtenha um Ganho Médio Diário de 1,2kg?
 - ✓ Qual o Ganho Médio Diário obtido em Novilhos alimentados com 4 kg de feno e 2 kg de concentrado?

SISTEMAS DE VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA

RELACIONAM

Necessidades energéticas do animal



Valor energético dos alimentos



Medidas das necessidades Energéticas dos Animais

Expressas em quantidade de **energia retida** ou utilizada pelos animais

ENERGIA LIMPA (EL)

- Para fazer **1kg de ganho de peso** com um calor de combustão de 15 MJ necessita de 15 MJ de EL
- No mesmo animal quando em jejum perde 30 MJ necessita de 30 MJ de EL para cobrir as **necessidades de manutenção**.

Medida do Valor Energético dos Alimentos

- Pode ser expressa em **Energia Bruta (EB)**, **Energia Digestível (ED)**, **Energia Metabolizável (EM)** e **Energia Limpa (EL)**.
- A **EB** é a única que depende exclusivamente do **alimento**
- **ED, EM e EL** dependem das **perdas fecais, urinárias, do incremento calórico..**
- Tem de ser **compatível** com a forma como são expressas as necessidades dos animais

SISTEMAS DE VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA

ENERGIA LIMPA - EL

Vantagem – Rapidamente equacionável com as necessidades energéticas dos animais

Desvantagem - O mesmo alimento irá ter múltiplos valores de **EL** consoante o fim a que se destine

Exemplo: Milho

EM do Milho = 14 MJ/kg MS

Eficiência (K) da utilização da EM para manutenção = $K_m = 0,80$

Eficiência (K) da utilização da EM para o crescimento = $K_g = 0,62$

EL Manutenção = $14 \times 0,80 = 11,2$ MJ/ kg MS

EL Crescimento = $14 \times 0,62 = 8,7$ MJ/ kg MS

K_{grown} (Kg)

SISTEMAS DE VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA

ENERGIA METABOLIZAVÉL - EM

Vantagem – O mesmo alimento tem um único valor de **EM** para cada espécie

Desvantagem – Não permite um relacionamento **directo** entre a quantidade de energia do alimento e as necessidades energéticas do animal.

É **necessário uma série de equações** para prever a eficiência de utilização da EM para as diversas funções (Factores de conversão - K_m , K_{grown} (Kg), etc...)

Evolução dos Sistemas Energéticos

1809 – Thær (USA) – Sistema de Equivalentes de Feno. Quantidades necessárias a substituir por feno.

1845 – Boussingault – Valor dos alimentos depende apenas do N.

1855 – Haubner – Conduz o 1º ensaio de digestibilidade. Verifica que a fibra não é digestível

1856 – Wolff – Cálculo dos Equivalentes de Feno considerando o teor em N e a fibra.

1860 – Henneberg e Stohmann – Estabelecimento do conceito de Nutrientes Digestíveis como base de valorização individual dos alimentos.

1898 – Henry – **Primeiras Tabelas** com Valores Nutrientes Digestíveis.

1900, 1912 – Kellner – Sistemas de Equivalentes de Amido – Ensaio de calorimetria indirecta.

1900 – Armsby – Calorimetria directa em bovinos

1936 – Morrison – Consolidação do Sistema TDN (Total Digestible Nutrients)

1962 – Blaxter – Abordagem factorial ($EL = EM \times K$).

1966 – McHardy – Nível de Produção e Kmg

Nutrição Animal

Continuamos na próxima aula