

Pasturas Tropicales

Volumen 25, No. 1
Abril 2003
ISSN 1012-7410

Publicación de la Dirección de Cooperación Regional y el Proyecto de Forrajes Tropicales del CIAT.

Comité Editorial:

Carlos Lascano, Zootecnista, Coordinador, Proyecto Gramíneas y Leguminosas Tropicales
John Miles, Fitomejorador, Proyecto Gramíneas y Leguminosas Tropicales
Pedro J. Argel, Consultor, Proyecto Gramíneas y Leguminosas Tropicales
Alberto Ramírez P., Editor Técnico
Mariano Mejía, Supervisor de Servicios de Referencia, Unidad de Información

Producción: La Rosetta, T. 3326979-Cali

El propósito de esta publicación es servir como medio de comunicación entre los investigadores de forrajes de zonas tropicales que están involucrados en la introducción, evaluación y utilización de gramíneas y leguminosas forrajeras.

El Comité Editorial recibirá complacido contribuciones de los lectores e interesados. Para tal efecto, dirigirse a: Revista Pasturas Tropicales, Proyecto Gramíneas y Leguminosas Tropicales, CIAT, Apartado Aéreo 6713, Cali, Colombia.

c.lascano@cgiar.org

amire@aolpremium.com

Foto carátula:

Cultivar Mulato, un híbrido de *Brachiaria* caracterizado por su rápido establecimiento y alta calidad nutritiva, desarrollado por el Programa de Forrajes Tropicales del CIAT.

(Foto: Belisario Hincapié)

Derechos de autor CIAT 2003. Todos los derechos reservados

El CIAT propicia la amplia disseminación de sus publicaciones impresas y electrónicas para que el público obtenga de ellas el máximo beneficio. Por tanto, en la mayoría de los casos, los colegas que trabajan en investigación y desarrollo no deben sentirse limitados en el uso de los materiales del CIAT para fines no comerciales. Sin embargo, el Centro prohíbe la modificación de estos materiales y espera recibir los créditos merecidos por ellos. Aunque el CIAT elabora sus publicaciones con sumo cuidado, no garantiza que sean exactas ni que contengan toda la información.

Contenido

Pág.

Artículos Científicos

- Modelos matemáticos para estimar os parâmetros de degradação de sorgo através das curvas de produção de gás .
R. Rosero, E. de Oliveira Simões, L. C. Gonçalves, N. M. Rodriguez, e J. A. dos Santos Rodrigues 2
- Absorção e acúmulo de nutrientes no capim cv. Tanzânia (*Panicum maximum*) em resposta à aplicação de nitrogênio como chorume bovino. **L. Tavares Schmidt, P. F. Dias, S. Manhães Souto, R. O. P. Rossiello e A. de Moura Zanine 10**
- Fósforo disponível em solos distintos para a rebrota das gramíneas cvs. Mombaça, Marandu e Planaltina.
E. E. Mesquita, J. C. Pinto, M. C. J. Belarrmino, A. E. Furtini Neto e I. P. A. Santos 17

Notas de Investigación

- Melhoramento da fertilidade do solo em pastagem de *Brachiaria decumbens* associada com leguminosas arbóreas.
D. F. Xavier, M. M. Carvalho, M. J. Alvim e M. A. Botrel 21
- Levantamento da ocorrência de árvores em pastagens em áreas de relevo acidentado no estado do Rio de Janeiro.
S. M. Souto, Avílio A. Franco, e Eduardo F. C. Campello 27
- Composição química, digestibilidade e fracionamento do nitrogênio e dos carboidratos de algumas espécies forrageiras. **L. J. Magalhães, J. da Costa Carneiro, D. S. Campos, R. M. Maurício, M. J. Alvim e D. F. Xavier 33**
- Composição química, digestibilidade e fracionamento do nitrogênio e dos carboidratos de leguminosas arbóreas.
J. da C. Carneiro, L. J. Magalhães Aroeira, D. S. Campos Paciuillo, D. F. Xavier, M. J. Alvim e R. M. Maurício 38
- Devolution rates of grass by *Atta capiguara* (Hymenoptera, Formicidae) in field conditions. **J. F. S. Lopes, L. C. Forti, M. A. C. Boaretto, R. S. Camargo, A. P. P. Andrade, V. M. Ramos and N. S. Nagamoto 42**

Comentario

- Impacto económico potencial de la investigación en forrajeras tropicales para la Orinoquia colombiana. **Convenio MADR - CIAT 46**

Modelos matemáticos para estimar os parâmetros de degradação de sorgo através das curvas de produção de gás

R. Rosero*, E. de Oliveira Simões**, L. C. Gonçalves**, N. M. Rodriguez**, e J. A. dos Santos Rodrigues***

Introdução

Os métodos *in vitro* e *in situ* são empregados para estimar a degradabilidade da MO dos alimentos para ruminantes. Alternativamente a cinética de degradação dos alimentos pode ser determinada a partir do volume de gás produzido durante o processo fermentativo *in vitro* mediante a incubação do alimento com fluido ruminal e uma solução tampão a temperatura constante (39 °C) (Menke et al., 1979). Este método pode ser usado para determinar as taxas de degradação dos alimentos pelo monitoramento das taxas de produção de gás durante determinados intervalos de tempo (Beuvink e Kogat, 1993).

A descrição matemática das curvas de produção de gás permite a análise dos dados, a comparação de substratos e a avaliação de diferentes ambientes de fermentação, proporcionando valiosa informação sobre a composição do substrato e as taxas de fermentação dos constituintes solúveis e estruturais do substrato. O desenvolvimento de novos equipamentos para avaliar a cinética de fermentação através desta técnica (Cone et al., 1994; Theodorou et al., 1994; Maurício et al., 1999) permite traçar curvas de produção de gás com maior precisão onde diferentes processos podem ser identificados o que faz com que seja necessário o emprego de modelos mais complexos que permitam um melhor ajuste estatístico dos dados.

* Zootecnista, D.Sc. Profesor auxiliar. Facultad de Agrozootecnia, Universidad del Cauca, Colombia.

** Zootecnista, Profesor, Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Veterinária da UFMG Caixa Postal 567, Campus da UFMG CEP 30123-970 Belo Horizonte, MG - Brasil

*** Ing. Agrônomo, D.Sc., Investigador. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropécuaria-Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (EMBRAPA-CNPMS). Rodovia MG 424, Km 65 Caixa Postal: 151 CEP: 35701-970 Sete Lagoas-MG - Brasil.

Tem sido propostos diferentes modelos matemáticos para estimar os parâmetros de degradação através das curvas de produção de gás (Mertens e Loften, 1980; France et al., 1993; Beuvink e Kogat, 1993; Schofield et al., 1994; Groot et al., 1996) todos apresentam vantagens e desvantagens de ajuste um frente ao outro, dependendo das condições experimentais e do tipo de substrato em estudo.

O objetivo do presente estudo foi comparar diferentes modelos matemáticos e avaliar sua capacidade de ajuste para descrever a cinética de produção de gás de cinco genótipos de sorgo colhidos em três estádios de maturação.

Materiais e métodos

Fonte e preparação dos substratos

Foram empregados cinco genótipos de sorgo: Massa 3, Volumax, BR 601, BR 700 e BR 701. Os genótipos foram plantados nas dependências da Embrapa - Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo no município de Sete Lagoas, Minas Gerais. Cada genótipo foi plantado em três canteiros diferentes que constituíram as repetições e colhidos em três épocas de corte diferentes, fazendo um total de 45 materiais para incubação.

A colheita dos materiais foi feita aos 7, 28 e 49 dias após o florescimento que ocorreu aos 90 dias depois do plantio. Após a colheita de todo o material, as forragens foram picadas em partículas com tamanho médio de 2 cm, empregando-se uma picadeira estacionária 'Nogueira modelo DPM-4'. O material dos cinco genótipos de sorgo nas três épocas de corte foi individualmente homogenizado e seco em estufa de ventilação forçada com temperatura de 60-65 °C por 72 h. As amostras secas foram moídas através de peneira de 1 mm, utilizando-se um moinho estacionário 'Thomas-Wiley' modelo 4.

Preparação do meio de cultura

O meio de cultura foi preparado 1 dia antes do início do experimento de acordo com as recomendações feitas por Mauricio et al. (2001). O meio foi fortemente agitado para permitir a completa mistura das soluções, transferido dentro de uma capela e saturado com CO₂ por 2 h até atingir uma leve coloração rosa.

Preparação dos frascos de incubação

A incubação foi feita em frascos de vidro com capacidade para 125 ml. Um dia antes do início do experimento foram adicionados manualmente a cada frasco 90 ml de meio de cultura mediante a utilização de uma proveta graduada. Os frascos foram vedados com rolhas de borracha (14 mm) e mantidos em geladeira a 4 °C para evitar qualquer tipo de fermentação. Cinco horas antes da inoculação os frascos foram removidos da geladeira e levados para estufa a 39 °C.

Preparação do inóculo e inoculação

O líquido ruminal foi obtido de uma vaca fistulada mantida no Hospital Veterinário da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais. O animal doador era alimentado a vontade com silagem de milho, 2 kg de ração concentrada e sal mineralizada. O líquido ruminal foi retirado manualmente de várias partes do rúmen e armazenado em garrafas térmicas previamente aquecidas com água a 40 °C. Após a coleta, o líquido ruminal foi filtrado através de duas camadas de panos de algodão, a parte sólida retida nos panos foi rapidamente transferida para um liquidificador com certa proporção de líquido ruminal e liquidificado por 20 seg. Após este procedimento o material liquidificado foi filtrado novamente e transferido para um 'erlenmeyer' mantido em banho-maria a 39 °C sendo continuamente saturado com CO₂. Este procedimento foi feito para garantir que o inóculo resultante estivesse composto por microorganismos ruminantes aderidos e não aderidos à fibra (Theodorou et al., 1994).

Os frascos com o meio de cultura e o substrato foram inoculados com 10 ml de líquido ruminal usando uma seringa graduada de 10 ml e totalmente vedados foram agitados manualmente e transferidos para estufa a 39 °C (tempo zero).

Leituras da produção de gás

A pressão originada dos gases acumulados na parte superior dos frascos foi medida através de um

transdutor de pressão conectado a um leitor digital, os dados de pressão foram rapidamente transferidos e armazenados em um computador para sua posterior análise. As leituras foram feitas nos horários 2, 4, 6, 8, 10, 12, 15, 19, 24, 30, 36, 48, 72 e 96 horas. Uma agulha acoplada ao transdutor de pressão foi inserida através da tampa de borracha e a pressão medida e armazenada.

Modelos

Diferentes modelos para descrever a cinética de produção de gás tem sido relatados por Beuving e Kogut et al., (1993) e Schofield (2000). Para este estudo foram escolhidos quatro modelos (Tabela 1): (1) Modelo não sigmoidal que é utilizado com frequência na avaliação da degradação dos alimentos pela técnica *in situ* (Orskov e McDonald, 1979), este modelo supõe que a taxa de produção de gás depende unicamente do substrato disponível para fermentação uma vez atingido o tempo de colonização. (2) Modelo logístico proposto por Schofield et al. (1994) que supõe que a produção de gás é proporcional ao tamanho da população microbiana e ao substrato digestível. No início da fermentação, a população microbiana constitui o fator limitante, já no final da fermentação é a disponibilidade de substrato fermentável o que limita a taxa de produção de gás (Schofield et al., 1994). Em consequência a curva logística é inerentemente sigmoidal e a máxima taxa de produção de gás ocorre quando a metade do substrato tem sido fermentado. (3) Modelo proposto por France et al. (1993) é empírico e muito semelhante ao modelo exponencial simples proposto por Orskov e McDonald (1979), ele conserva o conceito do tempo de colonização e a taxa de degradação é postulada para variar com o tempo de incubação. (4) Modelo de Gompertz proposto por Lavrencic et al. (1997), supõe que a taxa de produção de gás é proporcional à atividade microbiana, mas a proporcionalidade diminui com o tempo de incubação o que pode ser interpretado como a perda de eficiência na taxa de fermentação com o tempo.

Validação dos modelos

O estudo dos resíduos é uma técnica que pode ser utilizada para distinguir a qualidade de ajuste entre diferentes modelos. Os resíduos foram analisados graficamente e testados para um amplo número de corridas visando determinar se os modelos superestimam ou subestimam certas seções da curva de degradação. Outros critérios de avaliação foram os quadrados médios do erro (QME) e os coeficientes de determinação (R²), além do julgamento na coerência das estimativas dos parâmetros com significado

Tabela 1. Descrição matemática dos modelos testados.

Modelo	Número de parâmetros	Equação ^a
Exponencial	3	$V_T = \Sigma V_{Fn} \times (1 - \exp(-k_n \times (t - L_n)))$
Logístico	3	$V_T = \Sigma V_{Fn} \times (1 + \exp(2 - 4 \times S_n \times (t - L_n)))^{-1}$
France	4	$V_T = V_F \times \{1 - \exp[-b \times (t - L) - c \times (\sqrt{t} - \sqrt{L})]\}$
Gompertz	3	$V_T = V_F \times \exp(-c)(\exp(-A \times t))$

a. V_T = volume de gás no-tempo; V_{Fn} = volume de gás correspondente à completa digestão do substrato (asintota); k_n = taxa constante (h^{-1}); L, L_n = tempo de colonização; S_n = representa uma taxa específica semelhante à taxa de degradação k_n ; c = taxa constante de produção de gás do material potencialmente degradável. A = fator constante de eficiência microbiana.

biológico. Os QME foram avaliados através do análise de variância com o auxílio do procedimento Proc Anova (SAS, 1985).

As curvas de ajuste e as estimativas dos parâmetros, assim como também o estudo dos resíduos foi feito através do processo iterativo do algoritmo Marquardt com a ajuda do procedimento para modelos não lineares (Proc Nlin) do SAS (1985).

Resultados e discussão

Existem diferentes criterios de avaliação para determinar a qualidade de ajuste entre modelos, entre eles o coeficiente de determinação (R^2), os quadrados médios do erro (QME) e o valor dos resíduos, definidos como a diferença entre os valores observados e os preditos pelo modelo. O coeficiente de determinação como unico critério de avaliação não constitui um bom indicador de ajuste, uma vez que altos coeficientes podem ser observados em modelos com limitada capacidade de predição.

Na avaliação estatística do modelo é importante lembrar que a soma quadrado total (SQT) é sempre a mesma para um determinado conjunto de dados. A SQT na análise de variância da regressão não linear é dividida em duas partes, uma parte chamada soma quadrado da regressão (ou modelo) (SQM) e outra chamada soma quadrado do residuo (ou erro) (SQE). Como a SQT é sempre a mesma para um conjunto de dados o valor da SQE depende exclusivamente do

modelo, sendo que modelos que representam melhor um conjunto de dados fornecem menores SQE, que posteriormente serão utilizados para o calculo dos QME constituindo assim um adequado critério de avaliação entre modelos.

A Figura 1 mostra os QME dos modelos para 45 curvas de produção de gás. Em todos os casos o ajuste exponencial dos dados apresentou os maiores valores quando comparados aos obtidos para os modelos logístico, Gompertz e France. Para os modelos Gompertz, logístico e France os valores dos QME foram geralmente baixos; os modelos Gompertz e France apresentaram QME muito próximos para 67% dos substratos avaliados. Devido a que a variação dos QME do modelo exponencial foram maiores que a variação observada para os obtidos com os outros modelos, estes foram comparados através do análise de variância. Os QME foram maiores para o modelo exponencial ($P < 0.05$), seguido pelo modelo logístico (Tabela 2). Embora o modelo France tivesse apresentado os menores QME ($P > 0.05$) foi estatisticamente equivalente do modelo Gompertz.

A Figura 2 ilustra o ajuste provido pelos modelos para os dados de produção de gás de um dos substratos avaliados neste experimento. O modelo France subestima a produção de gás nos primeiros horários de incubação, subestima a asymptota e não fornece um adequado ajuste para a fase exponencial da curva. O modelo exponencial da mesma forma que o modelo France subestima a produção de gás nos

Tabela 2. Médias dos quadrados médios do residuo (QME, n = 45) obtidos a partir do ajuste dos dados de produção de gás aos modelos exponencial, logístico, Gompertz e France.

Modelo	Média QME	Exponencial	Logístico	Gompertz
		DMS		
Exponencial	727.29	—	—	—
Logístico	278.07	449.22**	—	—
Gompertz	181.10	546.19**	96.97**	—
France	102.22	625.07**	175.85**	78.88 ns.

DMS = Diferença mínima significativa (** $P < 0.01$).

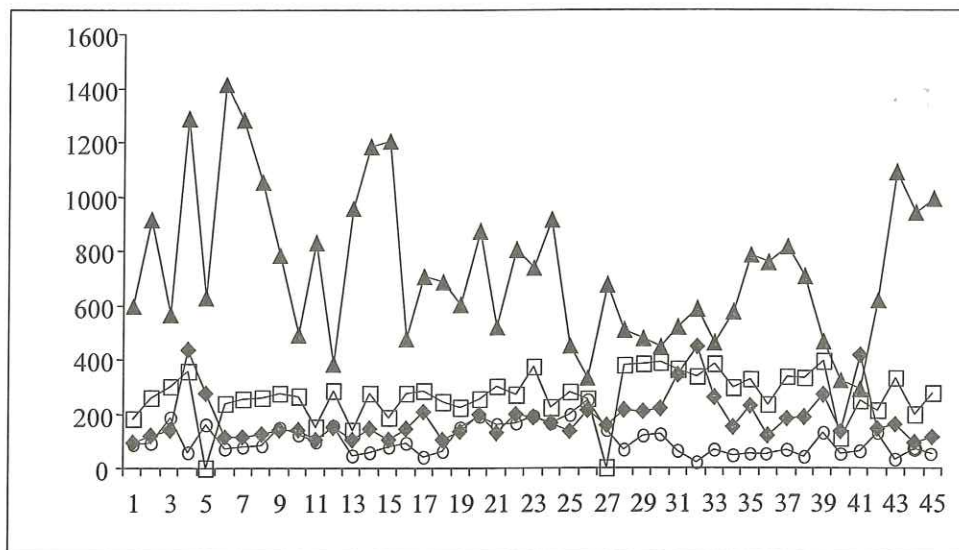


Figura 1. Representação gráfica dos quadrados médios do erro (QME) correspondentes a 45 curvas de produção de gás descritas pelos modelos exponencial (s), logístico (□), Gompertz (◆) e France (○).

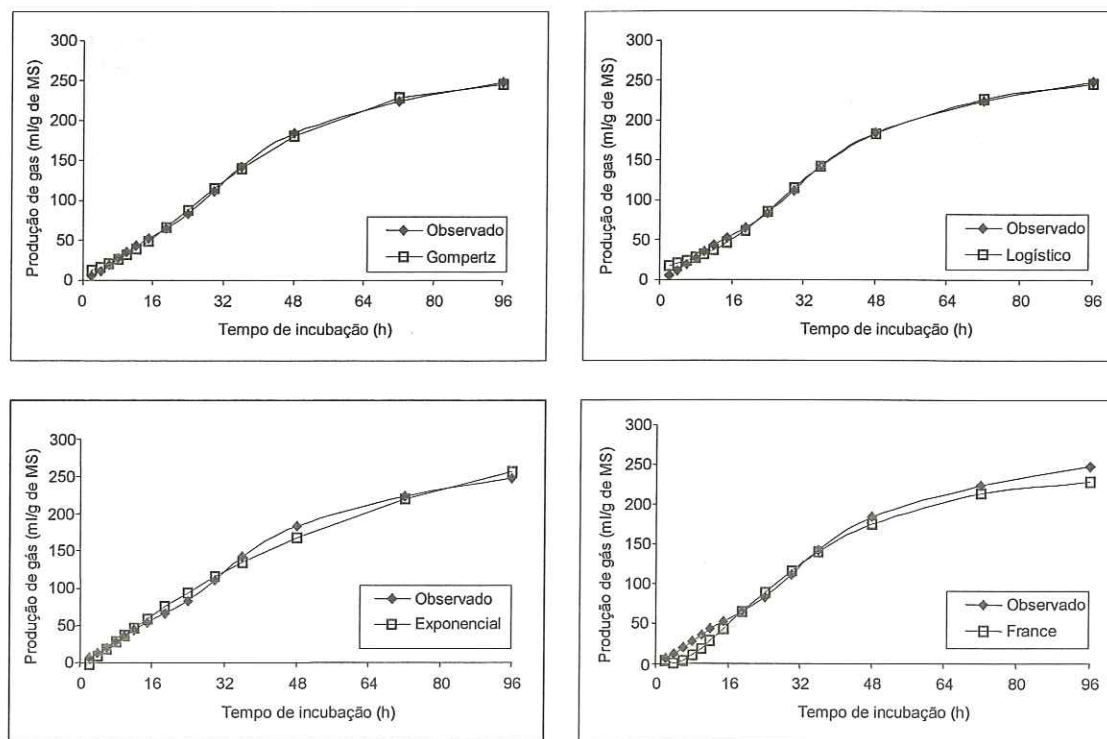


Figura 2. Produção acumulativa de gás para um genótipo de sorgo (μ ; ml de gás/g de MS) e ajuste dos modelos Gompertz, exponencial, logístico e France (□).

primeiros horários e não apresenta um adequado ajuste ao longo do tempo. Contrariamente, o modelo logístico superestima a produção de gás nos primeiros horários de incubação e se ajusta melhor à fase asintótica da curva. Já o modelo Gompertz supera todos estes problemas e fornece um adequado ajuste nos primeiros estádios do processo fermentativo assim como também na fase asintótica da curva.

Desta forma este modelo mostra-se adequado para descrever as características de fermentação de substratos com rápidas taxas de produção de gás nos primeiros horários de incubação e com um lento crescimento da fase asintótica como no caso das forrageiras tropicais. As curvas de produção de gás apresentam forma sigmoideal e nelas podem ser distinguidas três fases: inicial de lenta produção de

gás, exponencial de rápida produção de gás e, asintótica onde existe uma lenta ou quase nula produção de gás.

Na Figura 3 podem ser vistas as dispersões temporais dos resíduos em relação aos valores efetivamente observados após o ajuste dos dados individuais de produção de gás (ml de gás/g de MS) aos modelos. Como observado na Figura o modelo exponencial subestima a produção de gás durante a fase inicial (primeiras 6 h de incubação). No período compreendido entre as 6 e 24 h este modelo prediz taxas de produção de gás maiores às observadas, entanto que no período compreendido entre as 30 e 72 h de incubação apresenta uma clara subpredição dos volumes de gás produzidos. Finalmente na fase asintótica para todos os substratos avaliados foi verificada uma superestimação dos valores de gás produzidos.

Quando observados as Figuras de dispersão para os modelos logístico e Gompertz pode ser verificado que eles apresentam um comportamento semelhante ao longo do tempo, com pequenas diferenças. Durante a fase inicial ambos modelos superestimam a produção de gás, mas os valores preditos pelo modelo logístico são muito menores que os preditos pelo modelo Gompertz o que faz com que este último seja mais acurado em prever os volumes de gás produzido nos primeiros horários de incubação.

Nos horários de leitura compreendidos entre 6 e 19 h após a inoculação o modelo Gompertz subestima o volume de gás produzido. Sofre um período de estabilização nos horários 24 e 48 h, onde para um grande número de substratos os valores preditos e observados foram muito próximos. Finalmente com 96 h de incubação prediz volumes de gás menores de aqueles observados para todos os substratos. O modelo logístico apresenta o mesmo comportamento que o Gompertz com a vantagem que a diferença entre os valores observados e preditos é menor nos horários de leitura 48, 72 e 96 h o que indica um melhor ajuste do modelo predizendo com exatidão a fase asintótica da curva de produção de gás. Contrariamente aos modelos Gompertz e logístico, o modelo France subestima amplamente os primeiros horários de incubação e a fase asintótica da curva fato pelo qual sua utilização para descrever a cinética de fermentação de forrageiras deve ser considerada com uma vez que subestima o potencial fermentativo das mesmas.

Os dados empregados neste experimento mostram que o ajuste do modelo exponencial é inferior quando comparado aos modelos logístico, Gompertz e France. A menor capacidade de ajuste do modelo exponencial também foi observada por Beuvinck e Kogut (1993) quando avaliaram cinco modelos diferentes para descrever a cinética de produção de gás de 50 substratos.

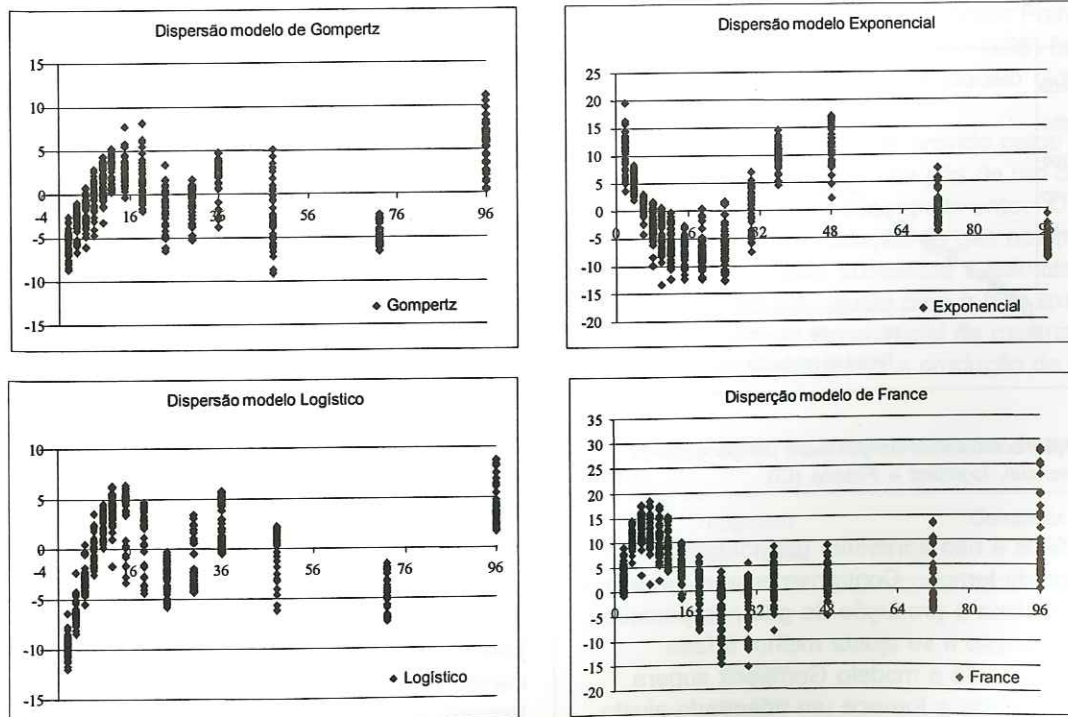


Figura 3. Dispersões temporais dos resíduos (u) obtidos após o ajuste dos dados individuais de produção de gás (ml de gás/g de MS) aos modelos exponencial, logístico, gompertz e France.

Uma possível razão para explicar a falta de ajuste do modelo exponencial poderia ser o fato deste modelo assumir que após do tempo de colonização o alimento é fermentado instantaneamente a uma máxima taxa de degradação. Mas no caso de plantas forrageiras que apresentam diferentes tipos de tecidos com diferente composição e taxas de degradação, isto não é completamente certo.

Histologicamente os tecidos da plantas forrageiras pode ser divididos dentro de três tipos: (1) Material rapidamente fermentável (células do mesófilo), (2) material de lenta fermentação (esclerenquima, parênquima), e (3) material indigestível (tecido vascular lignificado) (Akin, 1979). Nas primeiras horas de incubação uma parte do substrato, principalmente os açúcares solúveis, são fermentados imediatamente, mas eles só constituem uma pequena parte do material potencialmente digestível. A medida que o processo fermentativo continua uma maior quantidade de material é hidratado e colonizado pelos microorganismo ruminais o que origina diferentes taxas de degradação, dependendo da concentração de carboidratos estruturais, teores de lignina e estágio de maturidade da planta. Sob este ponto de vista, o modelo exponencial não é o mais apropriado para descrever a cinética de produção de gás das forrageiras por considera-las como uma entidade uniforme com uma taxa de degradação constante ao longo do tempo.

Na Tabela 3 são apresentados os valores estimados pelos modelos para as variáveis volume de gás produzido (ml/g de MS), taxa de produção de gás, tempo de colonização (horas) e coeficientes de determinação (R^2) de cinco genótipos de sorgo colhidos em três estágios de maturação estimados pelos modelos exponencial, logístico, Gompertz e France. Os valores estimados pelos modelos para cada uma destas variáveis corresponde à média de três repetições para cada genótipo em cada época de corte.

Quando analisados os valores estimados pelos modelos para a variável volume de gás produzido nas três épocas de corte pode ser verificado que todos apresentaram altos coeficientes de determinação ($R^2 > 99\%$), o que indica que este valor usado de maneira isolada não constitui um bom critério de avaliação de ajuste entre modelos. Os valores médios de volume de gás produzido estimados pelos modelos logístico, Gompertz e France para todos os genótipos apresentaram apenas diferenças numéricas ($P > 0.05$) e mostraram-se estatisticamente diferentes dos valores estimados pelo modelo exponencial. É importante salientar que o modelo exponencial

superestimou o volume de gás produzido para todos os materiais em estudo.

Ao serem comparados os volumes de gás produzidos entre genótipos pode ser verificado, que independentemente da época de colheita do material, os modelos logístico e Gompertz classificaram de maneira semelhante os materiais em estudo, apresentando pequenas discrepâncias unicamente na segunda época de colheita do material, embora não tenham sido verificadas diferenças estatísticas ($P > 0.05$) entre os volumes de gás preditos pelos modelos.

Por sua parte o modelo exponencial classificou os materiais de maneira diferente, superestimando a produção de gás em todos os genótipos, principalmente nos materiais com menor potencial fermentativo, fato pelo qual diferenças claras entre genótipos foram aparentemente inexistentes. Já o modelo France apresentou um comportamento diferente quando comparado aos modelos Gompertz e logístico subestimando os potenciais de fermentação para 34% dos substratos em estudo o que fez com que alguns materiais fossem penalizados e classificados como de qualidade inferior.

Quando analisadas as taxas de produção de gás que corresponderiam às taxas de degradação estimadas pela técnica *in situ*, pode ser verificado que estatisticamente os valores preditos pelos modelos France, logístico e Gompertz são iguais ($P > 0.05$), apresentando apenas diferenças numéricas.

O modelo Gompertz não permite estimar o tempo de colonização, mas permite estimar um fator de eficiência microbiana que diminui a medida que o potencial de fermentação do substrato decresce ao longo do tempo.

Conclusões

Os modelos Gompertz e France mostraram significativa superioridade de ajuste em termos de coeficiente de determinação e SQE na estimativa dos parâmetros da cinética de produção de gás quando comparados com os modelo exponencial e logístico. As diferenças observadas entre modelos na classificação dos materiais em quanto a seu potencial de fermentação pode levar a conclusões erradas uma vez que a sub ou superestimação na produção de gás poderia classificar claras diferenças entre materiais como inexistentes.

Os modelos empregados na avaliação de alimentos para ruminantes através das técnicas *in situ* e *in vitro* apresentam vantagens e desvantagens de ajuste dependendo das condições experimentais e

Tabela 3. Volume de gás produzido (ml/g de MS), taxa de produção de gás, tempo de colonização (h) e coeficiente de determinação (R^2) de cinco genótipos de sorgo colhidos em três estádios de maturação, estimados pelos modelos exponencial, logístico, Gompertz e France.

Corte Genótipo (no.)	Volume de gás produzido					Taxa de produção de gás					Tempo de colonização*					Coeficiente de determinação (R^2)					
	Gompertz	Logist.	Expon.	France	Gompertz	Logist.	Expon.	France	Gomp.	Logist.	Expon.	France	Gomp.	Logist.	Expon.	France	Gomp.	Logist.	Expon.	France	
1																					
Massa3	251.63 bA*	254.67 bA	331.19 aA	245.61 bAB	0.05 aA	0.052 aB	0.016 bA	0.053 aA	3.44	9.89 aA	2.65 bB	3.45 bA	99.86	99.80	99.20	98.56					
Volumax	227.34 bB	230.47 bB	309.42 aB	220.04 bC	0.047 aA	0.045 aB	0.014 bA	0.049 aA	3.32	9.5 aA	2.23 bB	3.21 bA	99.80	99.65	99.15	99.15					
BR 601	243.54 bAB	242.18 bAB	345.61 aA	232.26 bBC	0.044 aA	0.042 aB	0.012 bA	0.047 aA	3.25	9.37 aA	1.87 bB	3.42 bA	99.79	99.64	99.08	98.96					
BR 700	243.06 bAB	239.81 bAB	291.53 aB	243.80 bAB	0.055 aA	0.062 aA	0.02 bA	0.055 aA	3.34	8.5 aA	2.71 bB	3.14 bA	99.75	99.55	99.44	98.08					
BR 701	250.36 bA	251.80 bA	300.23 aB	255.99 bA	0.058 aA	0.075 aB	0.022 bA	0.055 aA	3.52	9.1 aA	3.09 bB	3.20 bA	99.77	99.62	99.29	99.31					
2																					
Massa3	272.88 bA	276.09 bA	324.88 aB	273.16 bA	0.062 aAB	0.078 aB	0.023 bA	0.064 aA	3.68	10.22 aB	3.30 bA	3.52 bA	99.77	99.75	99.04	99.15					
Volumax	242.96 bBC	247.77 bAB	314.43 aB	252.03 bAB	0.056 aAB	0.056 aC	0.017 bA	0.051 aA	3.87	11.32 aA	3.60 bA	3.85 bA	99.87	99.83	98.73	97.68					
BR 601	252.26 bAB	252.26 bAB	365.26 aA	237.88 bB	0.045 aB	0.04 aC	0.012 bA	0.049 aA	3.37	10.18 aB	2.23 bB	3.65 bA	99.77	99.64	98.96	97.77					
BR 700	246.25 ABC	246.37 bAB	282.48 aC	252.85 bAB	0.063 aAB	0.069 aA	0.026 bA	0.058 aA	3.43	8.36 aC	3.00 bAB	2.6 bB	99.63	99.61	99.45	97.40					
BR 701	221.83 aC	226.02 aB	247.47 aD	226.33 aB	0.065 aA	0.076 aB	0.029 bA	0.062 aA	3.13	6.42 aD	2.22 bB	2.32 bB	99.70	99.75	99.44	98.41					
3																					
Massa3	263.48 bA	267.58 bA	328.60 aA	261.04 bA	0.056 aA	0.058 aB	0.019 bA	0.058 aA	3.68	10.14 aA	3.27 bA	3.66 bA	99.92	99.74	98.90	99.47					
Volumax	229.17 bB	231.63 bB	272.66 aB	235.74 bBC	0.058 aA	0.064 aB	0.022 bA	0.053 aA	3.49	8.7 aB	2.94 bAB	3.00 bA	99.81	99.66	99.21	99.43					
BR 601	244.57 bAB	233.68 bB	318.76 aA	222.69 cC	0.046 aA	0.059 aA	0.015 bA	0.056 aA	3.14	7.86 aB	1.78 bB	2.88 bA	99.78	99.65	99.36	99.14					
BR 700	244.46 bAB	247.13 bB	313.71 aA	253.33 bAB	0.054 aA	0.067 aB	0.017 bA	0.049 aA	3.68	10.75 aA	3.38 bA	3.48 bA	99.81	99.67	99.19	98.90					
BR 701	246.07 bAB	249.57 bAB	315.92 aA	254.30 bAB	0.057 aA	0.058 aB	0.018 bA	0.053 aA	3.83	10.84 aA	3.58 bA	3.69 bA	99.87	99.71	98.89	99.42					

* Em um mesmo corte, letras minúsculas iguais nas linhas indicam médias semelhantes para modelos. Em um mesmo corte, letras maiúsculas iguais nas colunas indicam médias semelhantes para genótipos.

a. O modelo Gompertz não faz uma estimativa do tempo de colonização, mas determina um fator de eficiência microbiana feito pelo qual não foi comparado estatisticamente com os valores estimados pelos modelos exponencial, logístico e France para esta variável

do tipo de substrato em estudo. Isto faz com que seja necessária a avaliação de diferentes modelos em diferentes condições experimentais e com uma ampla variedade de substratos que permita a escolha do melhor modelo para cada situação e não a utilização indiscriminada de um único modelo para todos os tipos de substratos nas mais variadas condições experimentais.

Resumen

En el Departamento de Zootecnia de la Universidad Federal de Minas Gerais, Brasil, se evaluaron los modelos matemáticos logístico, Gompertz, France y exponencial utilizados en la descripción de la cinética de producción de gas durante la fermentación *in vitro* de tejido de cinco genotipos de sorgo, cultivados en el campo de Embrapa—Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, município de Sete Lagoas, M.G., Brasil. Las plantas fueron cosechadas 7, 28 y 49 días después de la floración, que ocurrió 90 días después de la siembra. Entre el inicio de la incubación de los materiales y 96 h más tarde se hicieron 14 lecturas de producción de gas. Cada genotipo fue sembrado en tres repeticiones para un total de 45 muestras en incubación por modelo. Los modelos exponencial y France presentaron los menores ajustes para predecir la producción de gas en la fermentación de forraje de sorgo, ya que subestiman la producción y presentan un bajo coeficiente de determinación. El modelo Gompertz presentó un ajuste adecuado para evaluar la tasa de fermentación en trabajos *in vitro* con forrajeras tropicales.

Summary

Four mathematical models—logistic, Gompertz, France, and exponential—were used to describe the kinetics of gas production during *in vitro* fermentation of plant tissue of five sorghum genotypes at the Department of Zootechnics, Federal University of Minas Gerais, Brazil. Genotypes were grown in the field at the Embrapa—National Millet and Sorghum Research Center, located in the municipality of Sete Lagoas (Minas Gerais). Plants were harvested at 7, 28, and 49 days after flowering, which occurred 90 days after planting. Fourteen gas production readings were performed over a 96-h interval, starting from beginning of incubation of materials. Each genotype was planted with three replicates, totaling 45 incubated samples per model. The exponential and France models underestimated the production and presented a low coefficient of determination. The Gompertz model supplied an adequate adjustment and therefore is appropriate to evaluate fermentation rates in *in vitro* work carried out with tropical forages.

Referências

- Akin, D. E. 1979. Microscopic evaluation of forage by rumen microorganisms—A review. *J. Anim. Sci.* 48:701.
- Beuvink, J. M. e Kogut, J. 1993. Modelling gas production kinetics of grass silages incubated with buffered ruminal fluid. *J. Anim. Sci.* 71:1041-1046.
- Cone, J. W.; Beuvink, J. M.; e Rodrigues, M. 1994. Use and applications of an automated time related gas production test for *In Vitro* study of fermentation kinetics in the rumen. *Rev. Portuguesa de Zootecnia* 1:25-37.
- France, J.; Dhanoa, M. S.; Theodorou, M. K.; Lister, S. J.; Davies, D. R.; e Isac, D. A. 1993. Model to interpret gas accumulation profiles associated with *in vitro* degradation of ruminant feeds. *J. Theor. Biol.* 163:99-111.
- Groot, J. C.; Cone, J. W.; Williams, B. A.; Debersaques, F. M.; e Lantiga, E. A. 1996. Multiphasic analysis of gas production kinetics for *in vitro* fermentation of ruminant feeds. *Anim. Feed Sci. Techn.* 64:77-89.
- Lavrencic, A.; Stefanon, B.; e Susmel, P. 1997. An evaluation of the Gompertz model in degradability studies of forage chemical components. *Anim. Sci.* 64:423-431.
- Maurício, R. M.; Owen, E. R.; Mould, F. L.; Givens, I.; Theodorou, M. K.; France, J.; Davies, D. R.; e Dhanoa, M. S. 2001. Comparison of bovine rumen liquor and bovine faeces as inoculum for an *in vitro* gas production technique for evaluating forage. *Anim. Feed Sci. Technol.* 89:33-48.
- Menke, K. H.; Raab, L.; Salewski, A.; Steingass, H.; Frits, D.; e Shneider, W. 1979. The estimation of the digestibility and energy content of ruminant feedingstuffs from the gas production when they incubated with liquor *in vitro*. *J. Agric. Sci.* 93:217-222.
- Mertens, D. R. e Loften, J. R. 1980. The effect of starch on forage fiber digestion kinetics *in vitro*. *J. Dairy Sci.* 63:1437-1446.
- Orskov, E. R. e McDonald, I. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *J. Agric. Sci.* 92:499-503.
- SAS Institute. 1985. SAS User's Guide: Statistics. SAS Institute, INC., Cary, North Carolina.
- Schofield, P. 2000. Gas production methods. In: Farm animal metabolism and nutrition. Wallingford, Reino Unido. CAB International. 450 p.
- _____; Pitt, R. E.; e Pell A. N. 1994. Kinetics of fiber digestion from *in vitro* gas production. *J. Anim. Sci.* 72:2980-2991.
- Theodorou, M. K.; Williams, B. A.; Dhanoa, M. S.; McAllan, A. B.; e France, J. A. 1994. New gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminal feeds. *Anim. Feed Sci. Technol.* 48:185-197.