

Predição da excreção de nitrogênio e fósforo para bovinos de corte

Laura Franco Prados, Fernanda Helena Martins Chizzotti, Abmael da Silva Cardoso, Ana Claudia Ruggieri, Mario Luiz Chizzotti, Igor Lima Bretas, Breno de Castro Silva, Polyana Pizzi Rotta, Luiz Fernando Costa e Silva e Sebastião de Campos Valadares Filho

INTRODUÇÃO

Bovinos de corte retêm apenas uma porção dos nutrientes consumidos, sendo o remanescente perdido nas fezes, urina, eructação ou flatulências (NASEM, 2016). As excreções distribuídas em pastagens bem manejadas representam pouco ou nenhum impacto pois o sistema solo-planta é capaz de utilizar a maioria dos nutrientes presentes nos dejetos, porém em áreas de aguadas, áreas de descanso ou próximos a cochos de suplementação, onde há aglomeração de animais e compactação do solo, os dejetos acumulados podem representar passivos ambientais. Em confinamentos, devido à grande concentração de animais, o grande volume de fezes e urina acumulado no piso das baias pode ocasionar contaminações por carreamento superficial, lixiviação no solo ou volatilização de gases como metano, amônia, óxido nitroso e em algumas situações sulfeto de hidrogênio.

A formulação de precisão representa grande oportunidade para redução das excreções destes compostos. A gestão de nutrientes representa uma nova demanda para nutricionistas de bovinos frente às questões ambientais enfrentadas pela cadeia produtiva da carne (Klopfenstein e Erickson, 2002). Regulações ambientais em países desenvolvidos norteiam a necessidade da redução de excreção de alguns compostos, principalmente compostos nitrogenados (N) e fósforo (P), devido ao potencial de poluição desses no solo e água, e na atmosfera para o N.

A proteína verdadeira é o nutriente de mais alto custo unitário nas dietas de bovinos de corte, sendo que sua inclusão de forma desequilibrada resulta em elevação nos custos de produção e aumento na excreção de compostos nitrogenados nas fezes e principalmente na urina (Cavalcante et al., 2005). O fósforo é o mineral que mais contribui com a contaminação ambiental, sendo considerado relevante poluidor

de águas em vários países do mundo (Tamminga, 1992; Valk et al., 2000). Sendo assim, a redução das perdas de N e P é uma preocupação ambiental, social e econômica.

Os sistemas de produção de ruminantes são considerados um dos principais contribuintes de perdas de N e P para o meio ambiente (Neeteson, 2000; Schroder et al., 2003). A intensificação da produção acarreta aumento na excreção de poluentes nos dejetos. De acordo com Tamminga (1992), o manejo da dieta era realizado com mínima ou nenhuma preocupação com a excreção de N nas fezes e urina. Atualmente, o impacto ambiental de animais alimentados em confinamento é uma preocupação crescente (Cole et al., 2006; Staerfl et al., 2012; Patra e Lalhriatipui, 2016).

O controle racional do nitrogênio e fósforo (e.g. resíduos de fertilizantes e dejetos de animais) é um dos principais fatores a ser manejado para reduzir problemas no ambiente relacionados a agropecuária. Cole (2003) propôs o uso da “alimentação de precisão” (*precision feeding*), definida como o manejo alimentar do gado de forma que não prejudique seu desempenho, mas diminua a concentração dos nutrientes na dieta e desta forma diminua também a excreção destes no ambiente. Uma ferramenta para o uso desse manejo seria o balanceamento adequado das dietas conforme as exigências nutricionais dos bovinos, reduzindo assim a excreção de compostos poluentes sem prejudicar o desempenho dos animais.

A diminuição da excreção do nitrogênio e fósforo pode resultar em menor impacto ambiental e maior retorno econômico no sistema de produção por diminuir o uso de insumos nitrogenados/fosfatados.

O desenvolvimento de medidas de controle é uma questão complicada, mas que se faz necessária atualmente. A adequação topográfica de instalações animais, evitando o carreamento superficial ou infiltração de dejetos até corpos d'água é essencial. Adicionalmente, o

manejo e compostagem de resíduos acumulados em sistemas intensivos representa enorme oportunidade de geração de biofertilizantes e/ou bioenergia que minimizam o impacto ambiental da atividade e podem gerar receita adicional ao sistema de produção.

Dessa forma, objetivou-se apresentar equações de predição da excreção de compostos nitrogenados e fósforo via fezes e urina por bovinos de corte em condições tropicais.

ADEQUABILIDADE DAS EQUAÇÕES PROPOSTAS PELO NASEM (2016)

O sistema NASEM (2016) incorporou informações referentes ao impacto ambiental da atividade pecuária. Antes de gerar novos modelos para excreção de compostos nitrogenados e fósforo no ambiente, as equações de predição do N e P excretado (Geisert et al., 2010; Waldrip et al., 2013; Dong et al., 2014), propostas pelo NASEM (2016), foram testadas para verificar a adequabilidade dessas para o banco de dados do BR-CORTE (2016). As equações testadas são apresentadas abaixo.

Para excreção de N foram utilizados 751 dados individuais (Tabela 13.3) e para a excreção de fósforo total foram utilizados 178 dados individuais (Tabela 13.8 e 13.10).

As equações propostas para excreção de N (Waldrip et al., 2013; Dong et al., 2014) apresentam o consumo de nitrogênio como variável independente. O NASEM (2016) propõe uma equação para predição do N urinário excretado em função do consumo de nitrogênio e do consumo de matéria seca. As equações utilizadas pelo sistema americano NASEM (2016) não estimaram corretamente a excreção de N ($P < 0,05$; Tabela 13.1) e apresentaram de baixo a alto vício sistemático (4 a 38%). A falta de acurácia para estimar a excreção de N pode ser explicada pela falta de animais mais jovens, consequentemente com menor ingestão de nitrogênio, no banco de dados utilizado para geração das equações e, devido a fatores genéticos.

A equação proposta para excreção de P total (Geisert et al., 2010) não estima corretamente a excreção de P no banco de dados do BR-CORTE ($P < 0,05$; Tabela 13.1), entretanto, apresentou elevado valor para o CCC. A falta de acurácia para estimar a excreção de P pode ser explicada por fatores genéticos, uma vez que os animais utilizados por Geisert et al. (2010) diferem dos animais Zebuínos e cruzados utilizados no Brasil.

$$\text{N Urina (g/dia)} = - 21,18 + 0,56 \times \text{CN} \\ \text{[Waldrip et al., 2013]}$$

$$\text{N Fezes (g/dia)} = 24,28 + 0,15 \times \text{CN} \\ \text{[Waldrip et al., 2013]}$$

$$\text{N Urina (g/dia)} = - 14,12 + 0,51 \times \text{CN} \\ \text{[Dong et al., 2014]}$$

$$\text{N Fezes (g/dia)} = 15,82 + 0,20 \times \text{CN} \\ \text{[Dong et al., 2014]}$$

$$\text{N Urina (g/dia)} = 2,39 + 0,55 \times \text{CN} - 3,36 \times \text{CMS} \\ \text{[NASEM, 2016]}$$

$$\text{P Total (g/dia)} = 0,82 + 0,57 \times \text{Consumo P} \\ \text{[Geisert et al., 2010]}$$

em que: CN = consumo de nitrogênio (g/dia); CMS = consumo de matéria seca (kg/dia); consumo P = consumo de fósforo (g/dia).

Diante disso, existe a necessidade de gerar equações condizentes com a realidade do Brasil, condições ambientais e grupos genéticos. Dessa forma, foram geradas novas equações, baseadas em um banco de dados mais robusto e com um maior número de observações, para estimativas das excreções de N e P por bovinos de corte em condições tropicais. Essas estimativas são de suma importância para os sistemas de produção de gado de corte em tais condições, pois auxilia na questão ambiental e pode identificar práticas de manejo para redução destas excreções.

Tabela 13.1 - Análise de regressão, coeficiente de correlação e concordância (CCC) e decomposição do quadrado médio de predição (QMEP) entre os valores preditos e observados da excreção de nitrogênio e fósforo

Item	Waldrup et al. (2013)		Dong et al. (2014)		NASEM (2016)	Geisert et al. (2010)
	N fezes	N urina	N fezes	N urina	N urina	P total
Análise de regressão ¹	-	-	-	-	-	-
r ²	0,71	0,53	0,71	0,53	0,50	0,60
H ₀ : a = 0 e b = 1	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
CCC	0,59	0,72	0,71	0,72	0,69	0,76
Cb	0,70	0,98	0,84	0,99	0,97	0,99
QMEP	274	654	219	576	521	3,63
Vício médio (%)	0,28 (0,11)	6,40 (0,98)	1,39 (0,64)	10,3 (1,80)	24,0 (4,60)	0,07 (2,04)
Vício sistemático (%)	106 (38,5)	199 (30,5)	48,9 (22,4)	118 (20,4)	19,4 (3,71)	0,13 (3,68)
Erro aleatório (%)	168 (61,4)	448 (68,5)	168 (77,0)	448 (77,8)	478 (91,7)	3,43 (94,3)

¹Regressão linear entre valores preditos e observados por intermédio das equações de excreção de nitrogênio via urina e fezes.

NITROGÊNIO

Metabolismo dos compostos nitrogenados no animal e no ambiente

A maioria das fontes proteicas possui alta digestibilidade em ruminantes, tendo, frequentemente, acima de 90% de digestibilidade verdadeira. Já volumosos e fontes energéticas apresentam menor digestibilidade. A proteína indigestível é excretada nas fezes, enquanto a proteína digerida é convertida em aminoácidos que podem ser utilizados para síntese de tecido animal ou oxidados para produção de ATP com consequente geração de ureia no fígado, sendo parcialmente filtrada nos rins e excretada na urina. Uma parte da ureia pode ser reciclada de volta ao trato gastrointestinal e assimilada pelos microrganismos. Entretanto, uma parte do nitrogênio incorporado nos microrganismos é excretada nas fezes como proteína bruta microbiana indigestível (Satter et al., 2002).

A maioria do nitrogênio consumido por bovinos de corte confinados é excretado nas fezes e urina, sendo a perda de N por descamação pouco relevante. Nos dejetos, os compostos nitrogenados estão presentes principalmente na forma de amônia ou de nitrogênio orgânico. Esses compostos são oriundos de alimentos não digeridos no trato gastrointestinal, proteína microbiana

indigestível, nitrogênio endógeno, ureia e nitrogênio amoniacal.

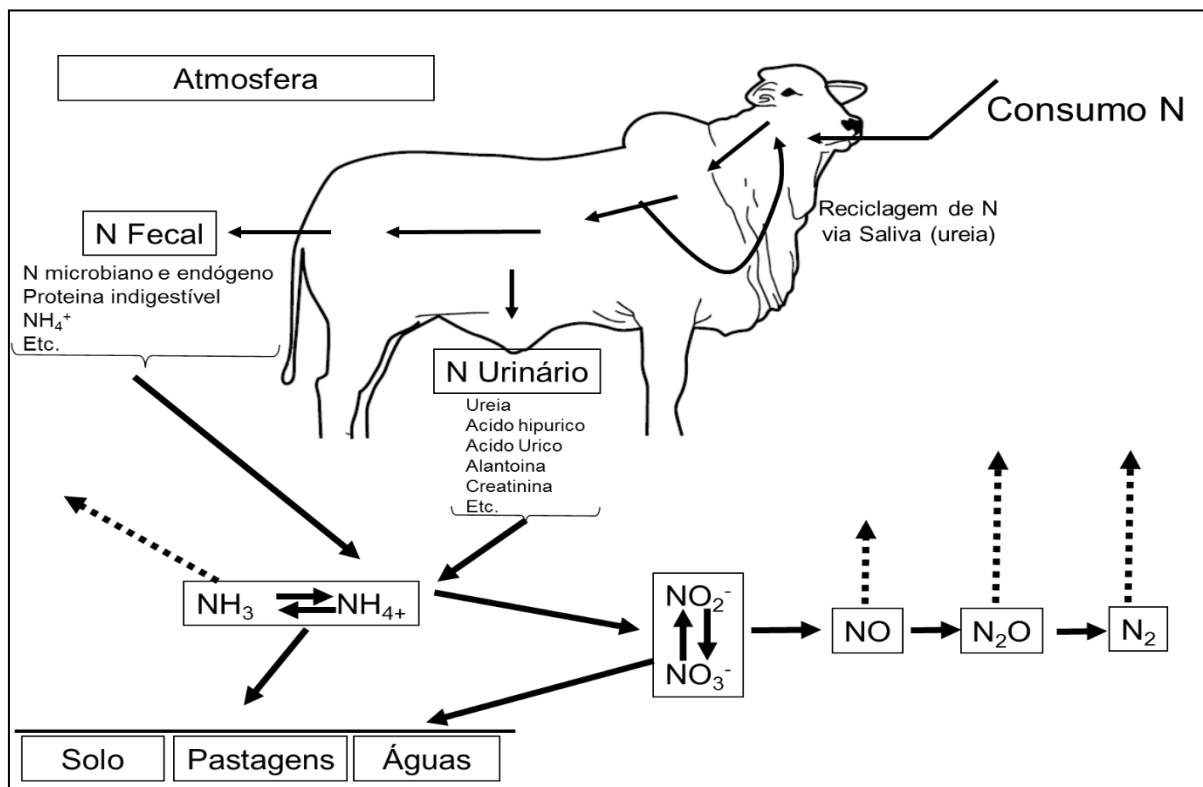
Sabe-se que a eficiência de assimilação do nitrogênio pelos animais domésticos é baixa, com isso ocorre elevada excreção de resíduos nitrogenados (Steinfeld et al., 2006). A retenção de nitrogênio nos produtos de origem animal varia de 5 a 20% do total ingerido. De acordo com Hutchings et al. (1996), a eficiência de uso do nitrogênio em bovinos de corte é de aproximadamente 10%. Detmann et al. (2014) utilizando um banco de dados de animais em pastejo em clima tropical, encontraram uma média de 11,6% para a eficiência aparente de utilização do N. No banco de dados avaliado, a média de excreção de nitrogênio foi de 70%, analisando 466 dados individuais, sendo apenas, em média, 30% retido, superior à média de retenção de N encontrada na literatura. Algumas causas dessa baixa retenção podem ser explicadas de forma diferente como por exemplo, em sistema de pastejo pela baixa qualidade da forragem (baixo suprimento de N) e em sistemas de confinamento pelas dietas excessivas em nitrogênio, devido a cálculos de exigências superestimados ou uso de sistemas de exigências não condizentes com os animais e condições climáticas, entre outras.

De acordo com Menezes et al. (2016), o metabolismo do nitrogênio é afetado pelos níveis de proteína bruta na dieta e a excreção urinária e fecal de N aumenta linearmente com o consumo de proteína bruta. Níveis de proteína bruta na dieta acima das exigências nutricionais dos animais resultam em aumento na excreção de N, principalmente via urina. Assim, a redução na excreção de nitrogênio com base no atendimento das exigências nutricionais dos animais sem prejudicar o desempenho tem grande potencial de diminuir o impacto ambiental dos bovinos de corte e, conseqüentemente, aumentar o retorno econômico de produtores.

A preocupação ambiental com o nitrogênio se deve a três principais rotas desse nutriente no ambiente: perdas por volatilização de amônia para atmosfera, lixiviação de nitrato no solo e lençóis freáticos, e nitrificação e desnitrificação, que resultam em emissão de óxido nítrico para atmosfera (Esquema 13.1). Segundo De Klein e Eckard (2008), a nitrificação e a desnitrificação são os dois principais processos microbiológicos do solo que resultam em perdas de N na forma de óxido nítrico (NO) e óxido nitroso (N₂O).

A nitrificação é um processo aeróbico no qual o amônio (NH₄) é oxidado a nitrito (NO₂) e este a nitrato (NO₃-), com o N₂O como um subproduto. Este processo é favorecido em solos bem drenados (adequada aeração), com altos níveis de NH₄⁺ e temperatura elevada. Contudo, a proporção do N perdido como N₂O através da nitrificação é pequena. Já a desnitrificação é um processo anaeróbico onde o NO₃⁻ é reduzido a N₂, sendo o N₂O produzido como intermediário obrigatório da reação. A desnitrificação é incrementada em solos úmidos, solos compactados, altas temperaturas, elevada concentração de NO₃⁻ e fontes redutoras (C-lábil) no solo. Assim, em condições tropicais, maiores emissões de N₂O oriundas da desnitrificação são observadas no período chuvoso, sendo as mesmas insignificantes no período seco do ano (Lessa et al., 2014; Cardoso et al., 2019; Bretas et al., 2020).

Além disso, as perdas de N por volatilização de NH₃ oriundas da deposição de urina podem ser elevadas e são favorecidas nas condições em que predominam altas temperaturas, menor umidade relativa do ar, pH do solo elevado, textura arenosa e umidade do solo não limitante.



Esquema 13.1 - Resumo do ciclo do nitrogênio.

De acordo com o IPCC (2019), as emissões diretas de N_2O de excretas (sem distinção entre fezes e urina) bovinas equivalem a 0,6% e 0,2% do total de N presente nas excretas, respectivamente, para climas úmidos e secos. Em emissões indiretas, para cada kg de N na excreta depositada no solo, 21% são volatilizados e 24% lixiviados. Dos 21% volatilizados, 1% é emitido na forma de N_2O , e dos 24% lixiviados, 1,1% serão emitidos como N_2O . Contudo, esses fatores foram gerados em condições de clima temperado e podem ser inadequados para as condições edafoclimáticas do Brasil. Além disso, trabalhos conduzidos no Brasil (Sordi et al., 2014; Lessa et al., 2014; Cardoso et al., 2016; Cardoso et al., 2019; Bretas et al., 2020) sugerem que os fatores de emissão de N_2O das excretas precisam ser considerados separadamente, ou seja, pelo tipo de excreta (fezes ou urina) para estimativas mais precisas do impacto ambiental da atividade pecuária. Esses trabalhos demonstraram que o fator de emissão de N_2O para fezes é menor do que o da urina e que essas emissões são mínimas (ou inexistentes) no período seco do ano.

Lessa et al. (2014), utilizando a técnica isotópica do nitrogênio marcado na urina, avaliaram as perdas de N oriundas da deposição de urina em pastagens de capim-braquiária na região do cerrado e observaram que 65% do N permaneceu no sistema, cerca de 30% foram perdidos como amônia e os outros 5% foram emitidos como N_2O ou lixiviados. Além disso, a emissão direta de N_2O considerando as excretas (fezes e urina) encontrada pelos autores (0,7% do N na excreta) foi similar aos 0,6% adotados pelo IPCC (2019).

Sordi et al. (2014) avaliaram as emissões de N_2O nas fezes e urina de bovinos aplicadas em pastagens da região sul do Brasil e observaram fatores médios de emissão direta de N_2O de 0,26% para urina e 0,15% para fezes, concluindo que o valor adotado pelo IPCC (2019) é superestimado para as condições subtropicais do Brasil. Porém, segundo os autores, esses resultados podem ser diferentes em função da dieta animal, volume de urina excretada e condições microclimáticas. Cardoso et al. (2019) revisaram 39 trabalhos que mediram a emissão de N_2O de fezes e urina de bovinos. Os autores encontraram um fator de

emissão médio de 0,63% para urina e 0,27% para fezes.

Ao avaliarem o efeito de quantidades crescentes de urina e fezes depositadas em pastagens de capim Pangola no sudeste do Brasil sobre as emissões de N_2O , Cardoso et al. (2018) observaram que o fator de emissão médio para fezes foi de 0,18% independentemente da quantidade de fezes aplicada (1,2, 1,8 ou 2,4 kg). Contudo, as emissões de N_2O diminuíram linearmente com o aumento do volume de urina aplicado (1, 1,5 e 2 litros). Os autores atribuíram essa diminuição dos fatores de emissão com o aumento do volume de urina devido a maior percolação da urina no perfil do solo resultando em menor proporção de N disponível nas camadas superficiais do solo sujeitas a perdas por N_2O .

Cardoso et al. (2017) identificaram que a concentração de N total da urina é a característica que mais afeta as emissões de N_2O . Bretas et al. (2020) também demonstraram efeito da concentração de N na urina sobre as emissões de N_2O . Quanto menor a concentração de N na urina menor a emissão de N_2O . Portanto, estratégias que reduzam a excreção de N via urina são desejáveis para mitigação da emissão deste gás.

O nitrogênio presente nas fezes (principalmente proteína alimentar, microbiana e endógena não digeridas) difere substancialmente do N presente na urina (principalmente ureia, ácido hipúrico, alantoína, creatinina, amônia e ácido úrico) sendo o último mais solúvel e rapidamente metabolizado por microrganismos, o que influencia diretamente os índices de emissão de cada fonte (N fecal ou urinário) e a dimensão de seu impacto ambiental (Chizzotti et al., 2016). Dessa forma, para uma estimativa mais precisa do impacto ambiental da atividade pecuária de corte, a estimativa da excreção de N na urina deve ser contabilizada separadamente da excreção do N fecal.

Dados para desenvolvimento das equações por meio da meta-análise e cross-validation

Os dados utilizados na estimação dos parâmetros das equações foram coletados a partir de experimentos com bovinos de corte, Nelore e cruzados, que incluíram informações sobre todas as variáveis consideradas relevantes

para a excreção de nitrogênio (fezes e urina). As informações coletadas para cada observação incluíram: peso corporal (PC), peso corporal metabólico ($PC^{0.75}$), porcentagem de proteína bruta na dieta (%PB), consumo de matéria seca (CMS), consumo de nutrientes digestíveis totais (CNDT) e consumo de nitrogênio (CN).

Foram utilizadas 18 teses e/ou dissertações (Tabela 13.2) totalizando 751 observações utilizadas nos procedimentos de consumo e excreção de nitrogênio, consumo de nutrientes digestíveis totais e peso corporal. A estatística descritiva (mínimo, máximo, média, e desvio padrão) dos dados, para todas as variáveis utilizadas no desenvolvimento das equações de predição da excreção de nitrogênio encontra-se listada na Tabela 13.3.

Procedeu-se o estudo da correlação entre as variáveis para determinar as variáveis que influenciaram na excreção de nitrogênio em bovinos de corte via urina e fezes. Após esse

procedimento, foi feito o *stepwise* no SAS para seleção das variáveis do modelo. Em seguida, uma meta-análise (St-Pierre, 2001), considerando efeitos aleatórios de dados provenientes de diferentes estudos foi utilizada para gerar novos modelos de predição. A meta-análise foi feita com a finalidade de examinar a significância dos parâmetros avaliados nas variáveis dependentes. Foram testados vários modelos e diferentes variáveis e a escolha dos melhores modelos foi realizada utilizando o critério de informação de Akaike (*Akaike's information criterion - AIC*).

A partir das variáveis citadas (Tabela 13.3), iniciou-se o processo de seleção das variáveis significativas que influenciaram a excreção de N nas fezes e na urina através da meta-análise. Os efeitos das variáveis independentes foram considerados significativos para nível de probabilidade menor que 0,05.

Tabela 13.2 - Características do banco de dados utilizado no desenvolvimento das equações de excreção de nitrogênio

Autor	Ano	n	Grupo genético	Classe sexual
Dias	1998	25	Cruzados	Macho não castrado
Ladeira	1998	20	Nelore	Macho não castrado
Cardoso	1999	25	Cruzados	Macho não castrado
Tibo	1999	25	Cruzados	Macho não castrado
Rennó	2003	64	Cruzados	Macho não castrado
Dias	2005	12	Nelore	Fêmea
Veras	2006	37	Nelore	Macho não castrado, castrado e fêmea
Chizzotti	2007	29	Cruzados	Macho não castrado
Marcondes	2007	18	Nelore	Macho não castrado, castrado e fêmea
Marcondes	2010	27	Nelore e Cruzados	Castrado
Campos	2011	25	Nelore	Macho não castrado
Cesario	2011	16	Cruzados	Macho não castrado
Costa e Silva	2011	53	Nelore	Macho não castrado
Rotta	2012	32	Cruzados	Macho não castrado
Rufino	2014	40	Nelore	Macho não castrado
Costa e Silva	2015	258	Nelore	Vacas, Macho não castrado, castrado e fêmea
Louzada	2015	29	Nelore	Macho não castrado e fêmea
Menezes	2015	16	Nelore	Macho não castrado

Observou-se influência do peso corporal, consumo de NDT e consumo de N para a excreção de compostos nitrogenados nas fezes

e influência do consumo de MS e consumo de nitrogênio para a excreção de compostos nitrogenados na urina.

Tabela 13.3 - Estatística descritiva dos dados utilizados para ajustar os modelos de regressão para estimação da excreção de nitrogênio via urina e fezes em bovinos de corte

Variáveis ¹	n	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo
Peso corporal, kg	751	312,73	123,23	34,94	671,78
CMS, kg/dia	751	6,40	3,16	0,76	14,84
CNDT, kg/dia	751	4,40	2,08	0,83	9,89
CN, g/dia	751	134,84	65,70	24,53	328,00
N nas fezes, g/dia	751	43,97	23,96	6,36	167,35
N na urina, g/dia	466	47,68	30,93	4,83	178,61

¹CMS = consumo de matéria seca; CNDT = consumo de nutrientes digestíveis totais; CN = consumo de nitrogênio.

Após a definição dos melhores modelos, utilizou-se a validação-cruzada (*leave-one-out cross-validation*) usando o procedimento REG do SAS para gerar os parâmetros das equações de predição de excreção de nitrogênio (Tabela 13.4). As equações propostas para excreção de N fecal e urinário estão descritas a seguir. Contudo, para predição do N urinário, foram propostas duas equações, uma baseada apenas no consumo de nitrogênio e outra baseada no consumo de nitrogênio e consumo de matéria seca.

$$N \text{ Fezes (g/dia)} = 2,55 + 0,048 \times PC - 3,47 \times CNDT + 0,30 \times CN$$

$$N \text{ Urina (g/dia)} = 3,26 + 3,68 \times CMS + 0,18 \times CN$$

$$N \text{ Urina (g/dia)} = 3,82 + 0,34 \times CN$$

em que: PC = peso corporal (kg); CNDT = consumo de nutrientes digestíveis totais (kg/dia); CN = consumo de nitrogênio (g/dia); CMS = consumo de matéria seca (kg/dia);

Na Tabela 13.4 encontra-se a solução dos efeitos fixos das equações de predição para excreção de N via urina e fezes e seus respectivos coeficientes de regressão (R²). Em ambas as equações, observou-se relação positiva entre o consumo de nitrogênio e sua excreção, corroborando com outros estudos (Cole, 2003;

Marini e Van Amburgh, 2003; Menezes et al., 2016; Bougouin et al. 2022).

As predições de excreção de N propostas por Waldrip et al. (2013) e Dong et al. (2014), e utilizadas pelo NASEM (2016), também apresentaram relação positiva entre o consumo de nitrogênio e sua excreção. Estes autores observaram melhor ajuste das equações de predições utilizando o consumo de nitrogênio do que a porcentagem de proteína bruta na dieta, sendo o mesmo comportamento observado no presente banco de dados. Recentemente, Bougouin et al. (2022) realizaram uma meta-análise compilando dados oriundos de diversos países (incluindo o Brasil), contendo dados individuais de bovinos de corte alimentados com uma grande variedade de dietas e observaram que modelos simples utilizando CMS apresentaram melhor predição da excreção fecal de N enquanto que modelos baseados no consumo de N foram mais acurados para predição da excreção urinária e total de N. No entanto, os autores observaram que modelos simples, baseados somente no CMS ou consumo de N, apresentam menor desempenho preditivo se comparado a modelos complexos, que incluem CMS e as concentrações de PB e FDN na dieta como variáveis preditivas.

Tabela 13.4 - Solução dos efeitos fixos dos modelos de predição com base nas variáveis significativas para cada modelo e seus respectivos coeficientes de determinação (R²) para excreção de compostos nitrogenados fecais e urinários

	N fezes, g/dia	N urina, g/dia (Eq. 1)	N urina, g/dia (Eq. 2)
Intercepto	2,55 _{±0,034}	3,26 _{±0,087}	3,82 _{±0,090}
PC	0,048 _{±0,0002}	-	-
CMS	-	3,68 _{±0,042}	-
CNDT	-3,47 _{±0,020}	-	-
CN	0,30 _{±0,0005}	0,18 _{±0,002}	0,34 _{±0,0008}
R ²	0,585	0,545	0,530

¹CMS = consumo de matéria seca; CNDT = consumo de nutrientes digestíveis totais; CN = consumo de nitrogênio.

Adequabilidade das equações

Após obtenção das equações de excreção de nitrogênio nas fezes e urina, procedeu-se a validação das mesmas por intermédio do programa *Model Evaluation System* (MES; Tedeschi, 2006). Para validação foram utilizados 13 artigos independentes publicados entre 2006 e 2015 nos periódicos: Revista Brasileira de Zootecnia, Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia e Semina: Ciências

Agrárias. Os dados de média reportados nos artigos foram compilados para validação das equações de predição do nitrogênio nas fezes e na urina, totalizando 45 dados de médias para excreção de N nas fezes e 50 para N na urina (Tabela 13.5).

A eficiência de predição foi avaliada por intermédio da estimativa do coeficiente de correlação e concordância (CCC) e quadrado médio do erro de predição estimados de acordo com Tedeschi (2006).

Tabela 13.5 - Estatística descritiva das variáveis para validação das equações propostas

Variáveis	n	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo
Peso corporal, kg	50	285,69	72,36	118,41	521,62
CMS, kg/dia	50	5,55	1,41	2,80	8,37
CNDT, kg/dia	50	3,59	0,85	1,20	5,14
CN, g/dia	50	115,19	34,40	23,05	193,67
N nas fezes, g/dia	45	40,31	11,99	15,82	65,92
N na urina, g/dia	50	43,38	22,21	4,79	102,74

¹CMS = consumo de matéria seca; CNDT = consumo de nutrientes digestíveis totais; CN = consumo de nitrogênio.

Na Tabela 13.6 encontra-se o resultado da validação das equações de predição da excreção de compostos nitrogenados via fezes e urina por bovinos de corte em condições tropicais. De acordo com *Mayer's test*, o intercepto e a inclinação da regressão de valores preditos e observados não diferiram de zero e um ($P > 0,05$), respectivamente, recomendando que as estimativas pelas equações propostas foram precisas em prever a excreção de compostos nitrogenados em bovinos de corte.

A partir do CCC é possível se ter ideia da acurácia e da precisão do modelo. Quanto menor o quadrado médio do erro de predição (QMEP), melhor é o modelo e através dele se faz uma

decomposição do erro. As equações aqui propostas estimaram corretamente a excreção de compostos nitrogenados via fezes e urina por bovinos de corte. Na decomposição dos erros, pode-se observar que a maioria dos erros é de ordem aleatória, demonstrando que não existe uma tendência de super ou subestimação dos modelos propostos. Comparando as duas equações propostas para a excreção de N urinário, a equação apenas com o consumo de nitrogênio (Eq. 2) como variável independente demonstrou maior acurácia e menor quadrado médio do erro de predição (QMEP).

Tabela 13.6 - Análise de regressão, coeficiente de correlação e concordância (CCC) e decomposição do quadrado médio de predição (QMEP) entre os valores preditos e observados da excreção de nitrogênio nas fezes e urina

	Equação de predição da excreção de nitrogênio		
	N fezes	N urina (Eq. 1)	N urina (Eq. 2)
Análise de regressão ¹	-	-	-
r^2	0,453	0,270	0,431
$H_0: a = 0$ e $b = 1$ (P -valor)	0,131	0,902	0,526
CCC	0,64	0,40	0,55
Cb	0,95	0,77	0,83
QMEP	86,37	354,47	282,15
Vício médio (%)	4,98 (5,77)	0,51 (0,14)	0,005 (0,002)
Vício sistemático (%)	2,80 (3,25)	0,99 (0,28)	7,44 (2,638)
Erro aleatório (%)	78,59 (90,98)	352,97 (99,58)	274,705 (97,36)

¹Regressão linear entre valores preditos e observados por intermédio das equações de excreção de nitrogênio via urina e fezes.

Na Figura 13.1 pode-se verificar a semelhança nas estimativas de excreção de nitrogênio obtidas pelas equações propostas

aqui e o valor observado. Os valores encontram-se igualmente dispostos em torno da linha de igualdade (linha pontilhada).

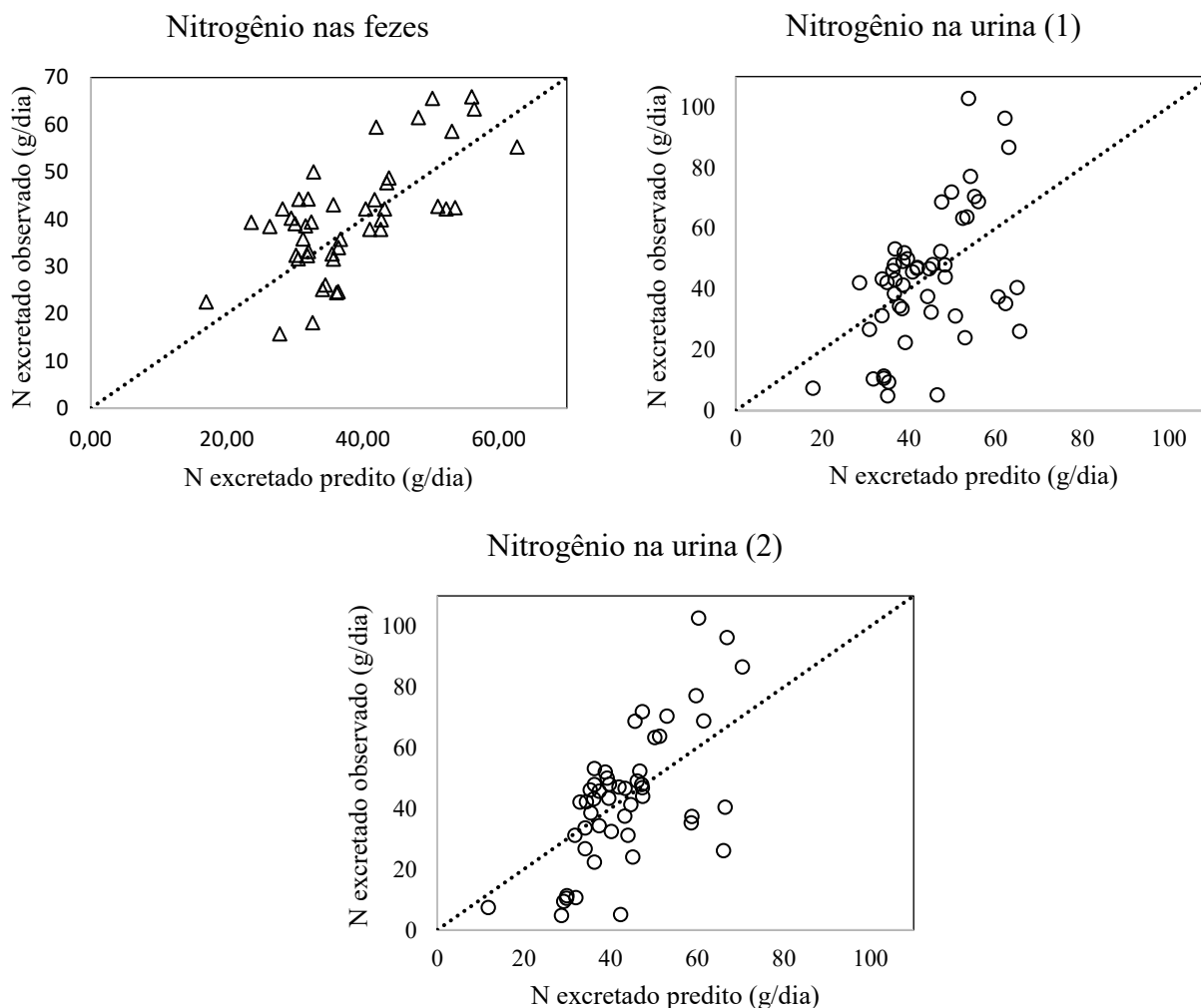


Figura 13.1 - Relação entre os valores observados de excreção de nitrogênio via fezes e urina e aqueles determinados pelas equações propostas. Valores preditos estão plotados no eixo X e os valores observados estão no eixo Y. A linha pontilhada representa a linha ideal ($Y = X$), intercepto = 0 e inclinação = 1.

Atendendo as exigências nutricionais dos animais, existe a possibilidade de reduzir os teores de PB na dieta da terminação, o que também resultaria em redução das quantidades de PB ingeridas e de compostos nitrogenados excretados no meio ambiente (Cole et al., 2006), mostrando que o teor de nitrogênio na dieta pode influenciar diretamente sua excreção e explicando o uso dessa variável nas equações propostas. O excesso de proteína na dieta resulta em aumento nas excreções de ureia na urina.

A otimização da síntese de proteína microbiana no rúmen pode aumentar a eficiência de uso dos compostos nitrogenados, que leva à diminuição das perdas (Reynal e Broderick, 2005). O crescimento eficiente dos

microrganismos no rúmen e a consequente otimização da proteína microbiana depende da sincronização da energia (NDT) e proteína (Dijkstra et al., 1998). A correta formulação das dietas, atendendo as exigências proteicas dos animais e a sincronização da energia e proteína são formas de se garantir que excessos de nitrogênio não sejam excretados para o ambiente, justificando o uso da variável NDT na equação de excreção de N nas fezes.

FÓSFORO

Metabolismo do fósforo no animal e no ambiente

O fósforo, além da função estrutural e presença nos ácidos nucleicos, está envolvido

no desempenho animal. Até recentemente, as recomendações de exigências do P foram conduzidas para evitar qualquer carência na ingestão desse mineral, visando o máximo desempenho (Klopfenstein et al., 2002). Mas, atualmente, iniciaram-se as preocupações com as questões ambientais relacionadas à excreção desse mineral. Com o aumento da demanda de sustentabilidade ambiental em todos os setores da agropecuária, considera-se que o excesso de P no solo pode ser tão perigoso para o meio ambiente quanto sua escassez (Pfeffer et al., 2005). Outro ponto relevante do P é o fato dele ser proveniente de fontes não renováveis, sendo 90% da sua demanda para produção de alimentos (Gunther, 2005). Steen (1998) estimou que as reservas globais de P comercial irão se esgotar em 50 a 100 anos. Assim, o uso racional deste mineral é imprescindível.

O fósforo entra no rúmen de duas formas: via saliva (reciclagem) e via dieta (Esquema 13.2). A reciclagem do fósforo supre uma proporção da necessidade dos microrganismos do rúmen, chegando a ser responsável por 50% do fósforo que entra no rúmen (Kincaid e Rodehutschord, 2005). Sathler (2015), trabalhando com dois níveis de fósforo na dieta de bovinos Nelore, observou reciclagem líquida de P para o rúmen variando de 13,96 a 23,35 g/dia, em animais consumindo entre 5,51 a 13,73 g/dia.

A maioria dos minerais é absorvida no intestino delgado por transportadores específicos. O principal local de absorção do P é o intestino delgado, com média de 67,3% da quantidade que chega ao local, enquanto no intestino grosso também já foi observada absorção de P, mas em menor quantidade, de 25,5% (Pfeffer et al., 2005; Sathler, 2015). O excesso de fósforo na alimentação provoca maior excreção renal e aumento na concentração desse elemento na saliva, o que provoca elevação da perda fecal de fósforo (Underwood e Suttle, 1999). A excreção fecal de P é uma função de seu consumo (Geisert et al., 2010), apresentando uma correlação positiva.

Animais excretam P nas fezes por três vias: fração do P contida nos alimentos que não foram solubilizadas; P oriundo dos microrganismos e perdas endógenas, e P consumido acima das exigências do animal

(em ruminantes, a maior porção é excretada nas fezes).

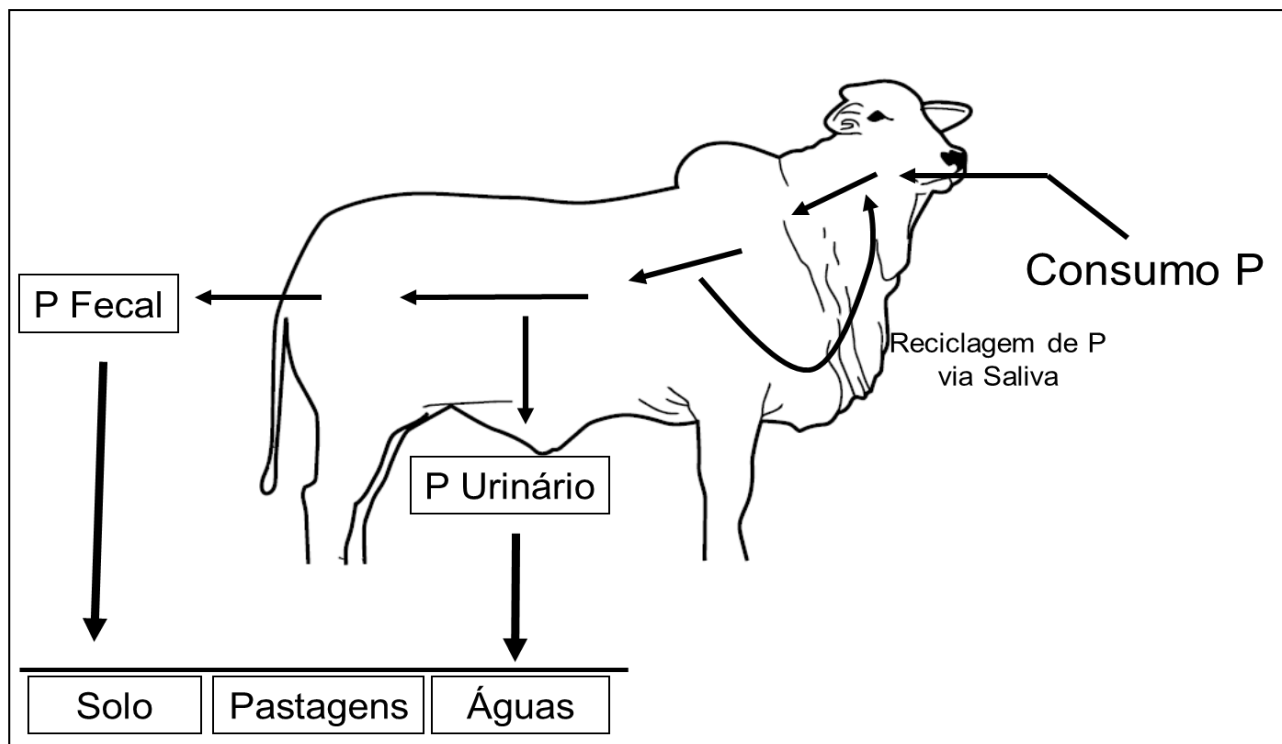
A combinação de P nas fezes oriundo dos microrganismos e do P endógeno é cerca de metade do total do P fecal (Conrad, 1999), mas essa proporção é variável dependendo do excesso do P na dieta. No banco de dados do presente estudo, o P na urina representou 9,6% do total excretado. De acordo com alguns estudos, 90% da excreção total de P é via fezes, restando apenas uma quantidade marginal na excreção urinária (Braithwaite, 1985; Wylie et al., 1985; Martz et al., 1990; Khorasani e Armstrong, 1992; Bortolussi et al., 1996). Geisert et al. (2010), trabalhando com cinco diferentes níveis de P na dieta observaram média de apenas 2,1 g/dia de P na urina (10,8% do total de P excretado). O P é excretado na urina após as exigências de manutenção e produção serem atendidas (Vitti et al., 2000; Geisert et al., 2010).

A partir das recomendações do NRC (1996) como ponto de referência, pesquisas começaram a ser realizadas visando recomendações mais acuradas de P na dieta para bovinos de corte. Pesquisas feitas na Universidade de Nebraska - EUA por Erickson et al. (1999 e 2002), variando os níveis de P na dieta de 0,14 a 0,40 de bovinos confinados, demonstraram que as exigências do NRC (1996) estavam superestimadas em 30%. Essa diminuição do P na dieta possui implicações no custo das dietas e também implicações ambientais. Prados et al. (2015) concluíram que as estimativas do BR-CORTE (Valadares Filho et al., 2010) e NRC (2000) estavam superestimadas em, respectivamente, 14 e 43% para bovinos cruzados. De acordo com o NASEM (2016), a maioria dos grãos e subprodutos utilizados em confinamentos apresenta pelo menos 0,25% de P e nessa situação não é necessária adição de fonte de fósforo suplementar. Porém, em sistemas extensivos baseados em pastagens tropicais a suplementação com fósforo é fundamental, mas deve ser realizada com critério para não desperdiçar esse nobre e oneroso elemento, através do uso de fontes com boa solubilidade de P.

O P excretado no meio ambiente estará sujeito a processos de mineralização-imobilização, que envolvem reações de adsorção por argilas, óxidos e hidróxidos do

solo e solubilização de fosfatos pela atividade de microrganismos e plantas. O fósforo dificilmente é lixiviado, pois os solos brasileiros apresentam elevados teores de óxidos de Ferro e Alumínio e argilas do grupo caulinita, capazes de imobilizar o fósforo por adsorção específica. Porém, em caso de solos compactados ou em alta concentração de dejetos, estes podem ser carregados durante a

chuva, alcançando corpos d'água, e contribuindo para um processo conhecido como eutrofização. A eutrofização é o acúmulo de nutrientes dissolvidos na água, que favorece o crescimento de algas e cianobactérias, dificultando a passagem de luz e causando morte de peixes por falta de oxigênio, quando estas morrem e entram em decomposição.



Esquema 13.2 - Resumo do ciclo do fósforo.

Dados para desenvolvimento das equações por meio da meta-análise e cross-validation

Os dados utilizados na estimativa dos parâmetros das equações foram coletados a partir de experimentos com bovinos de corte, Nelore ou Cruzados, que incluíram informações sobre todas as variáveis consideradas relevantes para a excreção de fósforo. As informações coletadas para cada observação incluíram: peso corporal (PC), consumo de matéria seca (CMS), consumo de fósforo e excreção fecal e urinária de fósforo.

Foram utilizadas 8 teses e/ou dissertações (Tabela 13.7), totalizando 178

observações. Os dados foram aleatoriamente separados em um banco para desenvolvimento das equações (142 observações) e um banco de dados para validação (36 observações, sendo 20% de cada estudo). A estatística descritiva (mínimo, máximo, média, e desvio padrão) dos dados para desenvolvimento das equações, para todas as variáveis utilizadas no desenvolvimento das equações de predição da excreção de fósforo, encontra-se listada na Tabela 13.8.

O procedimento para desenvolvimento das equações foi o mesmo utilizado para os compostos nitrogenados citado anteriormente.

Tabela 13.7 - Características do banco de dados utilizado no desenvolvimento das equações de excreção de fósforo

Autor	Ano	n	Grupo genético	Classe sexual
Souza	2009	20	Nelore e Cruzados	Fêmea
Marcondes	2010	8	Nelore e Cruzados	Castrado
Gionbelli	2010	7	Nelore	Fêmea
Prados	2012	17	Cruzados	Não castrado
Zanetti	2013	17	Cruzados	Castrado
Costa e Silva	2015	45	Nelore	Fêmea e castrado
Sathler	2015	25	Nelore	Não castrado
Prados	2016	39	Nelore	Não castrado

A partir das variáveis descritas na Tabela 13.8, iniciou-se o processo de seleção das variáveis significativas que influenciaram a excreção de P. Os efeitos das variáveis independentes foram considerados significativos para nível de probabilidade menor que 0,05. O modelo utilizado para fósforo excretado nas fezes incluiu os termos: peso corporal e consumo de fósforo. Devido à baixa contribuição do P na urina, não foi gerada uma equação de excreção

para P urinário, contudo, foi gerada uma equação para a excreção total de P.

$$P \text{ Fezes (g/dia)} = 1,47 - 0,0019 \times PC + 0,48 \times CP$$

$$P \text{ Total (g/dia)} = 1,90 - 0,0030 \times PC + 0,53 \times CP$$

em que: PC = peso corporal (kg); CP = consumo de fosforo (g/dia).

Tabela 13.8 - Estatística descritiva dos dados utilizados para ajustar os modelos de regressão para estimação da excreção de fósforo em bovinos de corte

Variáveis	Obs.	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo
Peso corporal, kg	142	265,80	70,69	125,00	423,00
Consumo de P, g/dia	142	11,69	4,66	3,34	22,60
P nas fezes, g/dia	142	6,59	2,78	1,71	17,55
P total, g/dia	142	7,30	2,97	1,92	18,77

¹Consumo de P = consumo de fosforo.

Após avaliação dos modelos e as variáveis que compuseram esses, utilizou-se o critério da validação-cruzada (leave-one-out cross-validation) usando o procedimento REG do SAS para gerar os parâmetros das equações

de predição de excreção de fósforo. Na Tabela 13.9 encontra-se a solução dos efeitos fixos das equações de predição para excreção de P e seus respectivos coeficientes de regressão (R^2).

Tabela 13.9 - Solução dos efeitos fixos das equações de predição com base nas variáveis significativas e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) para excreção de fósforo

	P fezes	P total
Intercepto	1,473 _{0,043}	1,90 _{±0,044}
Peso corporal	-0,0019 _{±0,0002}	-0,003 _{±0,0002}
Consumo de fosforo	0,48 _{±0,0035}	0,53 _{±0,0036}
R^2	0,607	0,630

Adequabilidade das equações

Após obtenção das equações de excreção de fósforo, procedeu-se a validação das mesmas por intermédio do programa Model Evaluation

System (MES; Tedeschi, 2006). Para validação foram utilizadas 36 observações do banco de dados total (Tabela 13.10), como citado anteriormente.

A eficiência de predição foi avaliada por intermédio da estimativa do coeficiente de correlação e concordância (CCC) e quadrado médio do erro de predição, estimados de acordo com Tedeschi (2006).

Na Tabela 13.11 encontra-se o resultado da validação das equações de predição da excreção de fósforo por bovinos de corte em condições tropicais. Considerando o banco de dados para validação, a regressão de valores observados e

preditos da excreção de P tiveram intercepto e inclinação que não diferiram de zero e um, respectivamente (*Mayer's test*; $P > 0,05$), isto significa que as equações são adequadas para estimar a excreção de fósforo fecal e total.

Na decomposição dos erros, pode-se observar que a maioria dos erros é de ordem aleatória, mostrando que não existe uma tendência de super ou subestimação das equações propostas.

Tabela 13.10 - Estatística descritiva das variáveis para validação dos modelos propostos

Variáveis	n	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo
Peso corporal, kg	36	271,29	82,98	125,00	416,50
Consumo de P, g/dia	36	13,16	4,20	3,43	20,97
P nas fezes, g/dia	36	7,13	2,64	1,80	13,43
P total, g/dia	36	7,72	2,75	2,04	14,51

¹Consumo de P = consumo de fósforo. n = número de observações

Tabela 13.11 - Análise de regressão, coeficiente de correlação e concordância (CCC) e decomposição do quadrado médio de predição (QMEP) entre os valores preditos e observados da excreção de fósforo

	Equação de predição da excreção de fósforo	
	P fezes	P total
Análise de regressão ¹	-	-
r ²	0,42	0,44
H ₀ : a = 0 e b = 1 (P-valor)	0,74	0,50
CCC	0,61	0,63
Cb	0,95	0,95
QMEP	4,010	4,272
Vício médio (%)	0,03 (0,65)	0,11 (2,68)
Vício sistemático (%)	0,04 (1,04)	0,06 (1,31)
Erro aleatório (%)	3,94 (98,31)	4,10 (96,01)

¹Regressão linear entre valores preditos e observados por intermédio das equações de excreção de fósforo.

Na Figura 13.2 pode-se verificar a semelhança nas estimativas de excreção de fósforo e o valor observado. Os valores encontram-se

igualmente dispostos em torno da linha de igualdade (linha pontilhada).

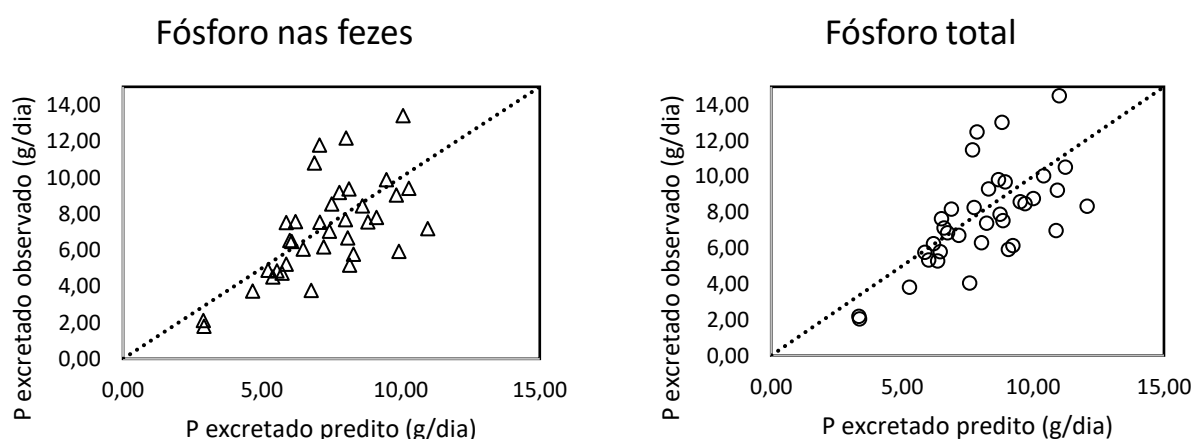


Figura 13.2 - Relação entre os valores observados e preditos para a excreção de fósforo via fezes e urina.

Em ambas as equações se observou relação positiva entre o consumo de fósforo e a excreção desse nutriente, considerando isto, vale ressaltar que outros autores (Prados et al., 2015; Prados, 2016) observaram que aumentando a concentração de fósforo na dieta, aumentou-se a excreção desse nutriente nas fezes. Geisert et al. (2010) propuseram uma equação para excreção total de P, em que foi observada relação positiva do consumo de P com sua excreção.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As predições das excreções de N e P nas fezes e urina são importantes para modelagem da ciclagem de nutrientes no sistema de produção de bovinos, e para avaliação do impacto que mudanças na formulação de dietas podem ter sobre a excreção destes nutrientes ao meio ambiente. A redução do teor de fósforo e proteína bruta na dieta, desde que não afete negativamente o desempenho, representa importante ferramenta para mitigação de impactos ambientais e melhoria da eficiência produtiva na bovinocultura de corte.

São propostas as seguintes equações para estimar as excreções fecais e urinárias de compostos nitrogenados e de fósforo para bovinos de corte em condições tropicais:

$$N \text{ Fezes (g/dia)} = 2,55 + 0,048 \times PC - 3,47 \times CNDT + 0,30 \times CN$$

$$N \text{ Urina (g/dia)} = 3,26 + 3,68 \times CMS + 0,18 \times CN$$

$$N \text{ Urina (g/dia)} = 3,82 + 0,34 \times CN$$

$$P \text{ Fezes (g/dia)} = 1,47 - 0,0019 \times PC + 0,48 \times CP$$

$$P \text{ Total (g/dia)} = 1,90 - 0,0030 \times PC + 0,53 \times CP$$

em que: PC = peso corporal (kg); CNDT = consumo de nutrientes digestíveis totais (kg/dia); CN = consumo de nitrogênio (g/dia); CMS = consumo de matéria seca (kg/dia); CP = consumo de fosforo (g/dia).

REFERÊNCIAS

- Bortolussi, G.; Ternouth, J. H.; McMenniman, N. P. Dietary nitrogen and phosphorus depletion in cattle and their effects on live weight gain, blood metabolite concentrations and phosphorus kinetics. *Journal of Agricultural Science*, 126:491-501, 1996.
- Bougouin A, Hristov A, Zanetti D, Filho SCV, Rennó LN, Menezes ACB, Silva JM, Alhadad HM, Mariz LDS, Prados LF, Beauchemin KA, McAllister T, Yang WZ, Koenig KM, Goossens K, Yan T, Noziere P, Jonker A, Kebreab E. Nitrogen excretion from beef cattle fed a wide range of diets compiled in an intercontinental dataset: a meta-analysis. *Journal of Animal Science*, 100:1–12, 2022.
- Braithwaite, G. D. Endogenous faecal loss of phosphorus in growing lambs and the calculation of phosphorus requirements. *Journal of Agricultural Science*, 105:67-72. 1985.
- Bretas, I.L., Paciullo, D.S.C., Alves, B.J.R., Martins, M. R., Cardoso, A. S., Lima, M. A., Rodrigues, R. A. R., Silva, F.F., Chizzotti, F.H.M. Nitrous oxide, methane, and ammonia emissions from cattle excreta on *Brachiaria decumbens* growing in monoculture or silvopasture with *Acacia mangium* and *Eucalyptus grandis*. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 295:2020.
- BR-CORTE. Valadares Filho, S. C.; Costa e Silva, L. F., Gionbelli, M. P., Rotta, P. P., Marcondes, M. I., Chizzotti, M. L. *Nutrient Requirements of Zebu Beef Cattle – BR-CORTE*, 3 ed. – Viçosa: UFV, DZO. 193 p. 2016.
- BR-CORTE. Valadares Filho, S. C.; Marcondes, M. I.; Chizzotti, M. L.; Paulino, P. V. R. *Nutrient Requirements of Zebu and crossbred cattle – BR-CORTE*, 2 ed. – Viçosa: UFV, DZO. 193 p. 2010.
- Cardoso, A.S.; Quintana, B. G.; Januszkiewicz, E. R.; de Brito, L.F.; Morgado, E.S.; Reis, R. A.; Ruggieri, A. C. N₂O emissions from urine-treated tropical soil: Effects of soil moisture and compaction, urine composition, and dung addition. *Catena*, 157:325-332, 2017
- Cardoso, A. S.; Alves, B. J. R.; Urquiaga, S.; Boddey, R. M. Effect of volume of urine and mass of faeces on N₂O and CH₄ emissions of dairy-cow excreta in a tropical pasture. *Animal Production Science*, 58(6) 1079-1086.2018

- Cardoso, A.S.; Oliveira, S. C.; Januskiewicz, E. R.; Brito, L. F., Morgado, E.S.; Reis, R. A.; Ruggieri, A. C. Seasonal effects on ammonia, nitrous oxide, and methane emissions for beef cattle excreta and urea fertilizer applied to a tropical pasture. *Soil and Tillage Research*, 194:104341, 2019.
- Cavalcante, M. A. B.; Pereira, O. G.; Valadares Filho, S. C.; Ribeiro, K. G. Níveis de proteína bruta em dietas para bovinos de corte: consumo, digestibilidade total e desempenho produtivo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 34:711-719, 2005.
- Chizzotti, M. L.; Chizzotti, F. H. M.; Costa e Silva, L. F.; Rotta, P. P.; Prados, L. F.; Valadares Filho, S. C. Nutrição de precisão e manejo ambiental de bovinos de corte. In: *Produção Animal e Recursos Hídricos*. Palhares, J. C. P. 183p. 2016.
- Cole, A. Precision feeding: Opportunities and limitations. TAES publication AREC 03-13, 1-19 in *Proc. Plains Nutr. Council* (PNC). Texas A&M Res. Ext. Center, Amarillo. 2003.
- Cole, N. A.; Defoor, P. J.; Galyean, M. L.; Duff, G. C.; Gleghorn, J. F. Effects of phase-feeding of crude protein on performance, carcass characteristics, serum urea nitrogen concentrations, and manure nitrogen of finishing beef steers. *Journal Animal Science*, 84:3421-3432, 2006.
- Conrad, H. R. Dietary phosphorus, excretory phosphorus and environmental concerns. In: *Proceedings of the Cornell Nutrition Conference*, Rochester, New York. 1999.
- De Klein, C. A. M.; Eckard, R. J. Targeted technologies for nitrous oxide abatement from animal agriculture. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 48:14-20.
- Detmann, E.; Valente, E. E. L.; Batista, E. D.; Huhtanen, P. An evaluation of the performance and efficiency of nitrogen utilization in cattle fed tropical grass pastures with supplementation. *Livestock Science*, 162: 141-153, 2014.
- Dijkstra, J.; France, J.; Davies, D. R. Different mathematical approaches to estimating microbial protein supply in ruminants. *Journal of Dairy Science*, 81:3370-3384. 1998.
- Dong, R. I.; Zhao, G. Y.; Chai, L. L.; Beauchemin, K. A. Prediction of urinary and fecal nitrogen excretion by beef cattle. *Journal Animal Science*, 92:4669-4681. 2014.
- Erickson, G. E.; Klopfenstein, T. J.; Milton, C. T.; Hanson, D.; Calkins, C. Effect of dietary phosphorus on finishing steer performance, bone status, and carcass maturity. *Journal Animal Science*, 77:2832-2836, 1999.
- Erickson, G. E.; Klopfenstein, T. J.; Milton, C. T.; Brink, D.; Orth, M. W.; Whittet, K. M. Phosphorus requirement of finishing feedlot calves. *Journal Animal Science*, 80:1690-1695, 2002.
- Geisert, B. G.; Erickson, G. E.; Klopfenstein, T.J.; Macken, C. N.; Luebke, M. K.; MacDonald, J. C. Phosphorus requirement and excretion of finishing beef cattle fed different concentrations of phosphorus. *Journal Animal Science*, 88:2393-2402, 2010.
- Gunther, F. *A solution to the heap problem: the doubly balanced agriculture: integration with population*. Online: <http://www.holon.se/folke/kurs/Distans/Ekofys/Recirk/Eng/balanced.shtml>.
- Hutchings, N. J.; Sommer, S. G.; Jarvis, S. C. A model of ammonia volatilization from a grazing livestock farm. *Atmospheric Environment*, 30:589-599. 1996.
- IPCC. *Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. International Panel on Climate Change* (IPCC); IPCC: Geneva, Switzerland, 2019; pp. 546-554.
- Khorasani, G. R.; Armstrong, D. G. Calcium, phosphorus, and magnesium absorption and secretion in the bovine digestive tract as influenced by dietary concentration of these elements. *Livestock Production Science*, 31:271-286. 1992.
- Kincaid, R. L.; Rodehutsord, M. Phosphorus metabolism in the rumen. In: *Nitrogen and phosphorus nutrition of cattle: reducing the environmental impact of cattle operations*. 288 pp. 2005.
- Klopfenstein, T. J.; Angel, R.; Cromwell, G. L.; Erickson, G. E.; Fox, D. G. Animal diet modification to decrease the potential for nitrogen and phosphorus pollution. *Council for agricultural science and technology*. 21. 2002.
- Klopfenstein, T. J.; Erickson G. E. Effects of manipulating protein and phosphorus nutrition of feedlot cattle on nutrient management and the environment. *Journal Animal Science*, 80:E106-E114. 2002.

- Lessa, A. C. R.; Madari, B. E.; Paredes, D. S.; Boddey, R. M.; Urquiaga, S.; Jantalia, C. P.; Alves, B. J. R. Bovine urine and dung deposited on Brazilian savannah pastures contribute differently to direct and indirect soil nitrous oxide emissions. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 190:104-111, 2014.
- Marini, J. C.; Van Amburgh, M. E. Nitrogen metabolism and recycling in Holstein heifers. *Journal Animal Science*, 81: 545-552. 2003.
- Martz, F. A., Belo, A. T., Weiss, M. F., e Belylan, R. L. True absorption of calcium and phosphorus from alfalfa and corn silage when fed to lactating cows. *Journal Dairy Science*, 73:1288-1295. 1990.
- Menezes, A. C. B.; Valadares Filho, S. C.; Costa e Silva, L. F.; Pacheco, M. V. C.; Pereira, J. M. V.; Rotta, P. P.; Zanetti, D.; Detmann, E.; Silva, F. A. S.; Godoi, L. A.; Renno, L. N. Does a reduction in dietary crude protein content affect performance, nutrient requirements, nitrogen losses, and methane emissions in finishing Nelore bulls? *Agiculture, Ecosystems and Environment*, 223:239-249, 2016.
- NASEM. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2016. *Nutrient requirements of beef cattle*. 8th revised edition. National Academy Press, Washington DC, USA.
- Neeteson, J. J. Nitrogen and phosphorus management on Dutch dairy farms: legislation and strategies employed to meet the regulations. *Biology and Fertility of soils*, 30:566-572. 2000.
- NRC. 1996. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. 7th rev. ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC, 242 pp.
- Patra, A.K.; Lalhriatpuii, M., Development of statistical models for prediction of enteric methane emission from goats using nutrient composition and intake variables. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 215:89-99. 2016.
- Pfeffer, E.; Beede, D. K. e Valk, H. 2005. Phosphorus metabolism in ruminants and requirements of cattle. In: *Nitrogen and phosphorus nutrition of cattle: reducing the environmental impact of cattle operations*. 288 pp.
- Prados, L. F., S. C. Valadares Filho, S. A. Santos, D. Zanetti, A. N. Nunes, D. R. Costa, L. D. S. Mariz, E. Detmann, P. M. Amaral, F. C. Rodrigues, e R. F. D. Valadares. 2015. Reducing calcium and phosphorus in crossbred beef cattle diets: impacts on productive performance during the growing and finishing phase. *Animal production science* (online).
- Prados, L. F. *Reduction of minerals in feedlot diets of Nelore cattle: impacts on intake, performance, and liver and bone status and nutrient requirements; and prediction of chemical rib section composition by dual energy x-ray absorptiometry in Zebu cattle*. 95 p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2016.
- Reynal, S. M.; Broderick, G. A. Effect of dietary level of rumen-degraded protein on production and nitrogen metabolism in lactating dairy cows. *Journal Dairy Science*, 88:4045-4064. 2005.
- Sathler, D. F. T. 2015. *Efeito da suplementação mineral sobre as digestibilidade total, ruminal e intestinal em zebuínos*. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Viçosa. 49p.
- Satter, L. D.; Klopfenstein, T. J.; Erickson, G. E. The role of nutrition in reducing nutrient output from ruminants. *Journal Animal Science*, (E. Suppl. 2): E143-E156, 2002.
- Schroder, J. J.; Aarts, H. F. M.; ten Berge, H. F. M.; van Keulen, H.; e Neeteson, J. J. An evaluation of whole-farm nitrogen balances and related indices for efficient nitrogen use. *European Journal of Agronomy*, 20:33-44. 2003.
- Sordi, A.; Dieckow, J.; Bayer, C.; Albuquerque, M. A.; Piva, J. T.; Zanatta, J. A.; Tomazi, M.; da Rosa, C. M.; de Moraes, A. Nitrous oxide emission factors for urine and dung patches in a subtropical Brazilian pastureland. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 190, 94-103, 2013.
- Staerfl, S.M.; Zeitz, J.O.; Kreuzer, M.; Soliva, C.R. Methane conversion rate of bulls fattened on grass or maize silage as compared with the IPCC default values, and the long-term methane mitigation efficiency of adding acacia tannin, garlic, maca and lupine. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 148:111-120, 2012.
- Steen, I. Phosphorus availability in the 21st century: management of a nonrenewable resource. *Natural History Museum*, 25–31, 1998.
- Steinfeld, H.; Gerber, P.; Wassenaar, T.; Castel, V.; Rosales, M.; De Haan, C. *Livestock's long shadow* (p. 392). Rome: FAO. 2006.
- St-Pierre, N. R. Invited review: Integrating quantitative findings from multiple studies using mixed model methodology. *Journal of Dairy Science*, 84:741-755. 2001.

- Tamminga, S. Nutrition management of dairy cows as a contribution to pollution control. *Journal of Dairy Science*, 75:345-357, 1992.
- Tedeschi, L. O. Assessment of the adequacy of mathematical models. *Agricultural Systems*, 89:225-247. 2006.
- Underwood, E. J.; Suttle, N. F. 1999. *The mineral nutrition of livestock*. 3ed. New York: CABI, 1999. 624p.
- Valk, H.; Metcalf, J. A.; Withers, P. J. A. Prospects for minimizing phosphorus excretion in ruminants by dietary manipulation. *Journal of Environmental Quality*, 29:28-36. 2000.
- Vitti, D. M. S. S.; Kebreab, E.; Lopes, J. B.; Adballa, A. L.; De Carvalhos, F. F. R.; De Resende, K. T.; Crompton, L. A.; France, J. A kinetic model of phosphorus metabolism in growing goats. *Journal of Animal Science*, 78:2706-2712, 2000.
- Waldrip, H. M.; Todd, R. W.; Cole, N. A. Prediction of nitrogen excretion by beef cattle: A meta-analysis. *Journal of Animal Science*, 91:4290-4302, 2013.
- Wylie, M. J.; Fontenot, J. P.; Greene, L. W. Absorption of magnesium and other macrominerals in sheep infused with potassium in different parts of the digestive tract. *Journal of Animal Science*, 61:1219-1229, 1985.

