



# **MARCADORES DE DIGESTIBILIDADE**

**ANA CAROLINA SILVA VICENTE  
ISABELA JORGE DOS SANTOS**



# O que é digestibilidade?

## Digestibilidade

É a fração do alimento aparentemente aproveitada pelo animal, é a relação entre a quantidade do alimento ingerido e o que é excretado.

(NEUMANN, 2002)

Digestibilidade aparente **×** Digestibilidade verdadeira

## Por que avaliar?

# Digestibilidade

- Valor nutritivo dos alimentos

- Nutrição de precisão

Alimentação eficiente

Aumentar a eficiência alimentar

Maximizar índices produtivos

Minimizar perdas



# Digestibilidade

- **Fatores que afetam:**

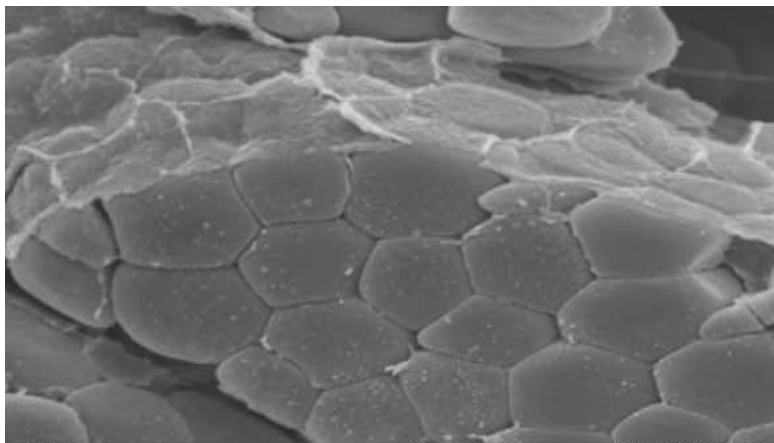
- Dieta ofertada

- Processamento dos alimentos
- Forragem → Maturidade e concentração de nutrientes
- Milho → Amido

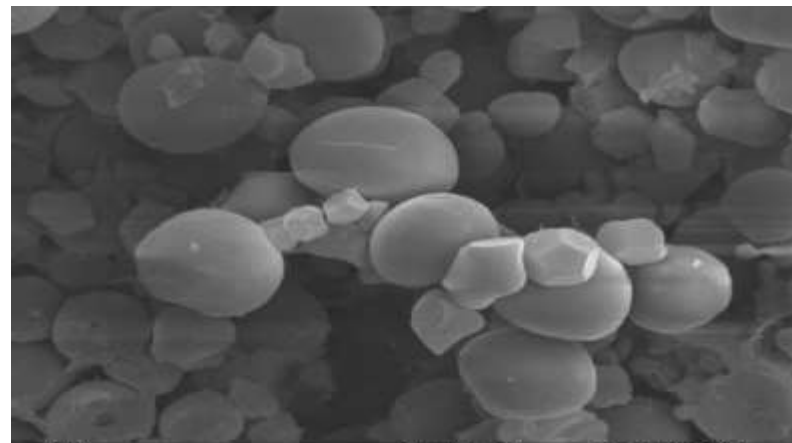
- Espécie e categoria animal



Grânulos de amido – Milho duro



Grânulos de amido – Milho farináceo



# Digestibilidade

**Como mensurar?**

## **Ensaio de digestibilidade**

**Objetivo é obter de forma acurada a quantidade de alimento consumido e quantidade excretada em um determinado período de tempo.**

(MERCHANT, 1988)

# Digestibilidade

- **Matéria seca e nutrientes;**

$$\text{DMS (\%)} = \frac{\text{MS ingerida} - \text{MS excretada}}{\text{MS ingerida}} \times 100$$

$$\text{Digest. nutrientes (\%)} = \frac{\text{Nutriente ingerido} - \text{Nutriente excretado}}{\text{Nutriente ingerido}} \times 100$$

# Ensaio de digestibilidade

- Métodos de avaliação

In vitro



In situ



In vivo

- Coleta total de fezes;
- Uso de marcadores de digestibilidade
  - **Ingestão MS**
  - **Produção fecal**

# Ensaio de digestibilidade

## Coleta total de fezes





# Ensaio de digestibilidade

## Marcadores internos e externos

Impossibilidade de realizar a coleta total.



# Marcadores de digestibilidade

- Substâncias indigestíveis presentes nos alimentos ou fornecidas via oral ou ruminal com o objetivo de estimar o **consumo de matéria seca** e/ou a **produção fecal**.

O princípio que rege a utilização dos marcadores baseia-se no fato de que à medida que a digesta transita pelo trato gastrointestinal, a concentração do marcador aumenta progressivamente pela remoção de constituintes do alimento por digestão e absorção.

(ASTIGARRAGA, 1997)

# Marcadores de digestibilidade

## **Características de um bom marcador de digestibilidade**

- Indigestível
- Atóxico
- Inerte
- Não deve influenciar nem ser influenciado pela digestão
- Manter-se uniformemente distribuído junto a digesta
- Ser totalmente recuperável na fezes
- Facilmente analisado

# Marcadores de digestibilidade

## Marcador Interno

Substâncias indigestíveis presentes naturalmente na dieta.

## Marcador externo

Substâncias indigestíveis fornecidas via oral ou ruminal aos animais.

### **INTERNOS**

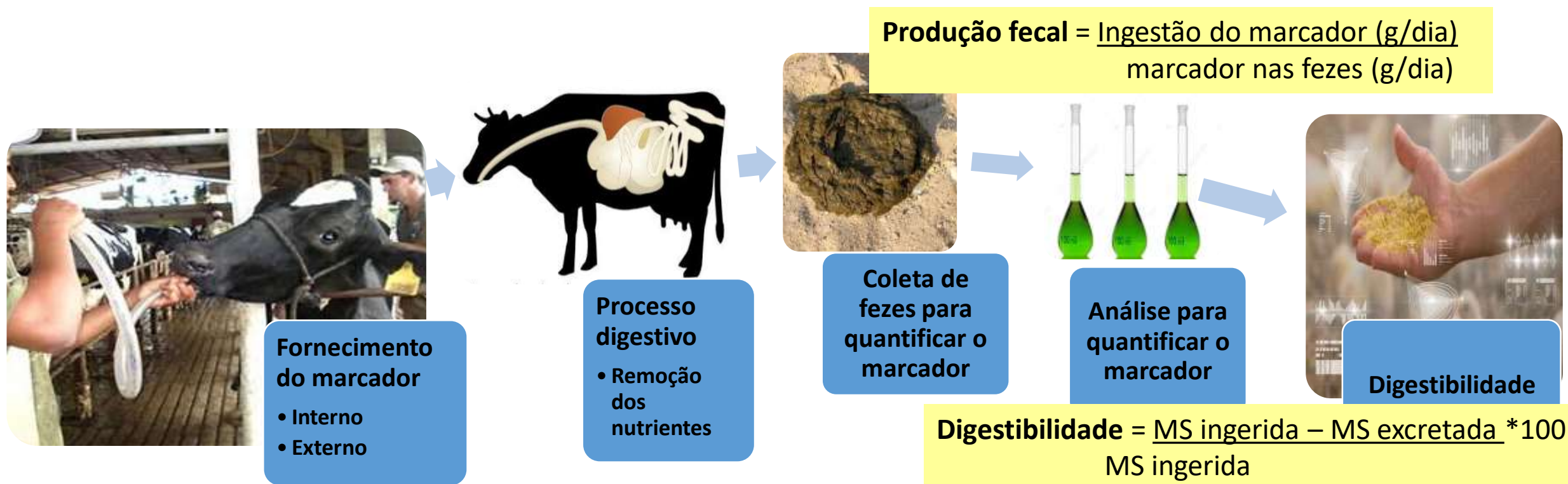
Lignina, Fibra em detergente neutro (FDNi) Fibra em detergente ácido (FDAi) Cinza insolúvel em detergente ácido

n-alcenos  
Cinza insolúvel em ácido - CIA

### **EXTERNOS**

Óxido de cromo  
dióxido de titânio, LIPE<sup>®</sup>.

# Marcadores de digestibilidade



Interno: Quantificar a ingestão do marcador;  
Externo: Dose do marcador.

$$\text{Ingestão} = \frac{\text{Produção fecal (g/dia)} * \text{Marcador fezes (\%)}}{\text{Marcador ingerido}}$$

O aumento na concentração do marcador nas fezes é proporcional à digestibilidade

# N alcanos

---

Hidrocarbonetos alifáticos saturados

Cutícula das plantas

**Alcanos de cadeia ímpar**



**Marcador interno**

25 a 35 carbonos ( $C_{25}$ - $C_{35}$ )

$C_{31}$

**Alcanos de cadeia par**



**Marcador externo**

Baixo conteúdo nas plantas

Fornecimento via oral ou ruminal

➔ Análise do perfil de alcanos ingerido e o perfil de alcanos nas fezes por cromatografia gasosa

# N alcanos

---

Estudo de validação Vulich et al. (1991) – correlação de 0,92 entre produção fecal observada e estimada pelo marcador

Dove e Mayes (1996) demonstram a alta eficiência dos alcanos em estimar o consumo em bovinos e ovinos - 11 experimentos com diferentes dietas, observou uma variação média de 1,16% para mais ou para menos em relação ao valor real.



Alta acurácia

Alto custo



# Cinza insolúvel em ácido - CIA

---

CIA é um composto mineral indigestível

Grãos – Baixo teor

Dietas  Concentrado – Fonte externas de CIA (Celite™, areia e sílica)

(SALES & JANSSENS, 2003)

**Marcador externo**

Incineração da amostra, digestão ácida – ácido clorídrico, lavagem e centrifugação

Baixo custo

Simplicidade e rapidez analítica  
(BERGERO et al., 2004)



Baixa precisão

Possível contaminações - Ingestão de MM do solo

(CARVALHO, 2013)



# Marcadores externos

## Óxido de cromo - $\text{Cr}_2\text{O}_3$

---

### Marcador de digestibilidade mais utilizado



Baixo custo

Facilmente incorporado à dieta

Simplicidade analítica

Boa acurácia e precisão

(MERCHEM, 1998)

Carcinogênico;



Variação de excreção ao longo do dia

Possibilidade de acúmulo no trato digestório

Incompleta recuperação nas fezes

(MACHADO et al., 2011)



# Óxido de cromo - $\text{Cr}_2\text{O}_3$

## Período de adaptação

➔ Platô de excreção homogêneo

- 7 dias (PRIGGE et al., 1981)
- 5 dias (OLIVEIRA et al., 2004)

## Dosagem

- Ovinos 4 g/dia
- Bovinos 10 g/dia (SALIBA, 1998)
- Até 5% - Palatabilidade (PENNING, 2004)

## Frequência de fornecimento

- 2x/dia (PRIGGE et al., 1981)
- 1x/dia (DETMAN, 2011)

## Duração e frequência da coleta

- 5 dias de coleta de fezes
- 2x/dia (PRIGGE et al., 1981)

➔ Determinação do marcador: Espectrofotometria – Lâmpada de cátodo para cromo 357,9 nm



# Dióxido de Titânio – TiO<sub>2</sub>

---

Titgemeyer, 2001 marcador de digestibilidade para ruminantes

Suínos (Jagger et al., 1992) e aves (Short et al 1996)



Baixo custo

Facilmente incorporado à dieta

Simplicidade analítica

Não carcinogênico

(TITGEMEYER et al., 2001)



Variação de excreção ao longo do dia

(DETMANN, 2010)



# Dióxido de Titânio – TiO<sub>2</sub>

## Período de adaptação

➔ Platô de excreção homogêneo

- 7 dias

## Dosagem

- Bovinos 10 g/dia
- Ovinos 4 g/dia (GLINDEMANN et al., 2009)
- Máximo 1% MS (AAFCO, 1996)

➔ Determinação do marcador: Espectrofotometria 410 nm



## Frequência de fornecimento

- 2x/dia – Forma de cápsulas

## Duração e frequência da coleta

- 5 dias de coleta de fezes
- 2x/dia

(TITGEMEYER et al., 2001)

# LIPE<sup>®</sup>

Lignina isolada, purificada e enriquecida – LIPE<sup>®</sup>

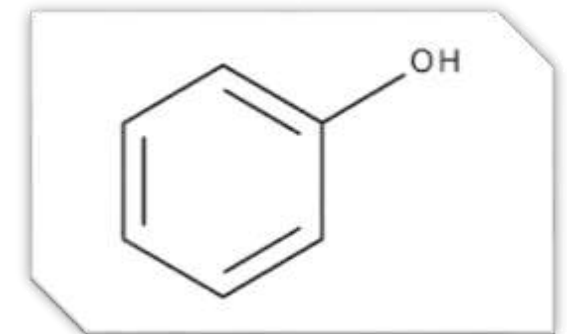
*Eucalyptus grandis*

Hidroxifenilpropano modificado e enriquecido

Desenvolvida em 2003 – EV UFMG

Especificamente para pesquisas

Semelhante a madeiras duras – 100% Indigestível



➔ Determinação do LIPE<sup>®</sup> por espectroscopia de infravermelho (Saliba et al., 2001)



- Curto período de adaptação: 2 dias – Excreção homogênea
- Não apresenta variação de excreção nas fezes ao longo do dia  
(RODRIGUEZ et al., 2006)
- Fornecimento e coleta de fezes 1x/dia
- É o marcador de maior sensibilidade às mudanças no consumo e, conseqüentemente, na produção fecal em novilhas.  
(SILVA et al., 2006)

## **Dosagem**

- Bovinos 1 cápsula de 500 mg/dia
- Ovinos 1 cápsula de 100 mg/dia

## Evaluation of external markers to estimate fecal excretion, intake, and digestibility in dairy cows – Souza et al., 2015

Comparação entre marcadores externos – Óxido de cromo e dióxido de titânio  
4 vacas canuladas no rúmen recebendo 6 kg [ ] e forragem *ad libitum*

**Table 2** Fecal excretion, forage intake, total DM intake, and apparent DM and OM digestibility estimated with external marker compared to measured values

	Measured	Estimated with Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<i>P</i>	Measured	Estimated with TiO <sub>2</sub>	<i>P</i>
Recovery (%)	–	87.9	–	–	89.6	–
Fecal excretion (kg)	3.3	3.7	0.02	3.2	3.4	0.07
Forage intake (kg)	5.4	5.6	0.03	5.9	5.9	0.80
Total DM intake (kg)	11.5	11.6	0.03	11.9	11.9	0.80
DM digestibility (%)	72.6	68.8	0.01	74.0	71.8	0.05
OM digestibility (%)	73.4	69.9	0.02	75.2	73.1	0.04

**Dióxido de titânio – superior ao óxido de cromo: Maior precisão e acurácia para estimar consumo de forragem, excreção fecal e digestibilidade**

## Marcadores internos

### Fibra em detergente neutro (FDNi) e detergente ácido (FDAi) indigestível

---

As frações indigestíveis do alimento que demonstraram maior potencial como marcadores são as fibras em detergente neutro (FDNi) e ácido (FDAi) indigestíveis

(ZEOULA et al., 2002)

FDNi e FDAi estima com acurácia a digestibilidade e o consumo quando incubado por seis dias (144h) - Fração indigestível.

(BERCHIELLI et al., 2000)

Incubação da amostra (144h); FDN; FDA



# Fibra em detergente neutro (FDNi) e detergente ácido (FDAi) indigestível

---



Permanecem uniformemente distribuídos na digesta

Baixo custo

Facilidade analítica

Análises rotineiras em laboratórios de bromatologia.

(PIAGGIO et al., 1991).



Processo longo

Grande variabilidade na recuperação fecal

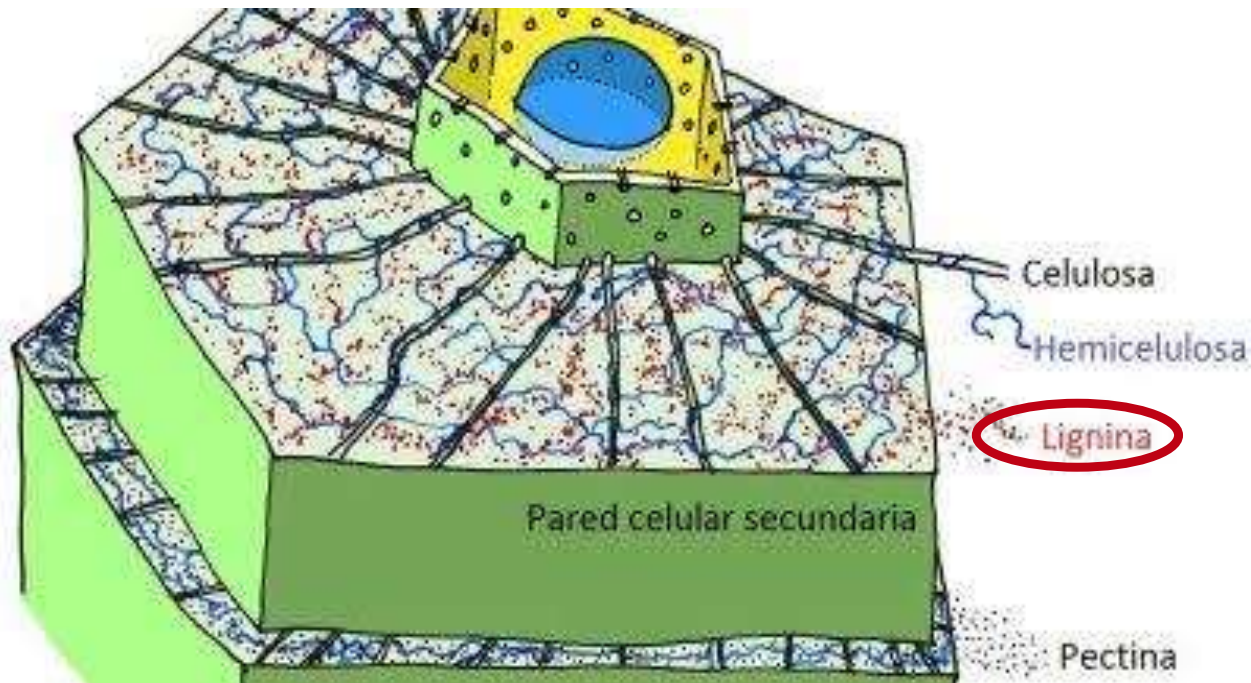
Grande variabilidade nos resultados de digestibilidade

(COCHRAN et al., 1986)

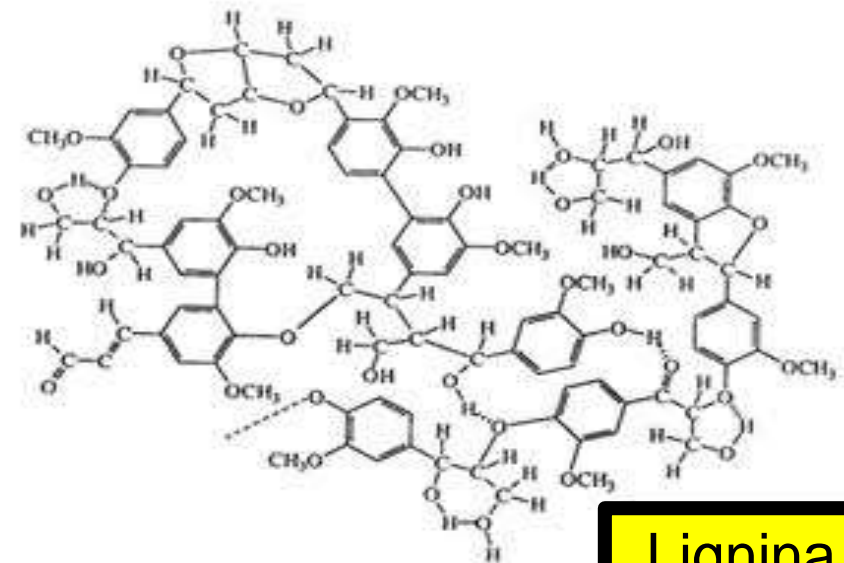
# Lignina

Composto polifenólico. Sucessivas unidades de fenilpropanóide presente na parede celular das plantas;

Digestibilidade verdadeira é igual a zero



Representação da molécula de lignina  
(CARVALHO, 2005)



# Lignina

---



- Método fácil e econômico
- Análise de rotina em laboratórios de análise de alimentos



- Alimentos com baixo teor de lignina
  - Gramíneas jovens
  - Dietas com alto concentrado a lignina é um marcador ineficiente
  - Destruição parcial da lignina fecal pelos reagentes usados nos métodos analíticos
  - Contaminação de outros componentes do alimento (reação de Maillard)
- } Digestibilidade aparente

# Cinza insolúvel em detergente ácido - CIDA

---

Cinza residual da determinação da fibra em detergente ácido

FDN; FDA e incineração da amostra



Análise laboratorial simples e rotineira

Marcador acurado em dietas de alto volumoso

(ARAÚJO et al., 2000)



Baixa precisão

Eficiente em dietas com mais de 3% de CIDA

Baixa recuperação nas fezes

(THONNEY et al., 1984)

## Evaluation of Internal Markers in Digestibility Assay - Berchielli et al., 2000

Comparação entre marcadores internos – FDNi, FDAi, Lignina e cinzas insolúvel em ácido. Incubação *in vitro* 3 e 6 dias

8 bovinos recebendo 55% silagem de milho e 45% concentrado (Milho e farelo de soja)

Indicadores <i>Markers</i>	Digestibilidade (%) <i>Digestibility</i>					
	MS	DR	EE	FDN	FB GE	NDT TDN
Coleta total de fezes <i>Total feces collection</i>					2,3 <sup>ab</sup>	64,6 <sup>ab</sup>
FDN (3 dias) <i>NDF (3 days)</i>					9,4 <sup>bc</sup>	61,6 <sup>bc</sup>
FDA (3 dias) <i>ADF (3 days)</i>					7,9 <sup>c</sup>	60,5 <sup>c</sup>
Lignina (3 dias) <i>Lignin (3 days)</i>	50,4 <sup>a</sup>	64,5 <sup>a</sup>	77,3 <sup>a</sup>	31,2 <sup>a</sup>	51,0 <sup>d</sup>	54,1 <sup>d</sup>
FDN (6 dias) <i>NDF (6 days)</i>	65,0 <sup>a</sup>	74,7 <sup>a</sup>	83,9 <sup>a</sup>	51,1 <sup>a</sup>	65,4 <sup>a</sup>	67,5 <sup>a</sup>
FDA (6 dias) <i>ADF (6 days)</i>	62,3 <sup>ab</sup>	72,4 <sup>ab</sup>	82,7 <sup>ab</sup>	47,0 <sup>abc</sup>	62,7 <sup>ab</sup>	65,0 <sup>ab</sup>
Lignina (6 dias) <i>Lignin (6 days)</i>	62,8 <sup>a</sup>	72,7 <sup>ab</sup>	82,9 <sup>ab</sup>	47,5 <sup>ab</sup>	63,2 <sup>ab</sup>	65,1 <sup>ab</sup>
CIA <i>AIA</i>	50,3 <sup>d</sup>	63,9 <sup>d</sup>	77,3 <sup>d</sup>	30,2 <sup>d</sup>	50,9 <sup>d</sup>	54,0 <sup>d</sup>
CV (%)	6,1	3,8	2,2	12,6	6,0	5,3

**Conclusão:** FDNi, FDAi e lignina quando incubados durante seis dias são bons marcadores de digestibilidade.

Médias, na coluna, seguidas de letras diferentes diferem ( $P < 0,05$ ) pelo teste Tukey.  
Means, within a column, followed by different letters differ ( $P < 0,05$ ) by test Tukey.

## Qual marcador utilizar?

- A preferência do marcador a ser usado é definida por cada pesquisador onde deve ser considerado o custo, facilidade de obtenção e análise;

(FIGUEIREDO, 2011)

- Recuperação incompleta nas fezes, variação no fluxo de passagem do rúmen, amostras com baixa representatividade e delineamento estatístico.

(MERCHANT, 1988)

# **OBRIGADA!**

anacsvicente@usp.br  
isabelajorge@usp.br

