



DIGESTIBILIDADE DE CARBOIDRATOS PELOS CÃES E GATOS

Bruna Agy Loureiro

Universidade Federal da Paraíba



brunaagy@yahoo.com.br

Agenda

- Aproveitamento do amido por cães e gatos
- Digestibilidade Aparente, Verdadeira e *In vitro*
- Fatores que influenciam a digestão do amido:
 - Características estruturais e moleculares
 - Fontes
 - Processamento (moagem, cozimento, gelatinização)
- Amido resistente a digestão
- Amido resistente e microbiota intestinal

Uso de carboidratos em pet food

- Amido
- Fontes de energia acessíveis e eficientes
- Grãos, leguminosas e tubérculos
- Funcionais para extrusão
- Fontes de amido: 30% e 60% em alimentos extrusados

Digestão e absorção do amido



Inicia no duodeno



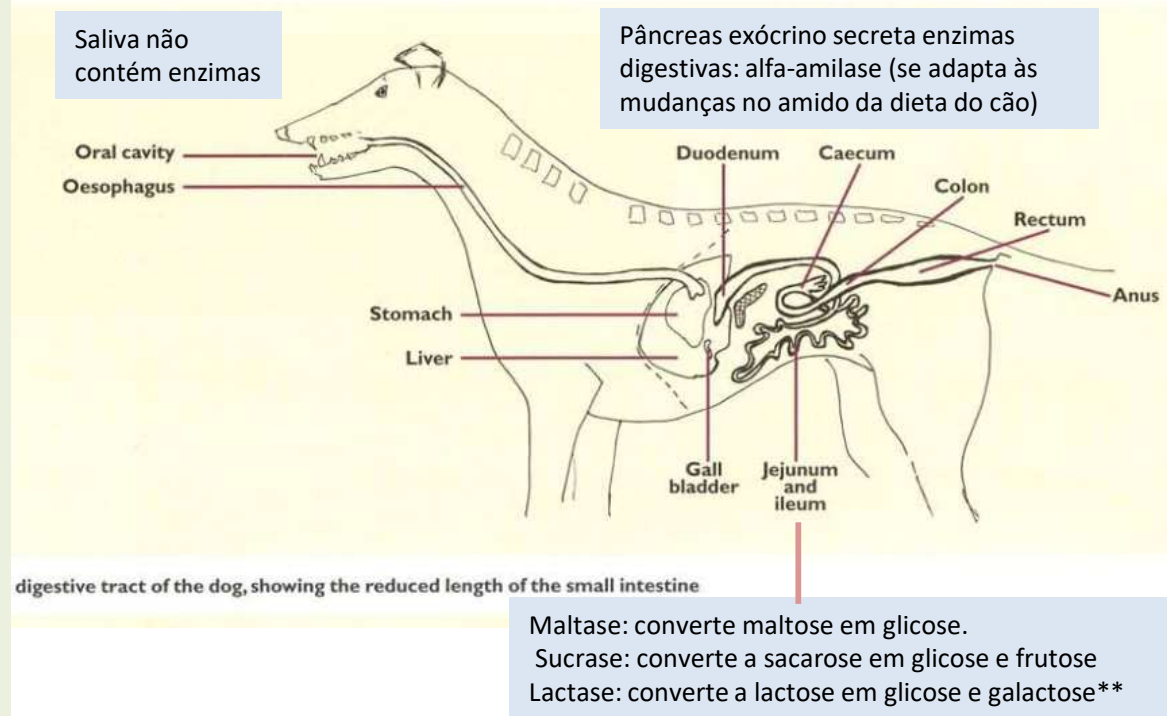
1) Clivado em maltose e outros oligossacarídeos (α -amilase pancreática).



2) Maltose e os oligossacarídeos são hidrolisados a glicose (maltase-glicoamilase, sacarase e isomaltase)



3) Glicose é transportada através da membrana plasmática pela proteína da borda em escova SGLT1 (proteína cotransportadora Na⁺/glicose)



(Murray et al., 1999; Axelsson et al., 2013)

- ✓ Evidências de seleção em todos os três estágios de aproveitamento do amido durante a domesticação do cão



- ✓ Atividade amilase aumentada, AMY2B
- ✓ Associada ao aumento da atividade da maltase, MGAM
- ✓ Amido digerido é absorvido na membrana plasmática luminal do ID pelo co-transportador sódio/glicose, SGLT1

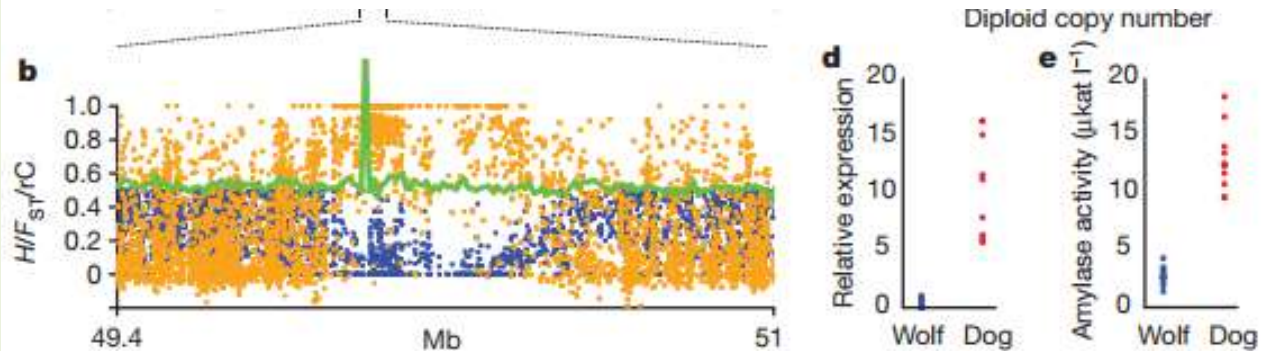
LETTER

doi:10.1038/nature11837

The genomic signature of dog domestication reveals adaptation to a starch-rich diet

Erik Axelsson¹, Abhirami Ratnakumar¹, Maja-Louise Arendt¹, Khurram Magbool¹, Matthew T. Webster¹, Michele Perloski², Olof Liberg³, Jon M. Arnemo^{4,5}, Åke Hedhammar⁶ & Kerstin Lindblad-Toh^{1,2}

gene AMY2B, codifica a alfa-2B-amilase



Níveis de expressão de RNA mensageiro da amilase no pâncreas de lobo (n = 12) e cão (n = 9). Atividade de amilase no soro de lobo (n = 13) e cão (n = 12)

Raças de cães

Dietas de alta proteína

Menor pressão de seleção à dietas a base de amido



Raças mais antigas apresentam menor variação genética → menor atividade AMY2B (*Arendt et al., 2014*)

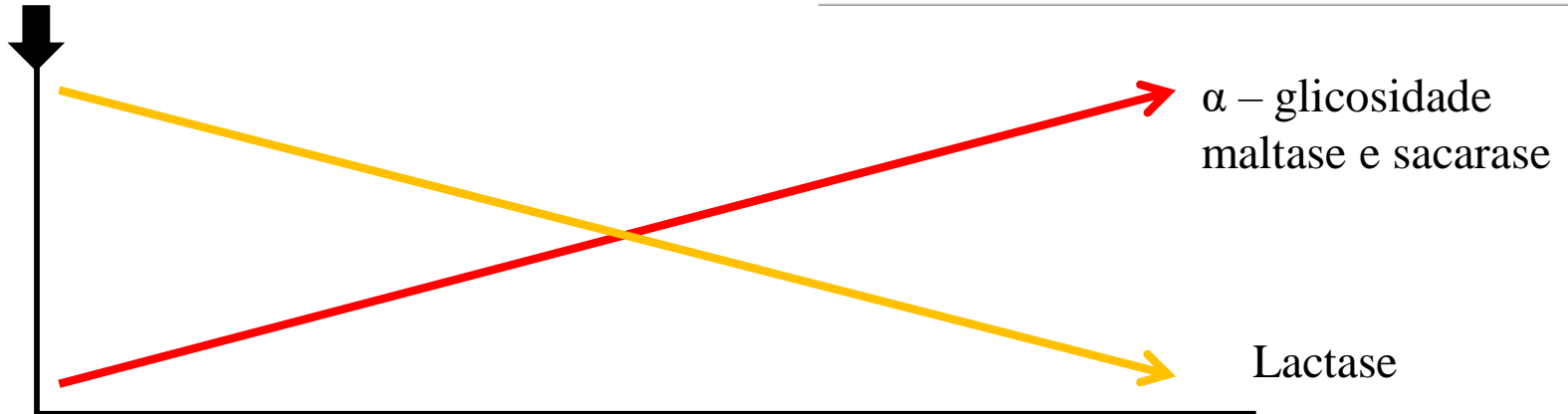


Regiões com mais recente produção agrícola expressam menor número de cópias AMY2B (*Ollivier et al., 2016*).

Raças (Pastor alemão e Springer Spaniel) desenvolvidas em regiões agrícolas → maior expressão de AMY2B (*Arendt et al., 2014*).

Desmame até idade adulta

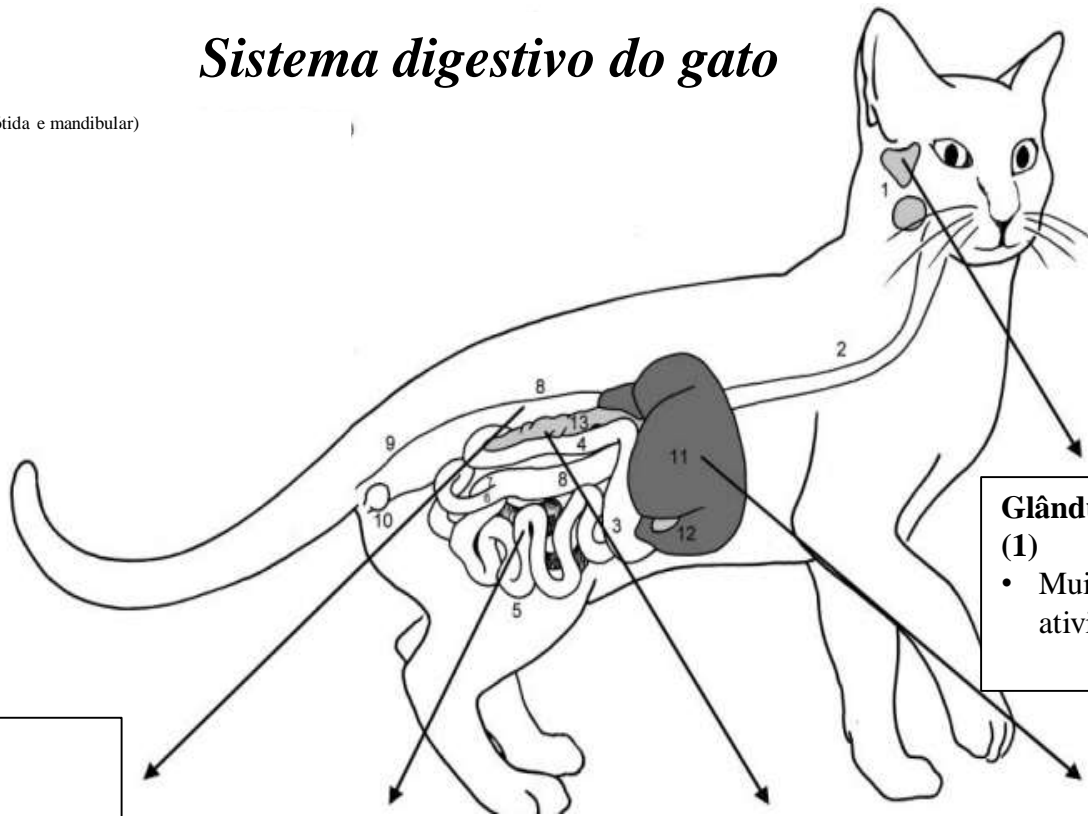
- Aumento da atividade enzimática no pâncreas e ID
- Lactase que é menor em cães e gatos adultos em comparação com jovens
- Sacarase é baixa em cães e gatos durante toda a vida



(Welsh and Walker, 1965; Kienzle, 1988; Kienzle, 1993; Prola et al., 2006)

Sistema digestivo do gato

1. Glândulas salivares (parótida e mandibular)
2. Esôfago
3. Estômago
4. Duodeno
5. Jejunum
6. Íleo
7. Ceco
8. Cólon
9. Reto
10. Ânus e glândula adanal
11. Fígado
12. Vesícula biliar
13. Pâncreas



Glândulas Salivares

(1)

- Muito pouca ★ atividade de amilase

Cólon (8): Anatomia:

- Curto
- Rudimentar ★
- Fermenta microbiana no ceco

Qualidade das fezes
como indicador

Intestino Delgado (4-6):

Anatomia:

- Tamanho limitado

Enzimas:

- Baixa ativi/de de amilase ★
- Baixa ativi/de de dissacaridase

Absorção:

- Transporte D-glicose: não adaptativa, alta capacidade ★

Pâncreas exocrino (13):

- Baixa amilase ★
- Baixa atividade maltase
- Traços de isomaltase
- Sem sucrase e lactase

Pâncreas exocrino

- aminoácidos:
estimulantes da secreção de insulina

Fígado (11): Baixa regulação

- Atividade da glicoquinase
- ### Regulação
- Atividade da frutoquinase
 - Piruvato carboxylase
 - Frutose -1,6-bifosfatase
 - Glicose-6-fosfato
- Gliconeognese
Glicólise

(Adaptado de Verbrugghe et al., 2012)

Digestibilidade aparente do trato total VS Digestibilidade Ileal

“A atividade fermentativa da microbiota no cólon afeta a precisão das estimativas de digestibilidade quando a digestibilidade aparente do trato total é utilizada”

3810

Hendriks et al., 2013

Table 2. Least squares means (range) of apparent ileal and total tract digestibility coefficients for macronutrients in 5 dry canine foods

Item	Apparent digestibility		Difference	SEM	P-value		
	Ileal	Total tract (fecal)			Measurement site (MS)	Diet (D)	MS × D
DM, %	75.1 (64.4 to 80.7)	81.2 (78.5 to 84.8)	+6.2	2.1	0.017	0.006	0.290
OM, %	79.4 (69.5 to 85.4)	85.3 (82.2 to 87.6)	+5.9	1.7	0.010	0.003	0.284
CP, %	76.2 (66.2 to 83.3)	81.9 (78.1 to 83.9)	+5.7	2.2	0.034	0.018	0.355
Crude fat, %	96.5 (93.9 to 98.2)	92.4 (90.2 to 95.7)	-4.1	1.8	0.058	0.517	0.838
Carbohydrates, ¹ %	88.9 (81.7 to 95.9)	95.5 (92.1 to 99.7)	+6.5	0.9	<0.001	<0.001	0.181

¹Determined by OM – CP – crude fat.

Digestibilidade ileal

Problemas relacionados ao uso de cânulas ileais em cães

Table 1. Duration of ileal cannulation and associated complications

Dog c	Duration of annulation (weeks)	Complications
1	5	Extrusion of cannula
2	4	Abscess, extrusion of cannula
3	8	Extrusion of cannula
4	60	None
5	5	Extrusion of cannula
6	11	None
7	20	Exuberant reactive tissue, extrusion of cannula
8	8	None
9	19	Exuberant reactive tissue
10	20	Exuberant reactive tissue
11	7	Abscess
12	8	Abscess
13	17	Abscess
14	21	None

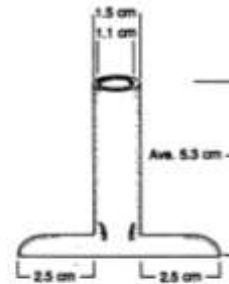


FIGURE 1 Diagram of polyvinyl chloride ileal cannula used in dogs.

Estudos *in vitro*

Digestibilidade aparente + pH + AGV

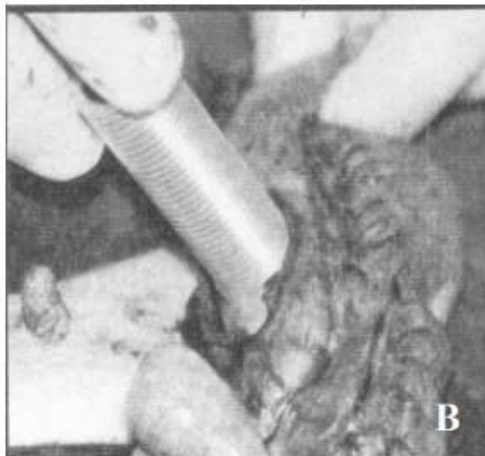
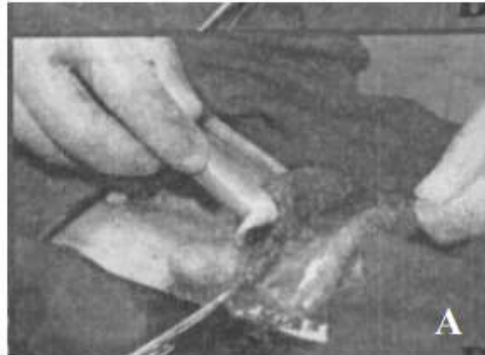


Figura 2. Animal submetido à cirurgia para canulação no íleo terminal. A - Inserção parcial da cânula de aço inoxidável no íleo terminal. B - Inserção total da cânula de aço inoxidável no íleo terminal.

Digestão e características estruturais/moleculares

- Morfologia e estrutura granular do amido
- Porosidade
- Relação amilose: amilopectina
- Arranjo das estruturas cristalinas
- Complexos de amilose-lipídio

- Tamanho de partícula
- Grau de processamento térmico (cozimento)
- Interação com outros materiais na matriz alimentar



Fonte: Portal Vet -Royal Canin

(Bello-Perez et al. , 2017; Singh et al., 2010; Miao e Hamaker, 2021; Tian et al., 2019)

Morfologia e estrutura granular

- ✓ Fonte, variedade, tratamento térmico
- ✓ Distribuição de tamanho e forma

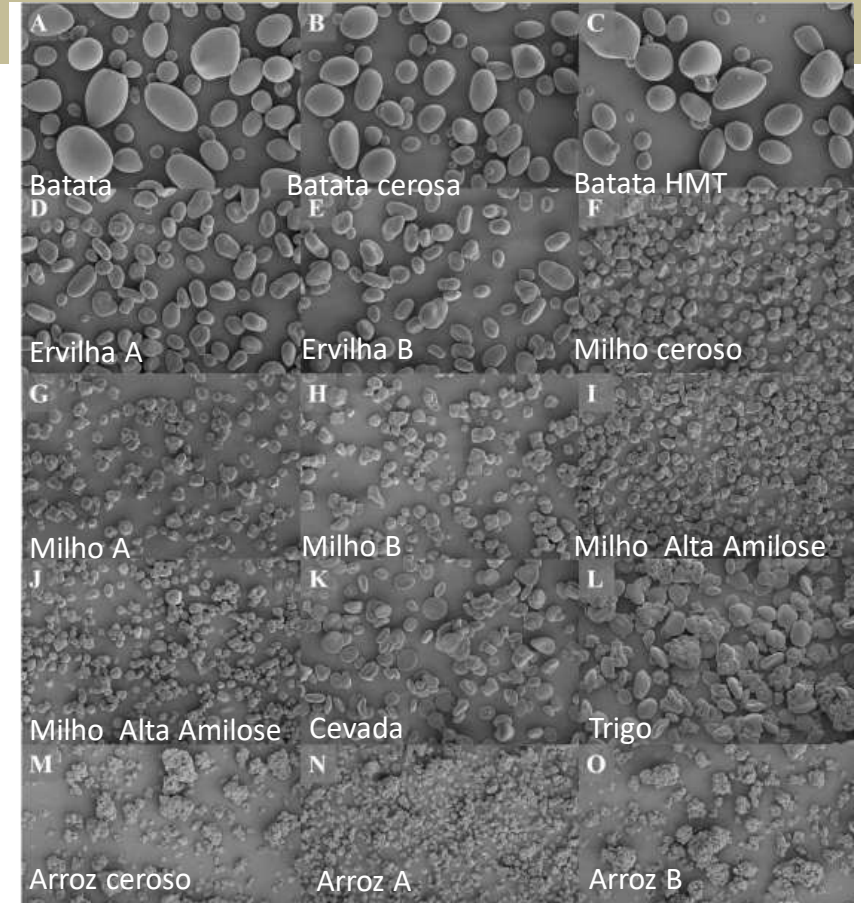


Fig. 2 Imagens MEV da morfologia de todas as amostras de amido (magnitude 1.000 vezes).

Morfologia e estrutura granular

✓ Digestibilidade – tamanho (resistência a digestão)

✓ Moagem

Fonte	Tamanho grânulo (µm)
Amido de batata	36
Amido de mandioca	14
Amido de milho	14,3
Amido de arroz	6
Amido de milho (waxy)	-
Amido de milho alta amilose	9,8
Trigo	7,2
Ervilha lisa	2 – 40
Ervilha enrugada	17 - 30

(Bednar et al., 2001)

Relação amilose : amilopectina

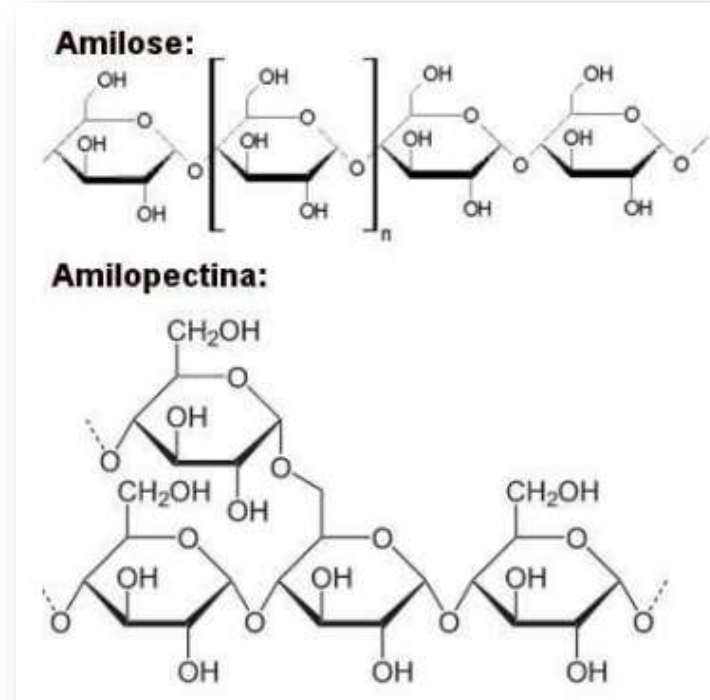
- **Amilose:** glucano ligado a $\alpha(1-4)$ linear
- **Amilopectina:** glucano ligado a $\alpha(1-4)$ e $\sim 5\%$ de ligações $\alpha(1-6)$ resultando em uma molécula ramificada

Fontes de amido:

20 a 30% de amilose e 70 a 80% de amilopectina

Pode ser variável!

- ✓ Variedades genéticas (waxy, alta amilose)
- ✓ Amidos modificados



Relação amilose : amilopectina

Fonte	Amilose (%)	Amilopectina (%)
Batata	17-24	76-83
Tapioca	17	83
Milho	17-26	75-83
Milho ceroso (waxy)	<1	>99
Milho alta amilose (amylomaize)	48-77	23-52
Arroz	15-35	65-85
Trigo	20-25	75-80
Ervilha lisa	33-50	50-67
Ervilha enrugada	61-88	13-39
Banana	17-24	76-83
Sorgo	25	75
Mandioca	19-22	28-81
Inhame	9-15	85-91

Relação amilose : amilopectina

- **Amilose pode afetar a digestibilidade**

→A amilose é mais suscetível à recristalização após o cozimento do que a amilopectina (estrutura linear tende a formar estruturas helicoidais duplas, menos disponíveis para digestão enzimática -

→Dieta extrusada com milho de alta amilose apresentou menor digestibilidade ileal do amido do que a dieta de milho convencional, quando fornecida a cães (Gajda et al., 2005)

- **O tamanho da cadeias lateral de amilopectina afeta a digestão (cadeias mais longas apresentam digestibilidade mais lenta)**

- **Amidos de leguminosas têm maior proporção de amilose livre e menor proporção de amilose complexada com lipídios, que leva a resposta físico-química diferente de amidos de cereais**

(Tovar et al., 1990; Wang et al., 2015)

RESEARCH

Open Access



Amylopectin structure and crystallinity explains variation in digestion kinetics of starches across botanic sources in an *in vitro* pig model

Bianca M. J. Martens^{1,2,3}, Walter J. J. Gerrits², Erik M. A. M. Bruininx^{2,3} and Henk A. Schols^{1*}

- Tipo de estrutura cristalina (A, B ou C)
- Distribuição do comprimento da cadeia lateral da amilopectina explica a maior variação na cinética de digestão *in vitro* entre fontes de amido

Propriedades da estrutura molecular e granular do amido causam variação na cinética de digestão do amido

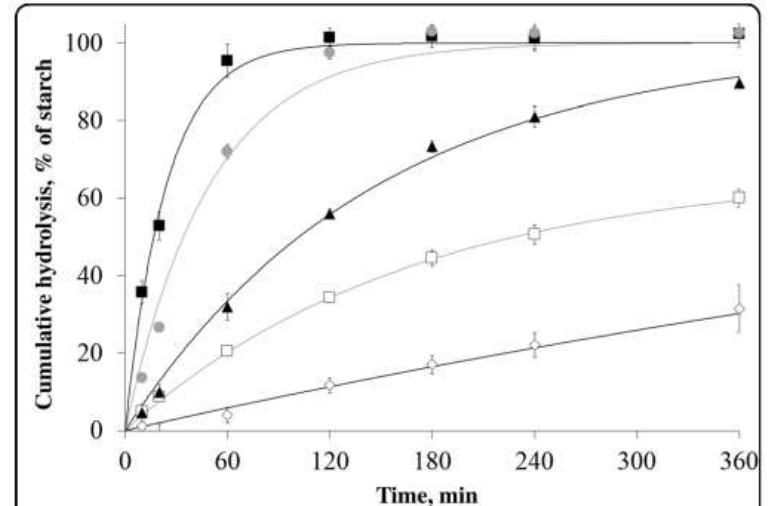


Fig. 6 *In vitro* digestion kinetics for cereal starch (wheat ■, corn B ●, and high amylose corn B □), legume starch (pea B ▲), and tuber starch (potato ◇). Symbols indicate the average of in triplicate measured values, lines represent the first-order kinetic model fitted to these data

Formação e cadeia de amilopectina

Cadeia tipo A: cadeia não-redutora de glicose unidas por ligações α -(1,4) sem ramificações, ligada a uma cadeia tipo B por ligações α -(1,6)

Cadeias tipo B: compostas por glicoses ligadas por α -(1,4) e α -(1,6), contendo uma ou várias cadeias tipo A e podem conter cadeias tipo B unidas por um grupo hidroxila primário

Cadeia tipo C: uma molécula de amilopectina, composta por ligações α -(1,4) e α -(1,6), com grupamento terminal redutor

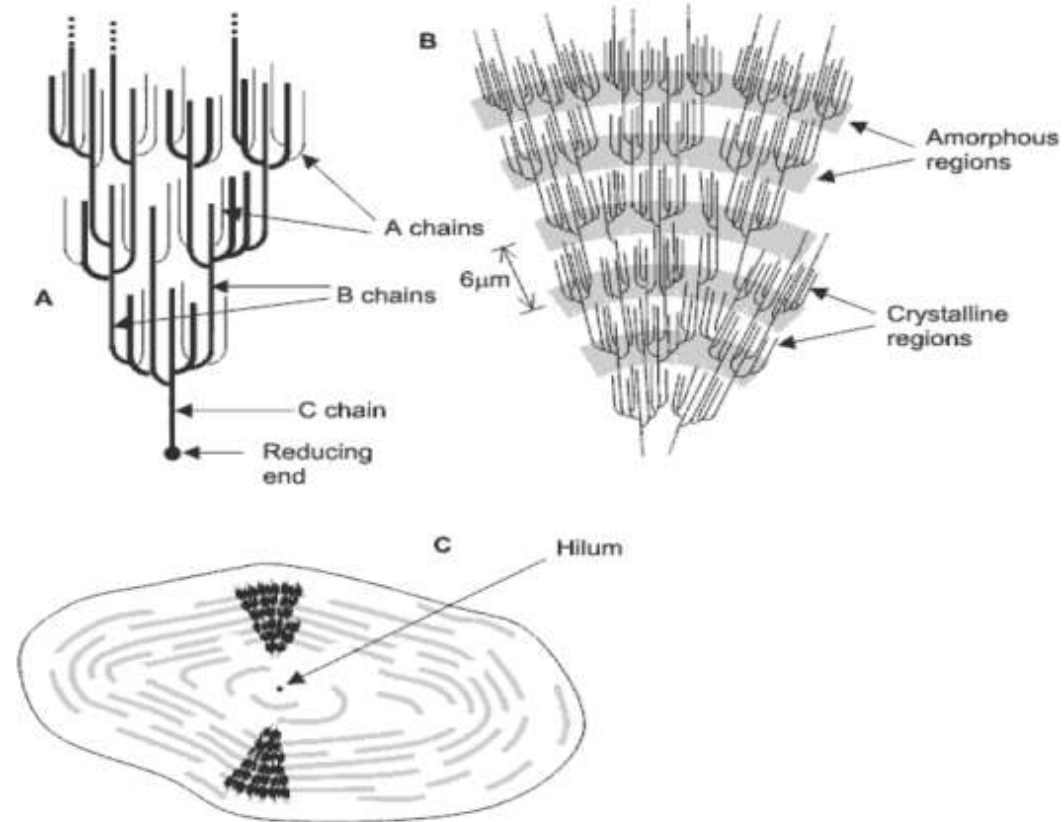
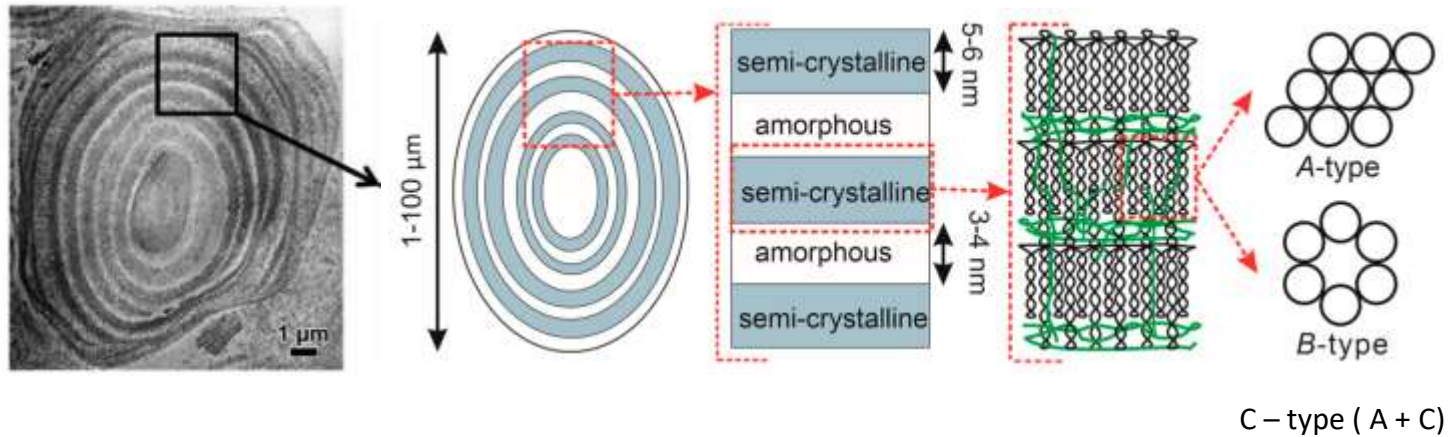


Figura 2 - A.) Classificação das cadeias da amilopectina em tipo A, B e C. B) Estrutura da amilopectina formando as regiões amorfas e cristalinas no grânulo de amido. C) Modelo da estrutura interna do grânulo de amido com a visualização dos anéis de crescimento e centro ou hilum. Adaptados de PARKER & RING (2001).

Cristalinidade do grânulo



Tipo A : maioria dos cereais

Tipo B: tubérculos (como batata e inhame), e amidos de cereais ricos em amilose

Tipo C: leguminosas

Digestibilidade de dietas com diferentes fontes de amido

Table 2

Dry matter (DM) apparent total tract digestibility (ATTD) and starch ileal digestion of different starch ingredients in extruded diets by dogs.

Starch Ingredient	Starch Ingredient Inclusion in the Diet (%)	Dog Breed	DM ATTD, %	Starch Ileal Digestion, %
Rice (brewers)	67.0 ^a , 47.1 ^b , 59.6 ^c , 30.0 ^d , 45.7 ^c , 77.9 ^f , 70.5 ^g , 44.1 ^h , 52.1 ⁱ	Mongrel dogs ^a , Beagle dogs ^{b,c} , Mixed-breed ^{d,e,g,i} , Spitz dogs ^g , Hound bloodline ^h	91.5 ^a , 79.0 ^{b*} , 89.2 ^c , 86.6 ^d , 82.4 ^c , 90.9 ^f , 89.4 ^g , 83.9 ^h , 94.0 ⁱ	99.5 ^a , 99.8 ^h
Corn (maize)	67.0 ^a , 53.5 ^b , 66.7 ^d , 53.5 ^c , 31.9 ^j , 70.5 ^g , 43.6 ^h , 34.0 ^k , 53.5 ⁱ , 50.0 ^l	Mongrel dogs ^a , Beagle dogs ^{b,j,l} , Mixed-breed ^{d,e,k} , Spitz dogs ^g , Hound bloodline ^{f,i}	87.2 ^a , 82.1 ^{b*} , 84.9 ^d , 78.6 ^c , 77.1 ^j , 83.8 ^g , 85.4 ^h , 82.2 ^k , 92.0 ⁱ , 91.9 ^l	99.4 ^a , 89.9 ^j , 99.5 ^h
Sorghum	53.4 ^b , 30.0 ^d , 59.3 ^c , 70.5 ^g , 44.2 ^h , 55.2 ⁱ , 64.7 ^m	Beagle dogs ^{b,m} , Mixed-breed ^{d,e,k} , Spitz dogs ^g , Hound bloodline ^h	79.9 ^{b*} , 86.6 ^d , 79.0 ^c , 83.1 ^g , 79.7 ^h , 94.0 ⁱ , 81.1 ^m	99.7 ^h
Millet	30.0 ^d , 70.5 ^g	Mixed-breed ^d , Spitz dogs ^g	85.2 ^d , 81.6 ^g	n.a.
Wheat	49.1 ^{h***}	Hound bloodline ^h	83.5 ^h	99.8 ^h
Barley	67.0 ^a , 51.9 ^h	Mongrel dogs ^a , Hound bloodline ^h	84.6 ^a , 82.5 ^h	98.8 ^a , 99.4 ^h
Oats	67.0 ^a	Mongrel dogs ^a	70.4 ^a	98.5 ^a
Cassava	42.5 ^c , 70.0 ^f , 50.0 ^{l***}	Mixed-breed ^{c,g***} , Beagle dogs ^l	83.1 ^c , 91.0 ^f , 91.2 ^l	n.a.
Potato	50.4 ^{h***}	Hound bloodline ^h	83.6 ^h	99.6 ^h
Lentil	69.5 ^c	Mixed-breed ^c	74.5 ^c	n.a.
Pea	66.3 ^c	Mixed-breed ^c	76.1 ^c	n.a.

*values reported from grain medium grinding (451 µm)

***Starch sources used as flours.

***wet diets on DM basis (%).

^a Walker et al. (1994).

^b Bazolli et al. (2015).

^c Belay et al. (1997).

^d Carciofi et al. (2010).

^e Carciofi et al. (2008).

Tubérculos (refinados) > Cereais > Leguminosas

- teor de fibra
- processamento/refinamento
- variedade
- parede celular

Alvarenga et al. (2021)

Effects of six carbohydrate sources on dog diet digestibility and post-prandial glucose and insulin response*

A. C. Carciofi¹, F. S. Takakura¹, L. D. de-Oliveira¹, E. Teshima¹, J. T. Jeremias¹, M. A. Brunetto¹ and F. Prada²

Dig. aparente (%)	Farinha de mandioca	Milho	Sorgo	Quirera Arroz	Lentilha	Ervilha	Varição
MS, %	83,1 b	78.6 c	79c	82.4 b	74.5d	76.1d	8,6
MO, %	87.7 b	83.9 c	83.8c	88.4b	79.3d	80.1d	9,1
PB, %	86.8 bc	86.1c	85cd	89b	79.9e	83.4d	9,1
Amido, %	99.4 b	99.1bc	99.1bc	99.3b	98.8c	98.7c	0,7
Gordura, %	92.8 b	89.1cd	88.3d	89cd	89.4cd	90c	4,5
FDT, %	8.2 d	11.4d	27bc	17.7cd	33.4b	30.3b	25,2
Fibra Bruta, %	2.6	3.1	3.7	2.6	5	4	2,4
Energia Bruta, %	87.8 b	84.9c	84.2c	87.7b	78.4e	80.9d	9,4

Estudo semelhante em gatos indicou padrão semelhante (L. D. de-Oliveira et al., 2008)

Cozimento do amido



<i>Cru</i>		<i>Cozido</i>	
98.6%	vs	98.0%	Arroz
95.7%	vs	94.3%	Milho
96.0%	vs	94.0%	Aveia

Batata e tapioca: quando cruas foram pobremente digeridas por cães (fatores antinutricionais)

Leguminosas: poucos dados sobre o efeito do consumo de leguminosas cruas (inibidores de proteases + parede celular/oligossacarídeos)– efeito térmico reduz inibidores de proteases

Gelatinização

Calor + água

Relação amido: água ≥ 2

Afetada por:

- Tamanho de partícula/grânulos
- Relação amilose-amilopectina
- Cristalinidade relativa
- Distribuição molecular das cadeias

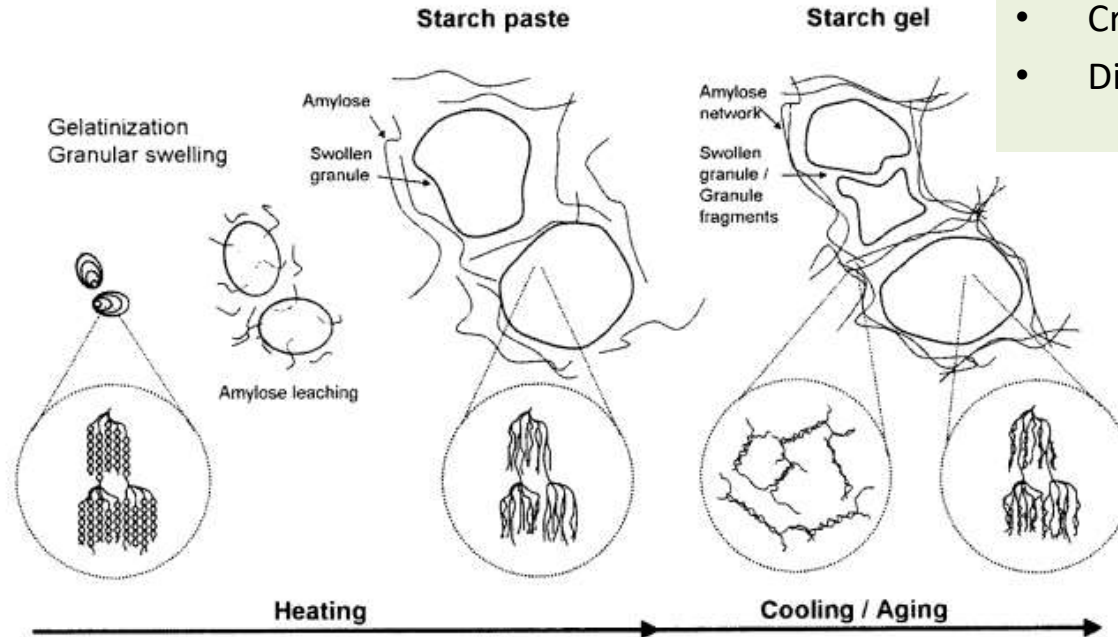


Fig. 4. Schematic representation of pasting properties of starch granules.

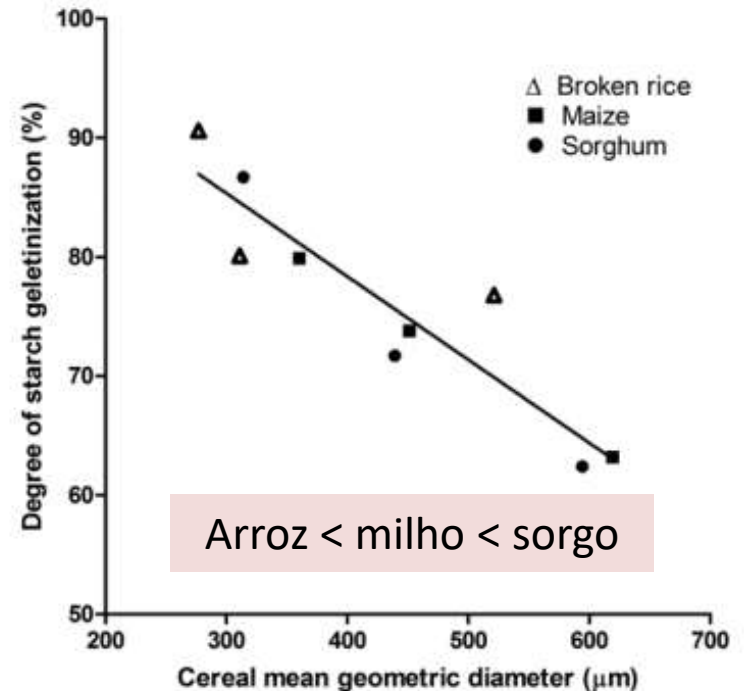
Extrusão, processamento térmico e grau de moagem



Extrusão resulta na gelatinização quase completa do amido com aumento significativo na digestibilidade

O amido cru resultou em aumento nas proporções de AR e AGCC fecal

Moagem afeta a gelatinização (cozimento)



(Bazolli et al., 2015)

Amido resistente

-Todo o amido ou produtos da degradação do amido que escapam da digestão no intestino delgado

- **Amido resistente I:** fisicamente inacessível às enzimas devido à presença de paredes celulares (ex: cereais parcialmente moídos contém maior AR I do que os finamente moídos).
- **Amido resistente II:** são grânulos de amido nativo que são protegidos da digestão pela conformação ou estrutura do grânulo de amido (maior em amido não gelatinizado ou não cozido).
- **Amido resistente III :** pode ser formado durante o resfriamento e a secagem após a extrusão, sendo que o amido precisa de (pouca) umidade e tempo de armazenamento para recristalizar.
- **Amido resistente IV :** compreende amidos quimicamente modificados (incomuns em Pet food).
- **Amido resistente V:** complexo de amilose-lipídio que se forma quando as caudas hidrofóbicas de ácidos graxos dos lipídios se associam à hélice hidrofóbica interna da amilose, lixiviada do amido gelatinizado (tais complexos restringem a capacidade de hidrólise enzimática).

(Dupuis et al., 2014; Fuentes-Zaragoza et al., 2010)

Amido resistente

- Estimulo a produção de AGCC (butirato)
- Utilizado pelos colonócitos como fonte de energia
- Inibe a divisão de células cancerígenas e estimulam a proliferação de células da mucosa do cólon
- Redução do pH colônico



(Jackson et al., 2020a; Ribeiro et al., 2019; Peixoto et al., 2018; Beloshapka et al., 2014)

Comentários finais

- Leguminosas apresentam menor, cereais intermediária e tubérculos maior digestibilidade em função de características moleculares e estruturais, estrutura de parede celular o que pode implicar em diferentes condições ideais de processamento do alimento
- Entre os cereais, dietas à base de arroz geralmente têm a maior digestibilidade geral de nutrientes, dietas contendo sorgo, milho e trigo tendem a intermediária, enquanto as dietas de cevada e aveia têm a menor digestibilidade
- Processamento (moagem e extrusão) são formas eficientes de influenciar a gelatinização, aproveitamento e formação de amido resistente
- A maioria das fontes de amido estudadas até o momento são seguras para consumo por cães e gatos e a maioria delas é altamente digerível se processada adequadamente
- A digestão de amido cozido no intestino delgado normalmente excede 95% e o amido não digerido no intestino delgado é descrito pode ser positivamente fermentado pela microbiota intestinal

Obrigada...

Bruna Agy Loureiro
Universidade Federal da Paraíba



brunaagy@yahoo.com.br