

## Exigências de proteína e aminoácidos para bovinos de corte

*Flávia Adriane de Sales Silva, Pedro Del Bianco Benedeti, Luiz Fernando Costa e Silva, Polyana Pizzi Rotta, Ana Clara Baião Menezes, Laura Franco Prados, Marcos Inácio Marcondes, Sebastião de Campos Valadares Filho*

### INTRODUÇÃO

Proteínas são moléculas que desempenham inúmeras funções no corpo animal, contribuindo com a composição de tecidos estruturais, enzimas, hormônios, receptores hormonais e composição de material genético (Boye et al., 2012). A proteína dietética pode ser dividida em duas principais porções para animais ruminantes: proteína degradável no rúmen (PDR) e proteína não-degradável no rúmen (PNDR; NRC, 1985). Além disso, as exigências de proteína metabolizável (PM) são supridas através da absorção de aminoácidos (AA) no intestino. Esses AA são oriundos da PNDR dietética digestível e da proteína bruta microbiana verdadeiramente digestível (Cervieri et al., 2001; Sinclair et al., 2014). Assim, a nutrição proteica é um dos principais fatores que afetam o desempenho animal.

De acordo com Pinto e Millen (2018), confinamentos comerciais utilizam altos teores de proteína bruta (PB) nas dietas de animais em terminação (em alguns casos até 15% de PB) como estratégia para estimular o consumo de matéria seca (CMS) e reduzir o período de confinamento. Porém, existe uma forte correlação entre o consumo de proteína e a excreção de nitrogênio pelas fezes e urina (Sinclair et al., 2014), contribuindo para a contaminação ambiental. Menezes et al. (2016) demonstraram que é possível reduzir o nível de PB em dietas de bovinos em terminação sem afetar o desempenho, além de reduzir a excreção de N para o meio ambiente. Além disso, o desbalanceamento das rações também representa perda econômica decorrente dos custos com alimentação (Appuhamy et al., 2014), sendo a proteína, considerada o nutriente mais caro da dieta (Russel et al., 1992). Adicionalmente, a queda da fertilidade em bovinos pode ser relacionada aos efeitos tóxicos de compostos nitrogenados (Rhoads et al., 2006). Dessa forma, fornecer informações

mais precisas sobre nutrição proteica pode contribuir para tornar os sistemas de produção de carne bovina mais sustentáveis ambiental e financeiramente.

Nesse contexto, os modelos nutricionais têm tentado chegar o mais próximo possível das exigências nutricionais dos animais. Formular dietas usando AA poderá permitir o uso de rações com menores teores proteicos e também pode ser uma alternativa para maximizar o desempenho produtivo dos ruminantes. Assim, além da atualização de equações para estimativa das exigências nutricionais de proteína, nesta edição revisada também são disponibilizadas equações para a estimativa das exigências líquidas e metabolizáveis de AA para bovinos de corte.

### EXIGÊNCIAS DE PROTEÍNA

O atendimento das exigências de proteína para ruminantes é obtido pela absorção, a nível de intestino delgado, dos produtos finais resultantes dos processos digestivos dos compostos nitrogenados, em especial ao montante de AA disponibilizados para absorção. As fontes de proteína que chegam ao intestino delgado de ruminantes são a proteína microbiana, a proteína dietética que não sofreu ação da microbiota ruminal e a proteína endógena; assim, ruminantes apresentam peculiaridades em sua nutrição proteica (Bach et al., 2005). À quantidade de AA provenientes dessas fontes e absorvidos no intestino dá-se o nome de PM (ARC, 1980).

Trabalhar com o consumo de PB pode proporcionar diversos erros de estimação, uma vez que ele não considera o valor biológico da PB, bem como a eficiência de produção de proteína bruta microbiana (PBmic) por quilograma de matéria orgânica digestível. Com isso, os atuais sistemas de predição de exigências nutricionais para bovinos evoluíram e trabalham com o consumo de PM (CPM), contabilizando, assim, a proteína disponível para ser absorvida

na forma de AA no intestino. De acordo com Santos (2008), o uso da PM tem estimulado e permitido avanços no conhecimento das exigências nutricionais, possibilitando ganhos de produtividade animal por meio da otimização da síntese de PBmic, adequação dos teores de PNDR e da quantidade e qualidade da PM suprida para o animal, redução nas perdas de compostos nitrogenados e redução do impacto negativo da liberação desses compostos para o meio ambiente.

Portanto, as exigências de proteína podem ser divididas em exigências de proteína para manutenção (que incluem as perdas endógenas de compostos nitrogenados pelas fezes, urina e descamação da pele) e produção (compostos nitrogenados utilizados para deposição de tecidos corporais ou secretados no leite), que serão discutidas separadamente nas demais seções desse capítulo, permitindo melhor visualização e entendimento dos resultados obtidos.

### **AVALIAÇÃO DAS EXIGÊNCIAS DE PROTEÍNA BRUTA UTILIZANDO O BR-CORTE (2016)**

Na terceira edição do BR-CORTE (Valadares Filho et al., 2016) houve um esforço para melhorar e ratificar as exigências de proteína para bovinos de corte. De acordo com Galyean (2014), mudanças nas exigências nutricionais associadas com a classe sexual, grupo genético, estado fisiológico e meio ambiente tornam o estabelecimento das exigências mais complexas, sendo um desafio para os comitês que tentam estabelecer as exigências nutricionais. Por isso, é importante a constante atualização do banco de dados e o uso de condições ambientais e de manejo condizentes com a realidade de regiões tropicais.

Menezes et al. (2016) observaram uma superestimação das exigências de PB, calculadas pelo BR-CORTE (2010), em relação aos valores observados de 45,2, 23,5 e 11,2% para machos Nelore não castrados em terminação submetidos a dietas contendo 14, 12 e 10% PB, respectivamente. Prados et al. (2015)

trabalharam com bovinos cruzados (Holandês × Zebu) em fase de crescimento e observaram superestimativas de 17,2% no consumo de PB, sendo o valor estimado de 1200 g/dia para as exigências de PB em relação ao consumo de PB observado de 870 g/dia. Adicionalmente, Amaral et al. (2014) observaram o consumo de PB estimado (1580 g/dia) superior em 17% ao observado (1348 g/dia) para bovinos cruzados (Holandês × Zebu) em terminação, enquanto Costa e Silva et al. (2013) encontraram valores de consumo de PB superestimados em 16,8% em relação à média dos valores observados para machos Nelore não castrados em terminação.

Assim, antes de gerar novas equações, a predição do consumo de PB pelo BR-CORTE (2010) foi testada na edição anterior do BR-CORTE (BR-CORTE, 2016). Para isso, 271 dados individuais de bovinos de 8 estudos foram coletados: Costa e Silva (2011), Souza (2013), Rufino (2014), Silva (2014), Menezes (2016), Prados (2016), Amaral (2016) e Zanetti (2017). O banco de dados incluiu dissertações e teses que foram concluídas a partir de 2010 e não fizeram parte do banco de dados da segunda edição do BR-CORTE (BR-CORTE, 2010).

A estatística descritiva dos dados de consumo de PB referentes aos valores observados nos estudos e os valores preditos pelo BR-CORTE encontram-se na Tabela 9.1, sendo esses dados avaliados pelo programa Model Evaluation System (MES; Tedeschi, 2006). A partir do coeficiente de correlação e concordância (CCC) foi possível obter a acurácia e a precisão das estimativas, uma vez que quanto mais próximo ao valor de 1,0, mais precisas e acuradas foram as estimativas. O quadrado médio do erro de predição (QMEP) leva em consideração a magnitude dos erros associados às estimativas, sendo que quanto menor, melhores são as estimativas. Além disso, a partir da decomposição do QMEP, pode-se avaliar se os erros das estimativas estão associados ao vício, erros sistemáticos e erros aleatórios, sendo que quanto maior for a porcentagem dos erros aleatórios, melhor é a estimativa.

Tabela 9.1 - Análise de regressão e estatística descritiva dos valores observados e preditos pelo BR-CORTE (2010) para consumo de proteína bruta, adaptada do BR-CORTE (2016)

Itens	Consumo de proteína bruta	
	Observado	Predito
Média	1,01	1,13
Desvio-padrão	0,20	0,16
Máximo	1,74	1,67
Mínimo	0,50	0,67
% superestimação		12,24
P-valor (a = 0 e b = 1)		<0,01
CCC		0,61
Cb		0,80
Quadrado médio do erro de predição		0,0324
Vício médio (%)		0,0153 (47,22%)
Erro sistemático (%)		0,0001 (0,31%)
Erro aleatório (%)		0,0170 (52,47%)

Essa análise demonstrou que o intercepto e a inclinação diferiram ( $P < 0,01$ ) de 0 e 1, respectivamente, indicando que as estimativas do BR-CORTE (2010) não foram adequadas (Figura 9.1). Além disso, as exigências de PB foram 12,24% superestimadas em relação ao consumo de PB observado. Na decomposição dos erros, 47,22% dos erros foram associados com o

vício médio, mostrando que houve uma tendência de superestimação do consumo de PB pela equação. Dietas com excesso de PB resultarão em maiores custos com alimentação, além do aumento na excreção de N. Estes resultados demonstraram a necessidade de se realizar ajustes nas estimativas das exigências de proteína.

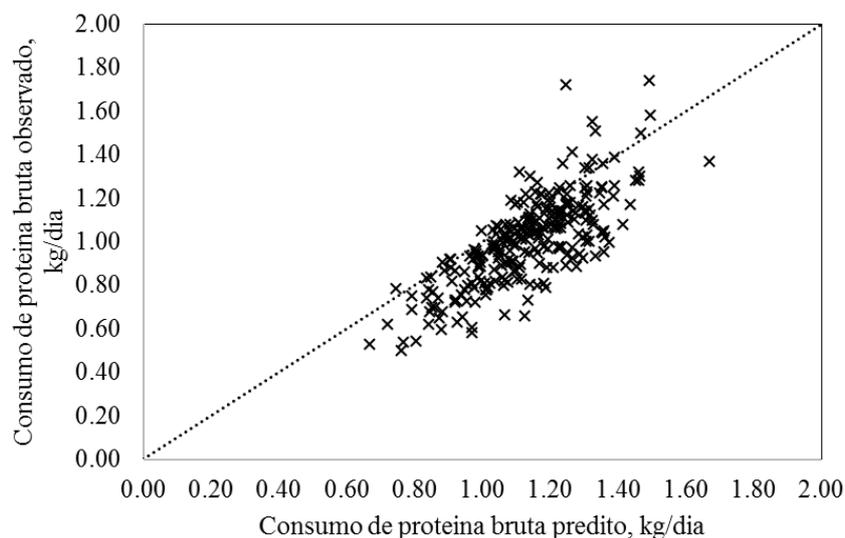


Figura 9.1 - Relação entre os valores observados e preditos pela equação proposta pelo BR-CORTE (2010) para o consumo de proteína bruta, adaptada do BR-CORTE (2016).

Dietas com teor de PB abaixo das exigências dos animais podem afetar a produtividade. Por outro lado, dietas com excesso de PB resultam em maiores custos com alimentação além do aumento na excreção

de compostos nitrogenados. Assim, o conhecimento das exigências nutricionais de proteína auxilia na formulação adequada de dietas que otimizem o desempenho animal e contribuam com o meio ambiente.

Os resultados de predição do consumo de PB para bovinos de corte destacaram a necessidade de se adequar as equações aos fatores genéticos, fisiológicos e ambientais do Brasil. Dessa forma, na terceira edição do BR-CORTE (BR-CORTE, 2016), foram realizados ajustes nas exigências de proteína com a inclusão de novas variáveis para PBmic e dados de animais de diferentes pesos, classes sexuais e grupos genéticos.

### BANCO DE DADOS DO BR-CORTE (2016)

Na terceira edição do BR-CORTE (BR-CORTE, 2016), um banco de dados foi desenvolvido, sendo o mesmo composto por 32 estudos realizados em condições brasileiras de 1991 a 2016: Galvão (1991), Jorge (1993), Paulino (1996), Ferreira (1997), Veras (2000), Silva (2001), Veloso (2001), Putrino (2002),

Tedeschi et al. (2002), Paulino (2002), Backes (2003), Leonel (2003), Martins (2003), Chizzotti (2004), Moraes (2006), Paulino (2006), Marcondes (2007), Paixão (2008), Sales (2008), Porto (2009), Machado (2009), Marcondes (2011), Souza (2011), Costa e Silva (2011), Paula (2012), Rotta (2012), Amaral (2012), Prados (2012), Rodrigues (2014), Costa e Silva (2015), Silva (2015), Menezes (2016). Dentre os dados apresentados, 767 animais foram criados em condições de confinamento e 148 em pastejo. Com relação ao grupo genético, foram 406 zebuínos, 212 cruzados de corte e 149 cruzados de leite (Tabelas 9.2; 9.3 e 9.4, respectivamente). Para os dados de animais criados a pasto, a estatística descritiva pode ser visualizada na Tabela 9.5.

Tabela 9.2 - Estatística descritiva dos dados de zebuínos terminados em confinamento e utilizados para a estimação das exigências de proteína, adaptada do BR-CORTE (2016)

Itens	N <sup>1</sup>	Média	DP <sup>2</sup>	Máximo	Mínimo
<b>Machos não castrados</b>					
Peso corporal em jejum inicial (kg)	214	290	58,3	438	151
Peso corporal em jejum final (kg)	227	408	73,1	592	215
Peso de corpo vazio inicial (kg)	215	257	52,5	358	130
Peso de corpo vazio final (kg)	227	366	66,7	549	191
Ganho médio diário (kg/dia)	162	0,99	0,40	2,66	-0,04
Ganho de peso de corpo vazio (kg/dia)	214	0,99	0,40	1,87	-0,01
Energia retida (Mcal/dia)	207	4,28	2,44	14,2	-0,58
Proteína retida (g/dia)	207	177	76,9	412	-29,1
Consumo de proteína metabolizável (g/dia)	159	700	213	1263	195
<b>Machos castrados</b>					
Peso corporal em jejum inicial (kg)	123	287	57,1	399	110
Peso corporal em jejum final (kg)	123	367	80,1	520	125
Peso de corpo vazio inicial (kg)	123	253	51,9	352	95,2
Peso de corpo vazio final (kg)	123	331	74,2	469	113
Ganho médio diário (kg/dia)	110	0,71	0,40	1,41	-0,18
Ganho de peso de corpo vazio (kg/dia)	123	0,67	0,37	1,32	-0,21
Energia retida (Mcal/dia)	123	3,62	2,07	7,47	-0,02
Proteína retida (g/dia)	123	93,1	64,1	242	-122
Consumo de proteína metabolizável (g/dia)	48	651	255	1143	159
<b>Fêmeas</b>					
Peso corporal em jejum inicial (kg)	82	218	53,1	342	129
Peso corporal em jejum final (kg)	82	273	73,1	437	131
Peso de corpo vazio inicial (kg)	82	192	50,1	297	111
Peso de corpo vazio final (kg)	82	247	70,2	397	115
Ganho médio diário (kg/dia)	53	0,67	0,42	1,27	-0,12
Ganho de peso de corpo vazio (kg/dia)	82	0,54	0,37	1,25	-0,13
Energia retida (Mcal/dia)	82	2,49	2,02	8,22	-0,21
Proteína retida (g/dia)	81	74,0	62,3	196	-35,6
Consumo de proteína metabolizável (g/dia)	69	470	158	741	151

<sup>1</sup>N = número de observações; <sup>2</sup>DP = desvio padrão.

Tabela 9.3 - Estatística descritiva dos dados de bovinos cruzados de corte terminados em confinamento e utilizados para estimação das exigências de proteína, adaptada do BR-CORTE (2016)

Itens	N <sup>1</sup>	Média	DP <sup>2</sup>	Máximo	Mínimo
<b>Machos não castrados</b>					
Peso corporal em jejum inicial (kg)	133	313	47,4	435	198
Peso corporal em jejum final (kg)	145	460	73,6	585	248
Peso de corpo vazio inicial (kg)	133	264	37,9	366	173
Peso de corpo vazio final (kg)	145	404	68,4	499	222
Ganho médio diário (kg/dia)	133	1,10	0,37	1,93	-0,08
Ganho de peso de corpo vazio (kg/dia)	131	1,05	0,36	1,98	-0,05
Energia retida (Mcal/dia)	133	3,89	1,70	8,76	-0,41
Proteína retida (g/dia)	133	156	69,7	384	-90,8
Consumo de proteína metabolizável (g/dia)	108	738	221	1409	428
<b>Machos castrados</b>					
Peso corporal em jejum inicial (kg)	41	355	41,4	434	260
Peso corporal em jejum final (kg)	41	447	73,7	552	265
Peso de corpo vazio inicial (kg)	41	312	48,8	385	205
Peso de corpo vazio final (kg)	41	409	70,2	506	238
Ganho médio diário (kg/dia)	41	0,93	0,62	1,72	-0,36
Ganho de peso de corpo vazio (kg/dia)	41	0,99	0,58	1,64	-0,09
Energia retida (Mcal/dia)	41	5,41	2,74	9,53	0,75
Proteína retida (g/dia)	41	139	96,3	276	-49,3
Consumo de proteína metabolizável (g/dia)	35	704	200	918	272
<b>Fêmeas</b>					
Peso corporal em jejum inicial (kg)	38	271	33,5	331	194
Peso corporal em jejum final (kg)	38	364	85,2	494	187
Peso de corpo vazio inicial (kg)	38	241	36,8	311	150
Peso de corpo vazio final (kg)	38	327	74,0	443	175
Ganho médio diário (kg/dia)	38	0,86	0,66	1,75	-0,31
Ganho de peso de corpo vazio (kg/dia)	38	0,80	0,58	1,73	-0,18
Energia retida (Mcal/dia)	38	4,00	2,61	7,65	-0,48
Proteína retida (g/dia)	37	125	92,2	297	-69,7
Consumo de proteína metabolizável (g/dia)	33	623	233	985	213

<sup>1</sup>N = número de observações; <sup>2</sup>DP = desvio padrão.

Tabela 9.4 - Estatística descritiva dos dados de bovinos cruzados de leite terminados em confinamento e utilizados para estimação das exigências de proteína, adaptada do BR-CORTE (2016)

Itens	N <sup>1</sup>	Média	DP <sup>2</sup>	Máximo	Mínimo
<b>Machos não castrados</b>					
Peso corporal em jejum inicial (kg)	81	297	103	494	150
Peso corporal em jejum final (kg)	93	412	126	661	169
Peso de corpo vazio inicial (kg)	123	263	70,7	415	131
Peso de corpo vazio final (kg)	135	379	103	600	150
Ganho médio diário (kg/dia)	81	1,34	0,64	2,64	0,02
Ganho de peso de corpo vazio (kg/dia)	120	1,32	0,62	2,74	0,05
Energia retida (Mcal/dia)	120	5,33	2,96	12,7	-0,67
Proteína retida (g/dia)	120	188	118	414	-181
Consumo de proteína metabolizável (g/dia)	125	698	271	1417	118
<b>Machos castrados</b>					
Peso corporal em jejum inicial (kg)	48	325	34,7	453	216
Peso corporal em jejum final (kg)	48	388	53,1	575	254
Peso de corpo vazio inicial (kg)	48	268	29,1	363	185
Peso de corpo vazio final (kg)	48	342	48,3	510	247
Ganho médio diário (kg/dia)	48	0,77	0,55	1,70	-0,21
Ganho de peso de corpo vazio (kg/dia)	48	0,93	0,38	2,00	0,02
Energia retida (Mcal/dia)	48	3,93	1,63	9,00	0,51
Proteína retida (g/dia)	20	78,3	73,5	210	-110
Consumo de proteína metabolizável (g/dia)	28	920	255	1410	458
<b>Fêmeas</b>					
Peso corporal em jejum inicial (kg)	20	258	38,6	347	196
Peso corporal em jejum final (kg)	36	311	56,7	431	215
Peso de corpo vazio inicial (kg)	36	195	43,3	298	115
Peso de corpo vazio final (kg)	36	276	54,2	403	192
Ganho médio diário (kg/dia)	20	0,68	0,36	1,23	-0,04
Ganho de peso de corpo vazio (kg/dia)	36	0,87	0,38	1,67	0,05
Energia retida (Mcal/dia)	36	3,98	1,74	7,79	0,73
Proteína retida (g/dia)	36	100	70,4	240	-52,9
Consumo de proteína metabolizável (g/dia)	15	853	186	1155	570

<sup>1</sup>N = número de observações; <sup>2</sup>DP = desvio padrão.

Tabela 9.5 - Estatística descritiva dos dados de zebuínos terminados a pasto e utilizados para estimação das exigências de proteína, adaptada do BR-CORTE (2016)

Itens	N <sup>1</sup>	Média	DP <sup>2</sup>	Máximo	Mínimo
<b>Machos não castrados</b>					
Peso corporal em jejum inicial (kg)	128	190	87,4	409	74,0
Peso corporal em jejum final (kg)	128	335	84,6	519	140
Peso de corpo vazio inicial (kg)	128	163	72,0	337	63,3
Peso de corpo vazio final (kg)	128	292	75,6	463	118
Ganho médio diário (kg/dia)	128	0,56	0,19	0,95	-0,15
Ganho de peso de corpo vazio (kg/dia)	128	0,45	0,19	0,90	-0,10
Energia retida (Mcal/dia)	127	1,12	1,01	4,14	-0,83
Proteína retida (g/dia)	108	87,0	32,4	156	14,5
Consumo de proteína metabolizável (g/dia)	84	459	163	893	189
<b>Machos castrados</b>					
Peso corporal em jejum inicial (kg)	20	317	59,8	409	226
Peso corporal em jejum final (kg)	20	363	66,9	484	243
Peso de corpo vazio inicial (kg)	20	261	49,3	337	186
Peso de corpo vazio final (kg)	20	299	57,5	405	193
Ganho médio diário (kg/dia)	20	0,57	0,33	0,95	-0,15
Ganho de peso de corpo vazio (kg/dia)	20	0,47	0,29	0,90	-0,10
Energia retida (Mcal/dia)	20	1,15	1,07	2,35	-0,83
Proteína retida (g/dia)	18	65,4	37,1	134	14,5
Consumo de proteína metabolizável (g/dia)	-	-	-	-	-

<sup>1</sup>N = número de observações; <sup>2</sup>DP = desvio padrão.

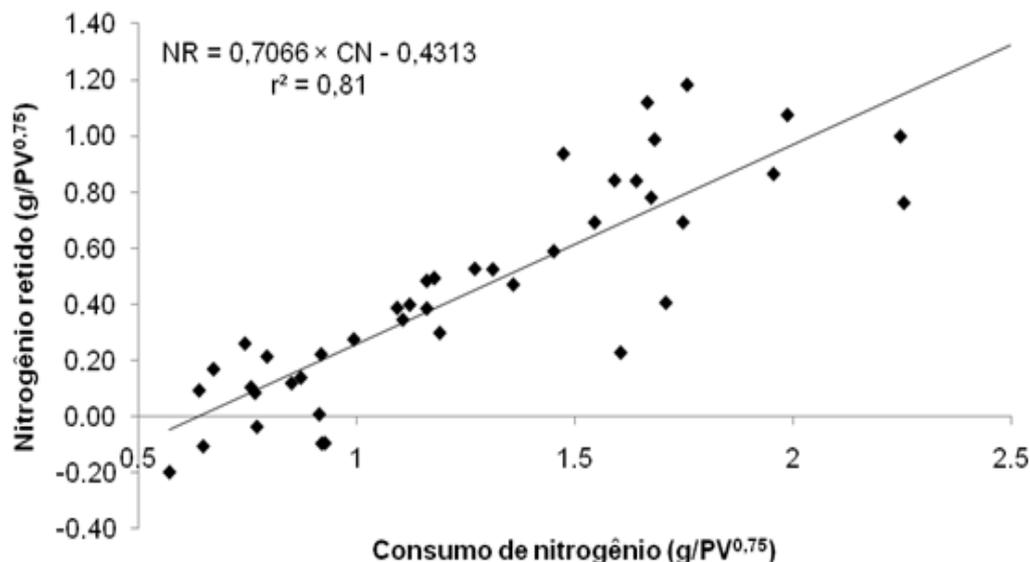


Figura 9.2 - Relação entre o nitrogênio retido e o consumo de nitrogênio, expressos em (g/PC<sup>0,75</sup>). Adaptada de Vêras et al. (2007).

## EXIGÊNCIAS DE PROTEÍNA PARA MANTENÇA

A demanda de proteína para manutenção para um bovino é igual às perdas endógenas de nitrogênio pelas fezes, urina e descamação (NRC, 2000). Na primeira edição do BR-

CORTE foi adotado o valor de exigência líquida de proteína para manutenção (PLm) de 2,69 g/PC<sup>0,75</sup> obtido por Vêras et al. (2007). Nesse estudo foram avaliados machos não castrados, machos castrados e fêmeas alimentados com quatro níveis de PB (7, 10, 13 e 15%) e não foi verificado efeito de classe

sexual sobre as exigências de proteína para manutenção (Figura 9.2). As PLg (2,69 g/PC<sup>0,75</sup>) foram obtidas multiplicando o intercepto da regressão entre o nitrogênio retido e o consumo de nitrogênio (0,4313) por 6,25.

O AFRC (1993) adotou o valor de 2,30 g/PC<sup>0,75</sup> obtido pelo somatório das exigências basais de nitrogênio endógeno e perdas por descamação e pelos, enquanto o INRA (1988) e Smuts (1935) adotaram os valores de 3,25 g/PCVZ<sup>0,75</sup>/dia e 3,52 g/PC<sup>0,75</sup>/dia, respectivamente, obtidos por experimentos envolvendo balanço de nitrogênio.

Neste sentido, Ezequiel (1987) obteve exigências diárias de PM para manutenção (PMm) de 1,72 e 4,28 g/PC<sup>0,75</sup> para novilhos Nelore e Holandês, respectivamente. Costa e Silva et al. (2015) estimaram PMm de 1,28 g/PC<sup>0,75</sup>/dia para machos castrados e fêmeas Nelore em crescimento. Além disso, Valadares et al. (1997), considerando a soma das perdas endógenas fecais, estimadas pela regressão entre o nitrogênio absorvido e o consumo de nitrogênio e as perdas endógenas urinárias, obtidas pela regressão entre a excreção de nitrogênio urinário e o consumo de nitrogênio, calcularam as PMm de 4,13 g/PC<sup>0,75</sup>.

Para converter as PLm em PMm, o BR-CORTE (2006) utilizou o fator de 0,667, obtido pela relação entre nitrogênio retido e nitrogênio absorvido (Figura 9.3), sendo este valor muito próximo à recomendação do NRC (1985) de 0,67. Utilizando-se essa eficiência e considerando-se as PLm de 2,69 g/PC<sup>0,75</sup>, foi obtida a exigência diária de PMm de 4,03 g/PC<sup>0,75</sup>, próxima ao valor recomendado pelo NRC (2000), de 3,8 g/PC<sup>0,75</sup>. Dessa forma, o BR-CORTE (2006) recomendou o uso do valor de 4 g/PC<sup>0,75</sup>/dia como as PMm.

O NRC (2000) adotou o valor de 3,8 g/PC<sup>0,75</sup> obtido por Wilkerson et al. (1993) como valor diário de PMm. Tal valor foi obtido pela divisão do intercepto (242) da equação de regressão do CPM (g/dia) em função do ganho médio diário (GMD; kg/dia) dos animais, pelo peso corporal médio metabólico dos animais (63,44) pertencentes ao banco de dados utilizado. Neste trabalho, foram consideradas 45 diferentes fontes proteicas, com número de animais variando entre 3 e 30 por fonte proteica. Um valor semelhante foi obtido por Susmel et al. (1993) avaliando experimentos envolvendo balanço de nitrogênio. Da mesma forma, o NASEM (2016) recomenda o valor apresentado no NRC (2000) de 3,8 g/PC<sup>0,75</sup>.

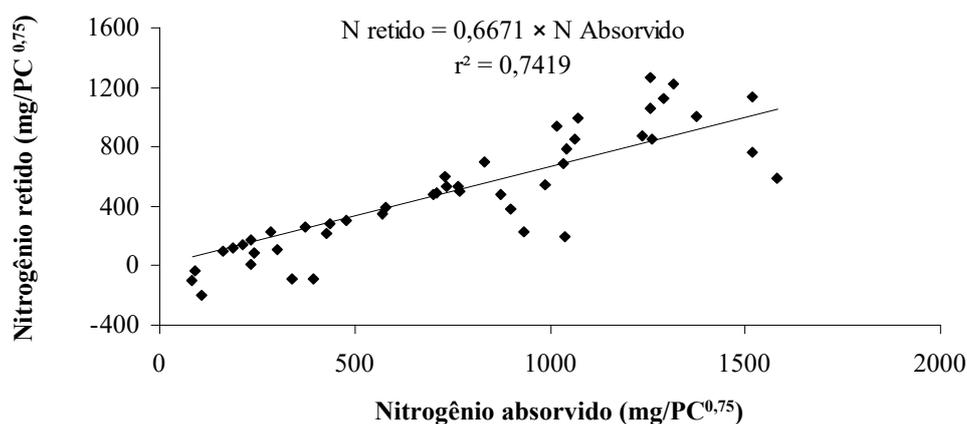


Figura 9.3 - Relação entre o nitrogênio retido e o nitrogênio absorvido. Adaptada de Vêras et al. (2007).

Na segunda edição do BR-CORTE (BR-CORTE, 2010), o CPM foi correlacionado com o GMD e ao ganho de peso de corpo vazio (GPCVZ) para estimar as PMm. As duas equações geradas para estimar as PMm produziram valores muito próximos àquele proposto na primeira edição do BR-

CORTE (BR-CORTE, 2006): 4,0 g/PC<sup>0,75</sup>, sendo este valor mantido na segunda edição do BR-CORTE (BR-CORTE, 2010).

Inicialmente, para converter o consumo de PB do banco de dados em CPM, deve-se estimar a síntese de PBmic utilizando a equação proposta no capítulo 3 (PBmic = -

$53,07 + 304,9 \times \text{CPB} + 90,8 \times \text{CNDT} - 3,13 \times \text{CNDT}^2$ ). A partir da síntese de PBmic, estimam-se as exigências PDR. Além disso, o BR-CORTE (2010) considerou uma eficiência de conversão de N degradado em N microbiano de 90%, ou seja, considerou 10% de perdas líquidas de N no rúmen. Assim, as exigências de PDR (g/dia) foram calculadas como  $1,11 \times \text{PBmic}$ . Entretanto, a ineficiência desse processo, representada pelo fator 1,11, foi removida (para mais detalhes, vide seção “Considerações sobre a reciclagem de compostos nitrogenados”); assim, as exigências de PDR são considerados iguais à síntese de PBmic. Além disso, o consumo de PNDR foi estimado pela diferença entre os consumos de PB e PDR. Assim, o CPM pode

ser obtido pela seguinte equação:  $\text{CPM} = (\text{PBmic} \times 0,64) + (\text{PNDR}/0,80)$ .

Na terceira edição do BR-CORTE (BR-CORTE, 2016), adotou-se a mesma metodologia do BR-CORTE (2010) para estimar as PMm, onde o CPM foi correlacionado com o GPCVZ. A partir das avaliações, foi observado efeito de sistema de produção, sugerindo que as PMm devem ser estimadas separadamente para animais criados em pastejo e confinamento. Além disso, foram testados efeitos de grupo genético e sexo para animais criados em confinamento e nenhum efeito foi observado, permitindo o desenvolvimento de apenas uma equação para animais criados em confinamento (Figuras 9.4 e 9.5; Tabela 9.5).

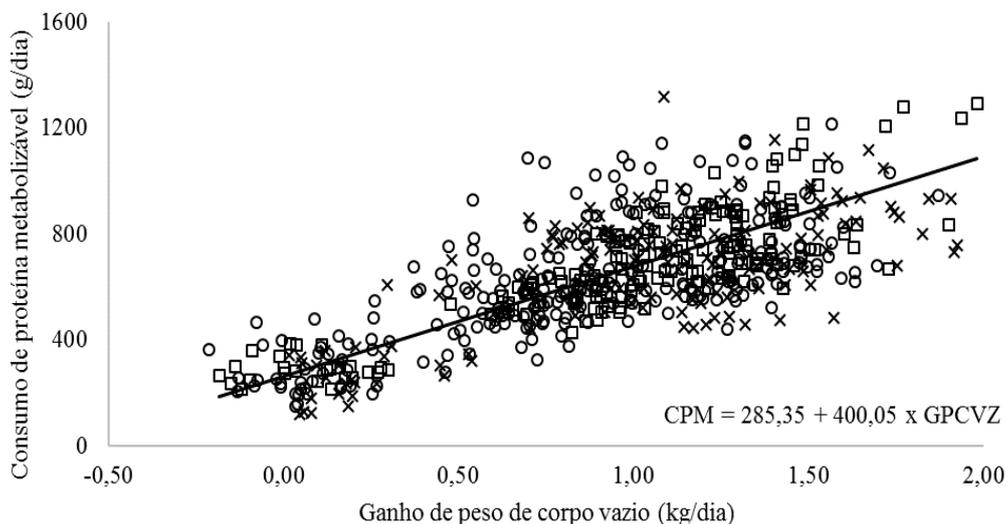


Figura 9.4 - Relação entre o consumo de proteína metabolizável e o ganho de peso de corpo vazio de animais criados em confinamento. Os símbolos representam dados de zebuínos (○), cruzados de corte (□) e cruzados de leite (×).

Tabela 9.5 - Exigências de proteína metabolizável para manutenção de bovinos de corte criados a pasto ou em confinamento, adaptada do BR-CORTE (2016)

Sistema	Equação	PCVZ <sup>0,75</sup>	PMm
Confinamento	$\text{CPM} = 285,35 + 400,05 \times \text{GPCVZ}$	72,0	3,96
Pasto	$\text{CPM} = 270,53 + 532,46 \times \text{GPCVZ}$	62,7	4,31

CPM = consumo de proteína metabolizável (g/dia); GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio (kg/dia); PCVZ<sup>0,75</sup> = peso de corpo vazio metabólico (kg); PMm = exigências de proteína metabolizável de manutenção (g/PCVZ<sup>0,75</sup>).

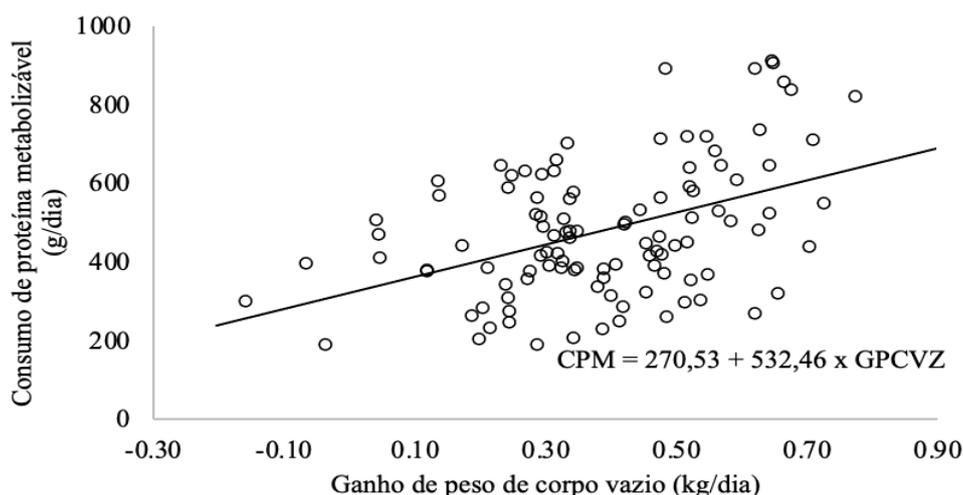


Figura 9.5 - Relação entre o consumo de proteína metabolizável e o ganho de peso de corpo vazio de zebuínos criados a pasto.

No BR CORTE (2010), ao se estimar as PMm, o valor médio obtido para animais zebuínos e cruzados foi de 3,91 g/PCVZ<sup>0,75</sup>, valor próximo ao obtido na terceira edição (BR-CORTE, 2016) e mantido nessa edição (3,96 g/PCVZ<sup>0,75</sup>) para bovinos criados em confinamento. Para animais criados a pasto, o valor estimado na terceira edição do BR-CORTE (BR-CORTE, 2016) e mantido na atual edição para PMm foi de 4,31 g/PCVZ<sup>0,75</sup>, o qual foi inferior ao observado na segunda edição do BR-CORTE (BR-CORTE, 2010; 4,87 g/PCVZ<sup>0,75</sup>). Em ambos os casos, convertendo esses valores para peso corporal em jejum (PCJ), obtêm-se as estimativas de 3,6 e 3,9 g/PCJ<sup>0,75</sup> para animais criados em confinamento e a pasto, respectivamente. O valor obtido para animais criados em confinamento foi inferior aos recomendados pelo NASEM (2016) e BR-CORTE (2010) de 3,8 e 4,0 g/PC<sup>0,75</sup>, respectivamente. Além disso, vale ressaltar que bovinos criados a pasto exigiram aproximadamente 8% mais PMm que aqueles criados em confinamento.

Nesse contexto, o comitê decidiu manter os valores de 3,6 e 3,9 g/PCJ<sup>0,75</sup> de PMm recomendados na última edição do BR-CORTE (BR-CORTE, 2016) para bovinos criados em confinamento e a pasto, respectivamente.

### EXIGÊNCIAS DE PROTEÍNA PARA GANHO DE PESO

A estimação da composição corporal dos animais é fundamental para a avaliação do

valor nutricional dos alimentos e para estudos do crescimento animal (Boin et al., 1994), pois possibilita a estimativa das exigências de proteína para o ganho de peso dos animais. Os principais componentes químicos do corpo de um bovino são: água, gordura, proteína e minerais. De acordo com Ferreira et al. (1998), a maturidade do animal é caracterizada pelo aumento na proporção de gordura no corpo. Animais mais jovens têm maior proporção de água e proteína e menor proporção de gordura, de modo que as concentrações de proteína, cinzas e água decrescem com a idade e com a terminação dos animais. O NRC (2000) relatou que os teores de gordura e proteína corporal apresentam comportamento quadrático em relação ao peso corporal, com relações inversas: quanto maior o peso corporal, maior o teor de gordura e menor o de proteína.

A proporção e a velocidade com que os tecidos se acumulam no corpo influencia o ganho de peso e a composição corporal, bem como a eficiência alimentar (Shahin et al., 1993) e, conseqüentemente, as exigências nutricionais. As proporções dos tecidos e sua composição química são influenciadas por vários fatores, destacando-se o peso corporal, a idade, o grupo genético, o nível de consumo de energia e o sexo (Ferreira et al., 1998). Segundo Garret (1980), o grupo genético teria maior influência sobre a composição corporal, a um mesmo peso corporal, do que o nível nutricional.

As diferenças nas exigências de proteína para ganho de peso são atribuídas às

variações na composição do ganho de peso (Garret et al., 1959; Geay, 1984). As exigências proteicas para ganho de peso são maiores para machos não castrados de maturidade tardia do que para machos castrados de maturidade precoce (Geay, 1984). Boin (1995) observou maior concentração de proteína por quilograma de GPCVZ em machos Nelore não castrados em relação aos machos castrados. Segundo Geay (1984), as exigências líquidas de proteína (PL) tendem a ser menos importantes que as de energia para bovinos em crescimento com maturação precoce, como os das raças Angus e Hereford, pois ocorre menor retenção de energia na forma de proteína (12 a 15%). Esse tipo de animal preenche suas exigências proteicas utilizando principalmente os AA provenientes da fermentação microbiana (Geay, 1984). A maioria dos estudos indica redução das exigências líquidas de proteína para ganho de peso (PLg) à medida que o PC aumenta (Lana et al., 1992; Pires et al.; 1993; Fontes, 1995;

Paulino, 1999, Cavalcante et al., 2005, Amaral et al., 2014).

Na primeira edição do BR-CORTE (BR-CORTE, 2006), as PLg foram estimadas a partir de equações de regressão da proteína retida (PR) em função da energia retida (ER) e do GMD, sendo obtidas três equações em função da classe sexual para animais zebuínos terminados em confinamento. Na segunda edição do BR-CORTE (BR-CORTE, 2010), foi utilizado um modelo semelhante ao proposto pelo NRC (2000), em que a PR foi correlacionada com a ER e com o GPCVZ. Na terceira edição do BR-CORTE (BR-CORTE, 2016), foram recomendadas 10 diferentes equações para prever PLg (Tabela 9.6), as quais consideraram os efeitos de sistema de produção (confinamento e pasto), grupo genético (zebuínos, cruzados de corte e cruzados de leite) e classe sexual (machos não castrados, machos castrados e fêmeas).

Tabela 9.6 - Equações obtidas para estimar as exigências líquidas de proteína para ganho de animais criados a pasto ou em confinamento de diferentes grupos genéticos e classes sexuais, adaptada do BR-CORTE (2016)

Sistema	Grupo genético	Classe sexual	Equação
Confinamento	Zebuínos	Machos não castrados	$PLg = 210,09 \times GPCVZ - 10,01 \times ER$
		Machos castrados	$PLg = 153,13 \times GPCVZ - 2,53 \times ER$
		Fêmeas	$PLg = 193,90 \times GPCVZ - 12,16 \times ER$
	Cruzados de corte	Machos não castrados	$PLg = 281,77 \times GPCVZ - 27,66 \times ER$
		Machos castrados	$PLg = 219,94 \times GPCVZ - 12,04 \times ER$
		Fêmeas	$PLg = 174,65 \times GPCVZ - 3,14 \times ER$
	Cruzados de leite	Machos não castrados	$PLg = 171,43 \times GPCVZ - 3,08 \times ER$
		Machos castrados	$PLg = 236,36 \times GPCVZ - 19,84 \times ER$
		Fêmeas	$PLg = 206,58 \times GPCVZ - 15,39 \times ER$
Pasto	Zebuínos	Machos não castrados	$PLg = 181,43 \times GPCVZ - 2,88 \times ER$

PLg = exigência líquida de proteína para ganho (g/dia); GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio (kg/d); ER = energia retida (Mcal/dia).

### ***Desenvolvimento de uma nova equação para estimar as exigências líquidas de proteína (PLg)***

Costa e Silva et al. (2020) desenvolveram um novo modelo, incluindo PCVZeq, para estimar as PLg para bovinos criados em condições brasileiras. Resumidamente, uma meta-análise foi realizada utilizando dados obtidos de 23 estudos realizados no Brasil entre 1997 e 2016 (Costa e

Silva et al., 2020). O banco de dados foi composto por 492 animais terminados em confinamento e 60 animais criados e terminados a pasto, totalizando 552 observações que abrangeram machos não castrados, machos castrados e fêmeas de diferentes grupos genéticos (zebuínos, cruzados de corte e cruzados de leite). O modelo geral ajustado foi:

$$PLg = 176,01 \times GPCVZ - 6,239 \times ER$$

onde PLg = exigências de proteína líquida para ganho de peso (g/dia), GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio (kg/dia), e ER = energia retida (Mcal/dia).

No entanto, modelos que utilizam GPCVZ e ER como variáveis preditivas, que não permitem ajustes em relação ao PC, quando o animal atinge a maturidade fisiológica, podem levar à superparametrização da predição das estimativas das PLg, aumentando a complexidade dos cálculos. Com o intuito de disponibilizar um cálculo mais simples das PLg para animais de diferentes grupos genéticos e sexo, os autores decidiram substituir a variável ER da equação geral de predição das PLg pela equação utilizada para estimar as exigências líquidas de energia para ganho de peso (ELg). A equação para estimação das ELg, proposta no BR-CORTE (2016), utiliza o peso de corpo vazio equivalente (PCVZeq) como variável preditiva, permitindo estimar a ER para qualquer PC, independentemente do sexo e grupo genético ( $ER = 0,061 \times PCVZeq^{0,75} \times GPCVZ^{1,035}$ ). Assim, após substituir a variável preditiva ER pela equação ELg, o novo modelo obtido foi:  $PLg = 176,01 \times GPCVZ - 6,239 \times 0,061 \times PCVZeq^{0,75} \times GPCVZ^{1,035}$ . Este novo modelo para prever as PLg pode ser simplificado como:

$$PLg = 176,01 \times GPCVZ - 0,381 \times PCVZeq^{0,75} \times GPCVZ^{1,035}$$

onde PLg = exigências líquidas de proteína para ganho (g/dia), GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio (kg/dia) e PCVZeq = peso de corpo vazio equivalente (kg). Nesse contexto, o uso do PCVZeq como variável preditiva permite estimar a ER para qualquer PC, independentemente de gênero e grupo genético (Marcondes et al., 2016). Portanto, o uso do PCVZeq em modelos pode simplificar e até melhorar a acurácia e precisão das estimativas das PLg.

Além disso, esses autores também avaliaram a nova equação proposta para prever as PLg e a compararam com os atuais modelos propostos pelos principais sistemas de exigências nutricionais internacionais (ARC, 1980; BR-CORTE, 2016; NASEM, 2016) usando um banco de dados independente. A avaliação do modelo foi realizada utilizando dados de cinco experimentos independentes, totalizando 177 observações abrangendo machos não castrados e castrados de diferentes grupos genéticos (zebuínos, cruzados de corte e

cruzados de leite). Como resultado, as equações recomendadas pelo BR-CORTE (2016) e NASEM (2016) não estimaram corretamente as PLg e não foram recomendadas para estimar as PLg para bovinos em condições brasileiras.

No entanto, a nova abordagem (Costa e Silva et al., 2020) e aquela descrita pelo ARC (1980) exibiram boa precisão e acurácia. Além disso, a inclusão do PCVZeq no novo modelo (Costa e Silva et al., 2020) melhorou a estimativa das PLg, que apresentou reprodutibilidade e acurácia superiores aos atuais modelos avaliados. Portanto, o comitê recomenda o uso da equação proposta por Costa e Silva et al. (2020) para prever as exigências de PLg ( $PLg = 176,01 \times GPCVZ - 0,381 \times PCVZeq^{0,75} \times GPCVZ^{1,035}$ ) nesta atual edição do BR-CORTE.

### ***Eficiência de utilização da proteína metabolizável***

Para que as exigências de PL sejam convertidas em exigências de PM é preciso estimar a eficiência de utilização da PM para ganho (*k*). A PM contém a proteína não degradável no rúmen digestível (PNDRd) e a proteína microbiana verdadeira digestível (PBMvd), sendo que esta representa a quantidade de AA absorvidos no intestino delgado.

Dentre os sistemas internacionais de predição das exigências nutricionais de bovinos de corte, o NRC (1984) relatou que a média do valor biológico de AA absorvidos por bovinos é 66%, valor obtido por Zinn e Owens (1983). Assim, baseando-se neste e em outros estudos, o NRC (1985) adotou valores de 50 e 65% para *k*, sendo esses valores baseados no valor biológico da proteína e no valor de uma mistura ideal de AA (Oldham, 1987). Oldham (1987) sugeriu, ainda, uma eficiência de 85% para todas as funções fisiológicas, como um valor referente a eficiência de conversão de uma mistura ideal de AA. Como na prática isso não acontece, a eficiência real normalmente encontra-se abaixo deste valor.

De acordo com o sistema britânico (AFRC, 1993), a eficiência de utilização de uma mistura ideal de AA é denominada de *kaai*, sendo esta característica inerente ao animal. Entretanto, esse sistema reconheceu que, na prática, valores mais baixos do que a eficiência ideal têm sido encontrados, sendo estes dependentes basicamente da qualidade da mistura de AA na PNDR digestível e da

proporção entre PNDRd e PBMvd no intestino delgado. Assim, o AFRC (1993) considera valores fixos para eficiência de uso da PM de 100% para manutenção, 59% para ganho, 85% para gestação e 68% para lactação.

Devido à elevada qualidade da mistura de AA da PBmic, o valor biológico da PBmic é alto, fazendo com que a proporção de PBmic na proteína total que chega ao intestino possa alterar a eficiência de utilização da PM (NRC, 2000). Contudo, o sistema francês (INRA, 1988) considerou que à medida que o PC aumenta,  $k$  diminui. Essa eficiência decrescente foi confirmada por Ainslie et al. (1993) e Wilkerson et al. (1993) a partir de dados de animais com PC variando entre 150 e 300 kg. Nesse contexto, o NRC (2000) adotou a equação desenvolvida por Ainslie et al. (1993) para estimar  $k$  para animais de 150 a 300 kg:

$$k = 83,4 - (0,114 \times \text{PCVZeq})$$

Assim, um bovino com 150 kg de PCVZeq terá um valor de  $k$  igual a 0,663, enquanto um bovino com 300 kg terá uma eficiência de 0,492. O NRC (2000) utiliza a equação acima somente para animais com PCVZeq menor que 300 kg; enquanto para pesos superiores, o NRC (2000) recomendou o valor fixo de 0,492, oriundo de suas versões anteriores (NRC, 1984). Vale ressaltar que as exigências de proteína para ganho de peso são relativamente

baixas quando os animais atingem pesos corporais em torno de 400 kg.

Dados da literatura nacional reportaram valores de  $k$  de 33,3% (Costa e Silva et al., 2013) e 34,4% (Menezes et al., 2016) para bovinos Nelore nas fases de crescimento e terminação, respectivamente. Enquanto isso, Zanetti et al. (2016) e Silva et al. (2016) obtiveram valores de  $k$  iguais a 29,7 e 25,2% para machos castrados e fêmeas Holandês  $\times$  Zebu, respectivamente. No entanto, Mariz et al. (2018) descreveram um valor médio de  $k$  de 40% para machos Nelore e Angus  $\times$  Nelore não castrados. Muitos fatores como idade, composição ou condição de alimentação podem afetar a  $k$  (Blaxter et al., 1966; Garrett, 1980; Gionbelli et al., 2012; Marcondes et al., 2013).

A primeira edição do BR-CORTE (BR-CORTE, 2006) utilizou as recomendações do NRC (2000) para a  $k$ , em que o valor de  $k$  foi considerado como o coeficiente de inclinação obtido da regressão entre a PR e o CPM. Por outro lado, o BR-CORTE (2010), avaliando a PR em função do CPM (Figura 9.6), não encontrou efeito de grupo genético ou condição sexual sobre o valor de  $k$ , sendo a equação final adotada igual a:

$$\text{PR} = -2,223 + 0,4691 \times \text{CPM}$$

em que PR = proteína retida ( $\text{g}/\text{PCVZ}^{0,75}$ ) e CPM = consumo de proteína metabolizável ( $\text{g}/\text{PCVZ}^{0,75}$ ).

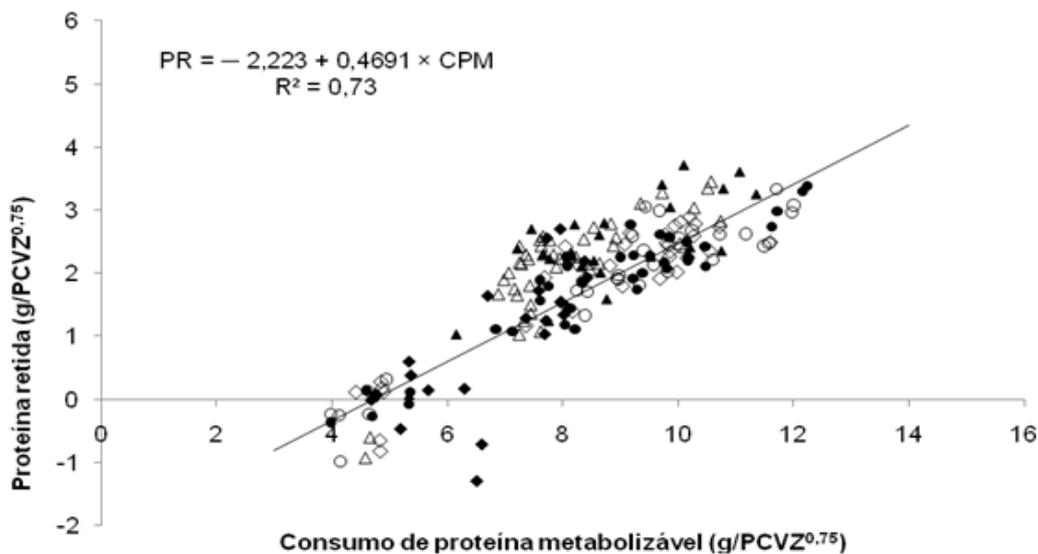


Figura 9.6 - Relação entre a proteína retida e o consumo de proteína metabolizável. Os símbolos representam dados de machos não castrados ( $\blacktriangle$ ,  $\triangle$ ), machos castrados ( $\diamond$ ,  $\blacklozenge$ ), e fêmeas ( $\circ$ ,  $\bullet$ ). Pontos sólidos representam animais Nelore e pontos vazios representam animais cruzados *Bos taurus indicus*  $\times$  *Bos taurus taurus*.

A partir dessa equação, o valor estimado para  $k$  foi de 46,9% para animais zebuínos e cruzados de corte, sendo este valor próximo ao preconizado pelo NRC (2000), de 49,2%. Além disso, o mesmo valor estimado para  $k$  para animais criados em confinamento foi adotado para animais criados em pastejo na segunda edição do BR-CORTE (BR-CORTE, 2010) devido à pequena quantidade de dados

disponíveis. Na terceira edição do BR-CORTE (BR-CORTE, 2016), uma equação semelhante foi novamente ajustada; o valor obtido foi de 47,4% (Figura 9.7) para animais criados a pasto e em confinamento. Ainda, a quantidade de dados oriundos de experimentos a pasto foi pequena, o que impossibilitou a avaliação do efeito de sistema de produção para  $k$ .

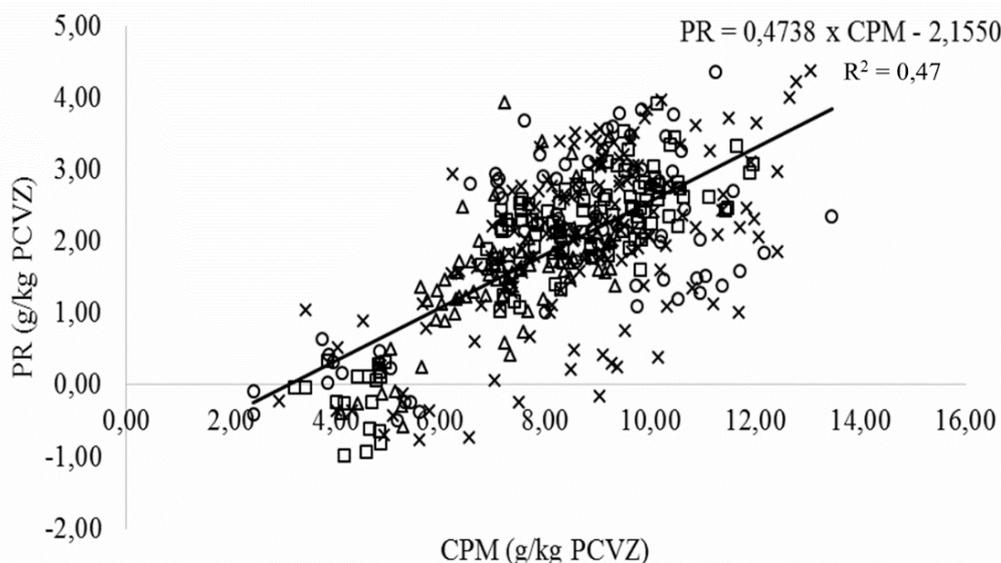


Figura 9.7 - Relação entre a proteína retida (PR) e o consumo de proteína metabolizável (CPM) de animais terminados em sistema de confinamento. Os símbolos representam dados de zebuínos (×), cruzados de corte (○) e cruzados de leite (□).

A maioria dos sistemas de exigências nutricionais (INRA, 1988; AFRC, 1993; NRC, 2000; CSIRO, 2007) relatam que o uso de uma eficiência constante ( $k$ ) não representa a real eficiência dos animais. O valor de  $k$  parece estar mais relacionado com a composição da PM que chega ao intestino delgado do que com o PCVZeq (Oldham, 1987), como sugerido pelo INRA (1988).

Nesse sentido, na segunda edição do BR-CORTE (BR-CORTE, 2010), estimou-se a eficiência média de cada experimento e esses valores foram correlacionados com o PCVZeq médio de cada experimento para gerar a equação para estimar  $k$ :

$$k = 84,665 - 0,1179 \times \text{PCVZeq}$$

onde PCVZeq = peso de corpo vazio equivalente.

Essa equação recomendada na segunda edição do BR-CORTE (BR-CORTE, 2010) foi mantida na edição atual. Contudo, na segunda

edição do BR-CORTE (BR-CORTE, 2010), a recomendação foi para que esta equação fosse utilizada para animais que apresentassem PCJ < 350 kg. Como a  $k$  aumentou para animais adultos (46,9 para 47,4%) da segunda (BR-CORTE, 2010) para a terceira edição (BR-CORTE, 2016) do BR-CORTE, a recomendação seria o uso dessa equação para animais com PCJ < 340 kg. Assim, considerando animal de 150 kg de PCVZeq, com o uso da equação acima, a eficiência seria de 67%, sendo que esse valor é próximo do sugerido pela equação do NRC (2000) de 66%. Adicionalmente, observa-se que à medida que o animal cresce, a  $k$  diminui até o PCJ igual a 340 kg. A partir desse PCJ, a eficiência deve ser constante e igual a 47,4%. O NRC (2000) e o NASEM (2016) consideraram o valor de 49,2 para  $k$  para animais com PC superior a 300 kg.

A PBmic foi calculada considerando a recomendação apresentada no capítulo 3, onde

a síntese de PBmic foi calculada em função do CPB e dos nutrientes digestíveis totais (CNDT) como apresentado a seguir:

$$\text{PBmic (g/dia)} = -53,07 + 304,9 \times \text{CPB} + 90,8 \times \text{CNDT} - 3,13 \times \text{CNDT}^2$$

em que CPB = consumo de proteína bruta (kg/dia) e CNDT = consumo de nutrientes digestíveis totais (kg/dia). Assim, as exigências de PDR foram calculadas a partir das recomendações da edição atual, em que a síntese de PBmic iguala-se às exigências de PDR: PDR = PBmic; enquanto as exigências de PNDR foram obtidas a partir da equação: PNDR = (proteína metabolizável total – (PBmic × 0,64))/0,80. Para se obter as exigências de PB, deve-se proceder à soma das exigências de PDR e PNDR. Vale ressaltar que o valor usado para a digestibilidade verdadeira da PBmic e da PNDR no intestino delgado foi recentemente confirmado na pesquisa de Mariz et al. (2018), que trabalhando com bovinos Nelore e Angus × Nelore, fistulados no rúmen e no íleo, estimou a digestibilidade verdadeira da PBmic e da PNDR média de aproximadamente 80%.

### CONSIDERAÇÕES SOBRE RECICLAGEM DE COMPOSTOS NITROGENADOS

A reciclagem da ureia no fígado para o rúmen e glândulas salivares é uma das particularidades que envolve a fisiologia e a nutrição dos ruminantes e que representa uma vantagem evolutiva para estes animais, permitindo sua sobrevivência em períodos nos quais o teor de proteína da dieta é inferior a 7% (Lazzarini et al., 2009; Sampaio et al., 2010). De acordo com Batista et al. (2016), ao providenciar amônia para os microrganismos ruminais, a reciclagem da ureia afeta a quantidade de N disponível no rúmen que deve ser fornecida diretamente a partir da dieta. Portanto, os sistemas nutricionais devem considerar o N reciclado para estimar as exigências de proteína dos animais. Considerando tais aspectos, a atual edição do sistema americano (NASEM, 2016) considera a reciclagem de ureia para o rúmen como sendo o valor obtido pela seguinte equação:

$$\text{N ureia} = (-0,1113 + 0,996 \times \exp(-0,0616 \times \text{PB})) \times (0,745 \times \text{CN} - 11,98)$$

em que N uréia = N reciclado para o rúmen na forma de uréia (g/dia); PB = teor de proteína bruta da dieta (% MS); CN = consumo de nitrogênio (g/dia). Com isso, o NASEM (2016) espera que com o uso da reciclagem de N nos cálculos, os valores das exigências de PB estejam mais próximos do real, permitindo a formulação de dietas que otimizem o desempenho animal, reduzam perdas econômicas e evitem contaminação ambiental. Até a segunda edição do BR-CORTE (BR-CORTE, 2010), a reciclagem de nitrogênio não foi considerada nos cálculos de exigências de proteína, o que possivelmente contribuiu para a superestimação das recomendações de PB na dieta de bovinos.

Contudo, Batista et al. (2016), avaliando forragem de baixa qualidade (5,0% PB na base da MS) ou dietas contendo infusão ruminal de proteína para atender 100% das exigências de PDR e de 0 a 150% das exigências de PNDR, encontraram que 22% do total de N microbiano na dieta controle foi derivado da reciclagem de ureia, enquanto nas dietas suplementadas, essa incorporação foi de 10%. Além disso, avaliando dietas com diferentes teores de PB (9, 11, 13 e 15% na base da MS) e considerando o teor de PDR, a quantidade de N ingerido e a produção de nitrogênio microbiano (NM) obtidos em cada nível dietético de PB, Prates (2015) verificou que a eficiência de captação de N ingerido degradado no rúmen em NM variou de 120 a 90,28%, entre as dietas de 9 e 15% de PB, respectivamente. Assim na dieta com 9% de PB, a quantidade de N reciclado incorporado ao NM foi de aproximadamente 20%, reduzindo para próximo de 10% na dieta contendo 11% de PB, para aproximadamente zero na dieta com 13% de PB. Ainda, para a dieta com 15% de PB, foi observada uma perda líquida de N no rúmen próxima de 10%. Com isso, considerando os dados descritos acima, observa-se que a reciclagem de N para o rúmen parece contribuir com 10 a 20% do N microbiano, considerando dietas variando de 5 a 13% de PB. Esses valores são levemente menores que os calculados pela equação sugerida pelo NASEM (2016).

Apesar de reconhecer a importância da reciclagem de N, o comitê do BR-CORTE não recomenda nenhum valor para a reciclagem de N, visto que até o presente momento apenas Batista et al. (2016) mediram efetivamente a reciclagem de ureia, utilizando animais alimentados com forragem de baixa qualidade e

com infusão de N em condições tropicais. Contudo, apesar de não recomendar nenhum valor para reciclagem de N, o comitê considera que a quantidade de compostos nitrogenados reciclados para o rúmen pode compensar a ineficiência da utilização do N degradável. Assim, o comitê sugere que se o usuário desejar computar a reciclagem de N, valores de 5% a 10% para dietas convencionais seriam adequados.

### **AVALIAÇÃO PRÁTICA DE NÍVEIS DE PROTEÍNA BRUTA NA DIETA DE BOVINOS DE CORTE**

Dois estudos foram desenvolvidos para avaliar o efeito da redução de níveis de PB na dieta de bovinos de corte. No Estudo 1 (Menezes et al., 2019), os animais foram desmamados e a fase de crescimento/terminação foi conduzida em confinamento, no qual foram testados níveis estáticos e oscilantes de 10,5, 12,5 e 14,5 % de PB na MS da dieta. No Estudo 2 (Menezes et al., 2016), os animais foram desmamados, recriados a pasto por um ano e submetidos a terminação em confinamento. Neste caso, foram avaliados níveis de 10, 12 e 14% de PB na MS da dieta.

#### **Estudo 1**

Quarenta e dois machos Nelore não castrados super precoces (PC inicial de  $260 \pm 8,1$  kg; idade de  $7 \pm 1,0$  meses) foram alimentados à vontade e distribuídos aleatoriamente em seis grupos, aos quais foram fornecidas dietas com diferentes concentrações de PB por 140 dias: níveis estáticos de 10,5 (LO), 12,5 (MD), ou 14,5% PB na dieta MS (HI), e níveis oscilantes de PB a cada 48 h de LO a HI (LH), LO a MD (LM), ou MD a HI (MH). O CMS, desempenho produtivo e as características de carcaça não foram influenciados ( $P > 0,05$ ) pelo teor de PB da dieta ou pela oscilação do teor de PB da dieta (Tabela 9.7), sugerindo que dietas com teores oscilantes de PB não foram prejudiciais ao desempenho produtivo dos animais.

Por outro lado, os resultados do balanço de N foram mais variáveis. No geral, os machos não castrados alimentados com a dieta HI

apresentaram maior ingestão e excreção de N do que aqueles alimentados com as dietas MD ou LO. Além disso, os machos não castrados alimentados com as dietas HI e MD tiveram maior retenção de N do que aqueles alimentados com baixo teor de PB (dieta LO). Diferenças também foram observadas entre os tratamentos com teores oscilantes de PB dietética e o tratamento estático MD, onde maior ingestão e excreção geral de N foram observadas para os animais alimentados com LH e MH em comparação com aqueles que receberam o tratamento MD; enquanto os animais alimentados com LM apresentaram menor consumo de N e excreção urinária de N do que aqueles alimentados com MD. Ainda, os animais que receberam a dieta MD apresentaram maior retenção de N do que aqueles alimentados com as dietas LM e MH.

Este estudo mostrou que a redução do teor de PB dietético de 14,5 para 10,5% ou a oferta de níveis oscilantes de PB não afetaram o desempenho produtivo e as características de carcaça de machos Nelore não castrados em crescimento; mas o aumento do teor de PB da dieta aumentou a ingestão, excreção e retenção de N. É importante destacar que as dietas MD e HI apresentaram retenção de N semelhantes e a dieta MD apresentou uma melhora geral na ingestão, excreção e retenção de N, quando comparadas aos tratamentos com níveis oscilantes de PB de LH e MH.

Assim, embora não haja efeito adverso aparente do uso de dietas com níveis oscilantes de PB em relação a um nível estático moderado de PB (12,5%), nem níveis estáticos baixo (10,5%) e alto (14,5%) sobre o desempenho produtivo de machos Nelore não castrados super precoces; pode haver aumento indesejável na excreção de N para o ambiente quando o teor médio de PB na dieta é aumentado. Nesse sentido, é plausível afirmar que dietas contendo 10,5 e 12,5% de PB, ou dentro desta faixa, sejam indicadas para terminação de machos Nelore não castrados super precoces. A recomendação sobre o teor de PB na dieta deve atender às exigências, reduzir o impacto ambiental relacionado à excreção de N e evitar perdas econômicas.

Tabela 9.7 - Desempenho produtivo e características de carcaça de machos Nelore não castrados alimentados com diferentes níveis de proteína bruta na dieta [Adaptada de Menezes et al. (2019)]

Item <sup>1</sup>	Tratamento <sup>2</sup>						EPM <sup>3</sup>	Contrastes <sup>4</sup>				
	LO	MD	HI	LH	LM	MH		Linear	Quadrático	M × LH	M × LM	M × MH
Desempenho produtivo												
Consumo de matéria seca (kg/d)	7,71	7,62	7,29	7,54	7,51	7,62	0,21	0,27	0,33	0,51	0,77	0,77
PCJ inicial (kg)	276	275	279	275	274	277	9,09	0,75	0,95	0,85	0,92	0,93
PCJ final (kg)	440	447	433	455	445	448	14,1	0,46	0,98	0,8	0,71	0,67
GMD (kg)	1,17	1,25	1,13	1,32	1,23	1,25	0,06	0,15	0,79	0,51	0,34	0,35
Eficiência alimentar	0,15	0,16	0,15	0,17	0,16	0,16	0,01	0,11	0,24	0,19	0,10	0,14
Características de carcaça												
Peso de carcaça fria (kg)	261	266	258	271	262,2	268	8,43	0,53	0,92	0,93	0,69	0,56
Rendimento de carcaça fria (%)	59,4	59,4	59,7	59,5	59	59,8	0,43	0,73	0,79	0,53	0,96	0,53
EGS (mm)	4,9	3,9	3,2	4,0	3,8	5,1	0,50	0,41	0,06	0,11	0,16	0,77
Balanço de N												
Consumo de N (g/dia)	135,2	149,7	197,6	171,9	143,8	165,9	2,38	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	<0,01
N urinário (g/dia)	67,7	85,5	116,1	92,8	71,2	90,7	2,39	<0,01	<0,01	0,33	<0,01	<0,01
N fecal (g/dia)	43,9	44,3	52,1	49,9	47,0	50,0	1,21	<0,01	0,01	0,07	0,81	<0,01
N retido (g/dia)	23,8	29,0	29,1	29,9	26,4	27,3	1,16	0,96	0,01	0,13	<0,01	0,04

<sup>1</sup>PCJ = peso corporal em jejum; GMD = ganho médio diário; EGS = espessura de gordura subcutânea.

<sup>2</sup>LO = baixo (10,5% PB); MD = médio (12,5 % PB); HI = alto (14,5% PB), LH = nível oscilante de baixo (LO; 10,5% PB) a alto (HI; 14,5% PB) a cada 48 h; LM = nível oscilante de baixo (10,5% PB) a médio (MD; 12,5 % CP) a cada 48 h; MH = nível oscilante de médio (12,5 % PB) a alto (14,5% CP) a cada 48 h.

<sup>3</sup>EPM = erro padrão da média.

<sup>4</sup>Contrastes linear e quadrático comparando os níveis de 10,5, 12,5 e 14,5% PB; comparação entre M (12,5 % PB) e LH (nível oscilante de 10,5 a 14,5% PB a cada 48 h); comparação entre M (12,5 % PB) e LM (nível oscilante de 10,5 a 12,5% PB a cada 48 h); comparação entre M (12,5 % PB) e MH (nível oscilante de 12,5 a 14,5% PB a cada 48 h).

## Estudo 2

Nesse estudo, foram utilizados machos Nelore não castrados com idade média de  $20 \pm 1,0$  meses e PC inicial de  $330 \pm 8,1$  kg. Os animais foram aleatoriamente divididos em três grupos, aos quais foram destinados os tratamentos que consistiam em três níveis de PB na dieta: 10, 12 e

14% de PB. O experimento teve duração de 112 dias. Semelhantemente ao estudo 1, não foram observados efeitos dos níveis dietéticos de PB sobre o desempenho produtivo e características de carcaça de machos Nelore não castrados terminados em confinamento animal (Tabela 9.8).

Tabela 9.8 - Desempenho produtivo e características de carcaça de machos Nelore não castrados em terminação alimentados com três diferentes níveis de proteína bruta

Item	Conteúdo de proteína bruta			EPM	Contraste	
	10%	12%	14%		Linear	Quadrático
Peso corporal inicial (kg)	324	325	329	-	-	-
Peso corporal final (kg)	470	479	477	9,13	0,57	0,64
Ganho médio diário (kg/d)	1,30	1,50	1,50	0,06	0,64	0,53
Peso de carcaça quente (kg)	286	288	285	6,42	0,90	0,72
Espessura de gordura subcutânea (mm)	5,00	5,60	4,40	0,72	0,59	0,30
Rendimento de carcaça quente (%)	60,9	60,1	59,6	0,58	0,14	0,90

De acordo com Winschester et al. (1957), os níveis dietéticos de PB influenciam o GMD de animais em crescimento, embora o mesmo comportamento não seja observado para animais em terminação. Isso ocorre porque as exigências de proteína diminuem à medida que os animais atingem a maturidade (NRC, 2000), época que passam a depositar mais gordura, aumentando a relação gordura/músculo na carcaça.

No entanto, os confinamentos brasileiros normalmente adotam níveis de PB que variam de 11 a 15%, com valores médios de 13,6% PB

(Pinto e Millen, 2018), baseado no fato de que níveis mais altos de PB estimulam o consumo e estão relacionados a elevados ganho de peso (Véras et al., 2007). No entanto, Menezes et al. (2016) demonstraram que o CMS não é afetado pelos níveis de proteína da dieta e a redução dos teores de PB durante a fase de terminação contribui para a redução dos custos com alimentação. Segundo esses autores, o consumo excessivo de PB na dieta de 14% PB em relação a dieta de 10% PB foi de 330 g/dia, o que equivale a 733 gramas de farelo de soja que poderiam ser

economizados por animal diariamente. Assim, a redução dos teores de PB nas dietas é possível e viável, principalmente durante a fase de terminação, reduzindo os custos com a alimentação.

Com base nesses experimentos, a atual edição do BR-CORTE sugere que dietas contendo 10,5 e 12,5% de PB, ou dentro dessa faixa, são indicadas se o objetivo for a produção de machos não castrados super precoces em confinamento. Além disso, não foi detectada diferença no desempenho animal entre machos Nelore não castrados mais maduros, com PC inicial de 330 kg, em terminação alimentados com dietas contendo 10, 12 ou 14% de PB, (Menezes et al., 2016).

### EXIGÊNCIAS DE AMINOÁCIDOS

Modelos nutricionais evoluíram do conceito básico de PB (NRC, 1976; ARC, 1965) para sistemas mais complexos baseados em PDR e PNDR (ARC, 1980; INRA, 1988; NASEM, 2016; BR-CORTE, 2016). No entanto, AA, e não a proteína em si, são os nutrientes exigidos pelos animais. Portanto, seria mais apropriado usar AA em vez do conceito de PB para atender as exigências de manutenção e produção de bovinos ao formular dietas. Além disso, a formulação de dietas utilizando as exigências de AA pode contribuir para reduzir o teor de proteína das dietas de bovinos de corte, sem afetar negativamente o desempenho animal, resultando na redução da ingestão de proteína, custos de alimentação e excreção de compostos nitrogenados para o ambiente.

Apesar do progresso considerável na modelagem da síntese de proteína microbiana (NASEM, 2016) e digestibilidade dos AA (Tamminga e Oldham, 1980; Mariz et al., 2018), avanços limitados aconteceram com relação ao metabolismo intermediário de AA e, especialmente, às exigências líquidas de AA para ruminantes (Tedeschi et al., 2015; Schwab e Broderick, 2017; Amaral et al., 2021). Assim, modelos preditivos robustos precisam ser desenvolvidos para estimar as exigências líquidas e metabolizáveis de AA para bovinos, o que permitiria balancear dietas tanto para os microrganismos ruminais quanto para o animal hospedeiro.

Poucas informações sobre as exigências de AA para ruminantes estão disponíveis na

literatura. No CNCPS (O'Connor et al., 1993), as exigências de AA de ruminantes são baseadas nas exigências de PL e no perfil de AA dos tecidos corporais (Titgemeyer e Loest, 2001). No entanto, a eficiência com que AA absorvidos são utilizados para retenção de proteína é de difícil acesso (NASEM, 2016), e existem poucas e contraditórias estimativas. De acordo com o AFRC (1993), a eficiência do uso dos AA para ganho de peso é de 59% para todos os AA essenciais (AAE), enquanto o BR-CORTE (BR-CORTE, 2016) sugeriu 47,4% como eficiência de utilização da PM, o que é próximo ao valor de 49% sugerido pelo NASEM (2016). Apesar desses sistemas adotarem um único valor de eficiência para o uso dos AA, estudos recentes mostraram que existem diferenças entre os AA individuais (Titgemeyer et al., 1990; Löest et al., 2002; Batista et al., 2016).

Nesse contexto, Amaral et al. (2021) e Mariz et al. (2018) desenvolveram dois estudos complementares, os quais tinham por objetivo 1) avaliar o teor de AA no peso de corpo vazio e estimar as exigências líquidas de AA e energia para ganho de peso de machos Nelore e Angus  $\times$  Nelore (A  $\times$  N) não castrados; 2) determinar a digestibilidade intestinal aparente e verdadeira dos AA totais e individuais e estimar a eficiência da retenção de AA corporal a partir dos AA individuais e totais absorvidos.

Dados sobre as exigências de AA na literatura são escassos, especialmente para bovinos de corte. Além disso, os dados utilizados por Amaral et al. (2021) e Mariz et al. (2018) foram obtidos em condições produtivas brasileiras. Portanto, os trabalhos acima mencionados servirão de base para as exigências líquidas e metabolizáveis de AA incorporados à edição atual desta publicação.

O conteúdo de cada AA e PB (kg) no corpo vazio e as exigências líquidas de AA foram descritos na forma de equações por Amaral et al. (2021). O banco de dados deste estudo incluiu dados de 48 machos não castrados (24 Nelore e 24 A  $\times$  N) alimentados com dietas contendo diferentes teores de PB (100, 120 e 140 g PB/kg MS) em um experimento de abate comparativo. Considerando que não foram encontradas diferenças entre os grupos genéticos avaliados, uma única equação foi obtida para estimar o conteúdo individual de AA no corpo vazio e as exigências líquidas dos AA individuais para ganho

de peso (g/kg GPCVZ e g/100 g PB) para machos não castrados Nelore e A × N (Tabela 9.9).

As equações para estimar as exigências líquidas de lisina (Lis) e metionina (Met; g/100 g de PB) propostas por Amaral et al. (2021) foram:  $Lis = 5,09 \times PCVZ^{0,0594}$  e  $Met = 1,73 \times PCVZ^{0,0255}$ . Considerando um macho não castrado com um PCVZ de 350 kg, as exigências líquidas de Lis e Met calculadas por essas equações foram 7,20 e 2,01 g/100 g PB, respectivamente.

As equações para estimar as exigências líquidas de lisina (Lis) e metionina (Met; g/kg PCVZ) propostas por Amaral et al. (2021) foram:  $Lis = 15,9 \times PCVZ^{-0,0464}$  e  $Met = 5,43 \times PCVZ^{-0,0803}$ .

<sup>0,0803</sup>. Silva et al. (2002) relataram valores de exigências líquidas de Lis e Met para ganho de peso de machos Nelore não castrados (GPCVZ = 1 kg/dia e PC = 350 kg) de 10,36 e 3,54 g/dia, respectivamente. Da mesma forma, as exigências líquidas de Lis e Met para ganho de peso estimadas para machos Holandês castrados, as quais foram baseadas na composição corporal de AA observada por Ainslie et al. (1993), foram 10,71 e 3,69 g/d. Os valores obtidos nestes estudos foram próximos aos descritos por Amaral et al. (2021) de 12,11 e 3,39 g/dia para as exigências líquidas de Lis e Met, respectivamente.

Tabela 9.9 - Composição de aminoácidos expressa para 100 gramas de proteína bruta no corpo vazio e exigências líquidas de aminoácidos para ganho de peso de machos não castrados Nelore e Angus × Nelore<sup>1</sup>, adaptada de Amaral et al. (2021)

Aminoácidos	Composição corporal (kg)	R <sup>2</sup>	Exigências líquidas para ganho	
			g/kg GPCVZ	g/100 g de PB
PB, g/dia	$0,3501 \times PCVZ^{0,8942}$	0,96	$313,1 \times PCVZ^{-0,1058}$	100
<b>Aminoácidos essenciais, g/100 g PB</b>				
Arginina	$0,0368 \times PCVZ^{0,8369}$	0,94	$30,8 \times PCVZ^{-0,1631}$	$9,84 \times PCVZ^{-0,0573}$
Histidina	$0,0035 \times PCVZ^{1,0556}$	0,91	$3,69 \times PCVZ^{0,0556}$	$1,18 \times PCVZ^{0,1614}$
Isoleucina	$0,0102 \times PCVZ^{0,9369}$	0,93	$9,56 \times PCVZ^{-0,0631}$	$3,05 \times PCVZ^{0,0427}$
Leucina	$0,0239 \times PCVZ^{0,9003}$	0,95	$21,5 \times PCVZ^{-0,0997}$	$6,87 \times PCVZ^{0,0061}$
Lisina	$0,0167 \times PCVZ^{0,9536}$	0,93	$15,9 \times PCVZ^{-0,0464}$	$5,09 \times PCVZ^{0,0594}$
Metionina	$0,0059 \times PCVZ^{0,9197}$	0,88	$5,43 \times PCVZ^{-0,0803}$	$1,73 \times PCVZ^{0,0255}$
Fenilalanina	$0,0096 \times PCVZ^{0,9370}$	0,94	$8,98 \times PCVZ^{-0,0630}$	$2,87 \times PCVZ^{0,0428}$
Treonina	$0,0102 \times PCVZ^{0,9349}$	0,94	$9,54 \times PCVZ^{-0,0651}$	$3,05 \times PCVZ^{0,0407}$
Triptofano	$0,0016 \times PCVZ^{0,9698}$	0,84	$1,57 \times PCVZ^{-0,0302}$	$0,50 \times PCVZ^{0,0756}$
Valina	$0,0099 \times PCVZ^{0,9751}$	0,90	$9,61 \times PCVZ^{-0,0249}$	$3,07 \times PCVZ^{0,0809}$
<b>Aminoácidos não-essenciais, g/100 g PB</b>				
Alanina	$0,0421 \times PCVZ^{0,8115}$	0,93	$34,2 \times PCVZ^{-0,1885}$	$10,9 \times PCVZ^{-0,0827}$
Ácido aspártico	$0,0267 \times PCVZ^{0,8751}$	0,73	$23,4 \times PCVZ^{-0,1249}$	$7,46 \times PCVZ^{-0,0191}$
Cistina	$0,0016 \times PCVZ^{1,0111}$	0,85	$1,64 \times PCVZ^{0,0111}$	$0,52 \times PCVZ^{0,1169}$
Ácido glutâmico	$0,0416 \times PCVZ^{0,9058}$	0,91	$37,7 \times PCVZ^{-0,0942}$	$12,0 \times PCVZ^{0,0116}$
Glicina	$0,1134 \times PCVZ^{0,7291}$	0,84	$82,7 \times PCVZ^{-0,2709}$	$26,4 \times PCVZ^{-0,1651}$
Prolina	$0,0632 \times PCVZ^{0,7550}$	0,86	$47,7 \times PCVZ^{-0,2450}$	$15,2 \times PCVZ^{-0,1392}$
Serina	$0,0189 \times PCVZ^{0,8491}$	0,95	$16,0 \times PCVZ^{-0,1509}$	$5,13 \times PCVZ^{-0,0451}$
Tirosina	$0,0069 \times PCVZ^{0,9474}$	0,91	$6,53 \times PCVZ^{-0,0526}$	$2,09 \times PCVZ^{0,0532}$

<sup>1</sup>PCVZ = peso de corpo vazio; GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio.

Para converter as exigências líquidas dos AA individuais e totais em exigências metabolizáveis de AA, as eficiências de retenção dos AA individuais e totais devem ser estimadas. Tais eficiências foram estimadas por Mariz et al (2018) por meio de uma regressão linear entre a quantidade de AA individuais e totais absorvidas

(g/dia) e suas respectivas retenções corporais (g/dia). Para isso, Mariz et al. (2018) utilizaram dados de dois estudos. No estudo 1, a digestibilidade intestinal e a absorção diária total e individual de AA foram estimadas em um ensaio de digestão (para mais detalhes, consulte Mariz et al., 2018). Os dados do estudo 2 foram

compostos pela eficiência de utilização individual e total de AA para a retenção de proteína corporal anteriormente descrita no estudo complementar de Amaral et al. (2021).

A digestibilidade intestinal verdadeira de AA foi obtida pelo modelo de regressão linear ajustado entre o AA absorvido no intestino delgado e seu respectivo fluxo omasal. O intercepto da equação representou as perdas endógenas, e a inclinação representou a

digestibilidade verdadeira do AA dietético (Tabela 9.10) ou AA microbiano (Tabela 9.11). A digestibilidade intestinal verdadeira dos AA totais foi de 75% e as perdas endógenas foram de 17,18 g/dia. A digestibilidade intestinal verdadeira dos AAE individuais variou de 72% para treonina a 86% para metionina, enquanto variou de 67% para tirosina a 85% para cistina, considerando os AA não essenciais (AANE). A digestibilidade intestinal verdadeira da Lis foi de 77%.

Tabela 9.10 - Digestibilidade intestinal verdadeira de aminoácidos, adaptada de Mariz et al. (2018)

Item	Equações <sup>1</sup>	DIV <sup>2</sup>
Aminoácidos totais	$\hat{Y} = -17,18 + 0,75X$	75
Aminoácidos essenciais	$\hat{Y} = -8,14 + 0,77X$	77
Aminoácidos não essenciais	$\hat{Y} = -9,29 + 0,74X$	74
<b>Aminoácidos essenciais</b>		
Arginina	$\hat{Y} = -0,76 + 0,81X$	81
Histidina	$\hat{Y} = -0,47 + 0,83X$	83
Isoleucina	$\hat{Y} = -0,87 + 0,77X$	77
Leucina	$\hat{Y} = -1,78 + 0,79X$	79
Lisina	$\hat{Y} = -1,70 + 0,77X$	77
Metionina	$\hat{Y} = -0,38 + 0,86X$	86
Fenilalanina	$\hat{Y} = -1,21 + 0,78X$	78
Treonina	$\hat{Y} = -1,65 + 0,72X$	72
Triptofano	$\hat{Y} = -0,56 + 0,82X$	82
Valina	$\hat{Y} = -1,69 + 0,76X$	76
<b>Aminoácidos não essenciais</b>		
Alanina	$\hat{Y} = -1,97 + 0,74X$	74
Ácido aspártico	$\hat{Y} = -1,08 + 0,81X$	81
Cistina	$\hat{Y} = -1,41 + 0,85X$	85
Ácido glutâmico	$\hat{Y} = -1,91 + 0,75X$	75
Glicina	$\hat{Y} = -2,59 + 0,71X$	71
Prolina	$\hat{Y} = -2,23 + 0,73X$	73
Serina	$\hat{Y} = -1,30 + 0,76X$	76
Tirosina	$\hat{Y} = -0,05 + 0,67X$	67

<sup>1</sup> $\hat{Y}$  = aminoácido absorvido no intestino delgado (g/dia); X = aminoácido no fluxo omasal.

<sup>2</sup>Digestibilidade intestinal verdadeira (%).

A digestibilidade intestinal verdadeira de AA microbianos totais obtido neste estudo foi de 80% (Tabela 9.11), que é semelhante ao valor de 80% adotado para proteína microbiana em alguns sistemas de alimentação como o NASEM (2016) e a edição anterior desta publicação (BR-CORTE, 2016). No entanto, ao considerar a digestibilidade intestinal verdadeira de AA individuais, esses valores variaram substancialmente. A arginina e a tirosina microbianas apresentaram os maiores valores de digestibilidade verdadeira (arginina = 85% e tirosina = 89%) entre os AAE e AANE, respectivamente. As digestibilidades intestinais

estimadas de Lis e Met microbianas foram de 84 e 80%, respectivamente.

As eficiências de retenção de AA individuais e totais estimadas por Mariz et al. (2018) estão descritas na Tabela 9.12. O intercepto da equação representou as perdas endógenas e a inclinação representou a eficiência de retenção de AA.

A eficiência de utilização de AA totais obtida neste estudo foi de 40%, enquanto as eficiências de utilização de AAE e AANE foram de 38% e 42%, respectivamente.

Tabela 9.11 - Digestibilidade intestinal verdadeira de aminoácidos microbianos, adaptada de Mariz et al. (2018)

Item	Equações <sup>1</sup>	DIV <sup>2</sup>
Aminoácidos totais	$\hat{Y} = -21,27 + 0,80X$	80
Aminoácidos essenciais	$\hat{Y} = -10,87 + 0,82X$	82
Aminoácidos não essenciais	$\hat{Y} = -10,62 + 0,79X$	79
<b>Aminoácidos essenciais</b>		
Arginina	$\hat{Y} = -1,34 + 0,85X$	85
Histidina	$\hat{Y} = -0,60 + 0,79X$	79
Isoleucina	$\hat{Y} = -1,97 + 0,83X$	83
Leucina	$\hat{Y} = -3,19 + 0,84X$	84
Lisina	$\hat{Y} = -0,60 + 0,84X$	84
Metionina	$\hat{Y} = -0,36 + 0,80X$	80
Fenilalanina	$\hat{Y} = -1,60 + 0,81X$	81
Treonina	$\hat{Y} = -0,67 + 0,79X$	79
Triptofano	-	-
Valina	$\hat{Y} = -1,03 + 0,79X$	79
<b>Aminoácidos não essenciais</b>		
Alanina	$\hat{Y} = -1,62 + 0,75X$	75
Ácido aspártico	$\hat{Y} = -0,79 + 0,81X$	81
Cistina	$\hat{Y} = -0,43 + 0,70X$	70
Ácido glutâmico	$\hat{Y} = -3,20 + 0,76X$	76
Glicina	$\hat{Y} = -1,55 + 0,81X$	81
Prolina	$\hat{Y} = -2,54 + 0,87X$	87
Serina	$\hat{Y} = -1,21 + 0,83X$	83
Tirosina	$\hat{Y} = -0,87 + 0,89X$	89

<sup>1</sup> $\hat{Y}$  = aminoácido absorvido no intestino delgado (g/dia); X = aminoácido no fluxo omasal.

<sup>2</sup>Digestibilidade intestinal verdadeira (%).

Tabela 9.12 - Eficiência de utilização de aminoácidos individuais absorvidos para deposição corporal, adaptada de Mariz et al. (2018)

Item	Equações <sup>1</sup>	Eficiência (%)
Aminoácidos totais	$\hat{Y} = -36,67 + 0,40X$	40
Aminoácidos essenciais	$\hat{Y} = -17,43 + 0,38X$	38
Aminoácidos não essenciais	$\hat{Y} = -18,80 + 0,42X$	40
<b>Aminoácidos essenciais</b>		
Arginina	$\hat{Y} = -2,17 + 0,56X$	56
Histidina	$\hat{Y} = -1,42 + 0,62X$	62
Isoleucina	$\hat{Y} = -1,41 + 0,30X$	30
Leucina	$\hat{Y} = -3,36 + 0,30X$	30
Lisina	$\hat{Y} = -2,28 + 0,37X$	37
Metionina	$\hat{Y} = -0,37 + 0,58X$	58
Fenilalanina	$\hat{Y} = -1,57 + 0,31X$	31
Treonina	$\hat{Y} = -1,42 + 0,34X$	34
Triptofano	$\hat{Y} = -0,18 + 0,39X$	39
Valina	$\hat{Y} = -2,55 + 0,40X$	40
<b>Aminoácidos não essenciais</b>		
Alanina	$\hat{Y} = -1,25 + 0,35X$	35
Ácido aspártico	$\hat{Y} = -3,65 + 0,26X$	26
Cistina	$\hat{Y} = -0,14 + 0,18X$	18
Ácido glutâmico	$\hat{Y} = -4,57 + 0,67X$	67
Glicina	$\hat{Y} = -0,68 + 0,63X$	63
Prolina	$\hat{Y} = -0,40 + 0,43X$	43
Serina	$\hat{Y} = -1,16 + 0,31X$	31
Tirosina	$\hat{Y} = -0,88 + 0,26X$	26

<sup>1</sup> $\hat{Y}$  = AA absorvidos (g/dia); X = Retenção de AA no corpo vazio.

Considerando um macho não castrado com PCVZ de 350 kg, os valores das exigências metabolizáveis de Lis e Met, estimados com base nas recomendações de Amaral et al. (2021) para exigências líquidas de Lis (7,20 g/100 g PB) e Met (2,01 g/100 g PB) e seus respectivos valores de eficiência de uso (Lis = 37%; Met = 58%) relatados anteriormente por Mariz et al. (2018), foram: 19,47 e 3,47 g/100 g de PB, respectivamente.

Ressalta-se que Mariz et al. (2018) encontraram diferenças na eficiência de retenção de AA totais e individuais. Além disso, arginina (56%), histidina (62%) e metionina (58%) apresentaram as maiores estimativas de eficiência de retenção entre os AAE. Para os AANE, ácido glutâmico (67%) e glicina (63%) apresentaram as maiores estimativas de eficiência de retenção. Essa discrepância entre os AA sugere que existem diferenças na eficiência com que os diferentes AA são utilizados para a produção de carne. Desta forma, o uso de um único coeficiente para a utilização de AA totais não seria adequado sob o conceito de alimentação de precisão.

Os estudos citados acima (Amaral et al., 2021; Mariz et al., 2018) permitem que os

usuários do BR-CORTE estimem as exigências de AAE e AANE de bovinos de corte criados em condições tropicais. No entanto, as características únicas do metabolismo intermediário, além da complexa transformação dos alimentos durante a fermentação ruminal, e as dificuldades para se determinar os AA disponíveis para absorção no duodeno, ainda representam um desafio para formular dietas baseadas nas exigências de AA para bovinos. Devido a esses desafios, as estimativas das exigências de AA foram recomendadas como um guia e devem ser usadas de acordo com o sistema de alimentação.

### RESUMO DAS EXIGÊNCIAS DE PROTEÍNA E AMINOÁCIDOS

Nas Tabelas 9.13 e 9.14, são apresentadas as equações que foram utilizadas para estimar as exigências de proteína para animais zebuínos, cruzados de corte e cruzados de leite de diferentes classes sexuais, criados em confinamento ou pasto. Na Tabela 9.15, são apresentadas as exigências de AA metabolizáveis para ganho (g/kg GPCZ) para animais de diferentes PCVZ.

Tabela 9.13 - Resumo das equações utilizadas para converter peso corporal e ganho médio diário em peso de corpo vazio e ganho de peso de corpo vazio de bovinos Zebu, cruzados de corte e cruzados de leite de três classes sexuais, criados em confinamento ou pasto

Item	Sistema	Grupo genético	Sexo	Equações	Unidade
PCJ		Zebuínos e Cruzados de corte		$0,8915 \times PC^{1,0151}$	kg
		Cruzados de leite		$0,9247 \times PC^{1,0085}$	
PCVZ	Confinamento	Zebuínos	Macho não castrado	$0,8126 \times PCJ^{1,0134}$	kg
			Macho castrado	$0,6241 \times PCJ^{1,0608}$	
			Fêmeas	$0,6110 \times PCJ^{1,0667}$	
		Cruzados de corte e Leite	Macho não castrado	$0,7248 \times PCJ^{1,0314}$	
			Macho castrado	$0,6586 \times PCJ^{1,0499}$	
			Fêmeas	$0,6314 \times PCJ^{1,0602}$	
Pasto			$0,8507 \times PCJ^{1,0002}$		
GPCVZ				$0,9630 \times GMD^{1,0151}$	kg/dia
PCVZeq		Zebuínos	Macho não castrado	$(PCVZ/517) \times 517$	kg
			Macho castrado	$(PCVZ/433) \times 517$	
			Fêmeas	$(PCVZ/402) \times 517$	
			Macho não castrado	$(PCVZ/560) \times 517$	
		Cruzados de corte	Macho castrado	$(PCVZ/482) \times 517$	
			Fêmeas	$(PCVZ/417) \times 517$	
			Macho não castrado	$(PCVZ/616) \times 517$	
			Macho castrado	$(PCVZ/616) \times 517$	
Cruzado de leite	Macho castrado	$(PCVZ/532) \times 517$			
	Fêmeas	$(PCVZ/493) \times 517$			

Tabela 9.14 - Resumo das equações utilizadas para estimar as exigências de proteína para bovinos de corte criados em confinamento ou pasto

Item	Sistema	Equações	Unidade
PMm	Confinamento	$3,6 \times PCJ^{0,75}$	g/dia
	Pasto	$3,9 \times PCJ^{0,75}$	
PLg		$PLg = 176,01 \times GPCVZ - 0,381 \times PCVZeq^{0,75} \times GPCVZ^{1,035}$	g/ dia
k		PCJ < 340 kg: $84,665 - 0,1179 \times PCVZeq$ PCJ > 340 kg: 47,4	%
PMg		PLg/k	g/ dia
PMtotal		PMm + PMg	g/ dia
PBmic		$- 53,07 + 304,9 \times CPB + 90,8 \times CNDT - 3,13 \times CNDT^2$	g/ dia
PDR		PBmic	g/ dia
PNDR		$(Pm - (PBmic \times 0,64))/0,80$	g/ dia
PB		PDR + PNDR	g/ dia

Assim, considerando um macho Nelore não castrado de 520 kg e ganho médio diário de 1,6 kg/dia criado em confinamento:

- $PCJ = 0,8915 \times PC^{1,0151} = 0,8915 \times 520^{1,0151} = 509,5$  kg
- $PCVZ = 0,8126 \times PCJ^{1,0134} = 0,8126 \times 509,5^{1,0134} = 450,1$  kg
- $GPCVZ = 0,963 \times GMD^{1,0151} = 0,963 \times 1,6^{1,0151} = 1,55$  kg/dia
- $PCVZeq = (PCVZ/517) \times 517 = (450,1/517) \times 517 = 450,1$  kg
- $PMm = 3,6 \times PCJ^{0,75} = 3,6 \times 509,5^{0,75} = 386,1$  g/dia
- $PLg = 176,01 \times GPCVZ - 0,381 \times PCVZeq^{0,75} \times GPCVZ^{1,035} = 176,01 \times 1,55 - 0,381 \times 450,1^{0,75} \times 1,55^{1,035} = 214,2$  g/dia
- $k = 47,4\%$
- $PMg = PLg/k = 214,2/0,474 = 451,9$  g/dia
- $PM\ total = PMm + PMg = 386,1 + 451,9 = 838$  g/dia
- $PBmic = - 53,07 + 304,9 \times CPB + 90,8 \times CNDT - 3,13 \times CNDT^2 = - 53,07 + 304,9 \times 1,215 + 90,8 \times 7,88 - 3,13 \times 7,88^2 = 838,5$  g/dia
- $PDR = PBmic = 838,5$  g/dia
- $PNDR = [Pm - (PBmic \times 0,64)]/0,80 = [838 - (838,5 \times 0,64)]/0,80 = 376,7$  g/dia
- $PB = PDR + PNDR = 838,5 + 376,7 = 1215$  g/dia

Tabela 9.15 - Exigências de aminoácidos metabolizáveis para ganho de machos Nelore e Angus × Nelore não castrados

Exigências	Eficiência de utilização (%) <sup>1</sup>	Peso de corpo vazio (kg)			
		250	350	450	550
<b>Aminoácidos essenciais (g/kg de ganho de peso de corpo vazio)</b>					
Arginina	56	22,35	21,16	20,31	19,65
Histidina	62	4,39	4,31	4,25	4,20
Isoleucina	30	22,59	22,11	21,76	21,49
Leucina	30	41,33	39,96	38,98	38,20
Lisina	37	33,26	32,75	32,37	32,07
Metionina	58	5,98	5,82	5,70	5,61
Fenilalanina	31	20,50	20,07	19,76	19,51
Treonina	34	19,50	19,08	18,77	18,53
Triptofano	39	3,47	3,44	3,41	3,39
Valina	40	20,92	20,74	20,61	20,51
<b>Aminoácidos não essenciais (g/kg de ganho de peso de corpo vazio)</b>					
Alanina	35	34,51	32,39	30,89	29,74
Ácido aspártico	26	45,16	43,30	41,96	40,92
Cistina	18	9,45	9,49	9,51	9,53
Ácido glutâmico	67	33,45	32,41	31,65	31,05
Glicina	63	29,41	26,85	25,08	23,76
Prolina	43	28,72	26,45	24,87	23,68
Serina	31	22,43	21,32	20,53	19,92
Tirosina	26	18,70	18,37	18,13	17,94

<sup>1</sup>Adaptada de Mariz et al. (2018).

## REFERÊNCIAS

- Agricultural and Food Research Council – AFRC. *Energy and Protein Requirements of Ruminants*. Wallingford, UK: Agricultural and Food Research Council. CAB International, 159p, 1993.
- Agricultural Research Council - ARC. *The nutrient requirements of farm livestock*. Londres, Inglaterra: Commonwealth Agricultural Bureau, 14-84, 1965.
- Ainslie, S. J.; Fox, D. G.; Perry, T. C.; Ketchen, D. J.; Barry, M. C. Predicting amino acid adequacy of diets fed to Holstein steers. *Journal of Animal Science*, 71:1312-1319, 1993.
- Amaral, P. D. M. (2016). *Performance and amino acids requirements of Nelore and crossbred Angus × Nelore fed diets with different crude protein content during growing and finishing stages*.
- Amaral, P. M. *Desempenho e exigências nutricionais de bovinos mestiços Holandês x zebu alimentados com dietas contendo diferentes níveis de proteína*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 69p, 2012.
- Amaral, P. M., Mariz, L. D. S., Zanetti, D., Santos, S. A., Pacheco, M. V. C., Pereira, J. M. V., ... & Valadares Filho, S. C. (2021). Metabolizable amino acids and energy requirements of Nelore and crossbred Angus × Nelore bulls fed rations of different crude protein concentrations. *Animal*, 15(1), 100036.
- Amaral, P. M.; Valadares Filho, S. C.; Detmann, E.; Santos, S. A.; Prados, L. F.; Mariz, L. D. S.; Alves, L. C.; Menezes, A. C. B.; Villadiago, F. A. C.; Novaes, M. A. S.; Silva, F. A. S. Effect of phase-feeding crude protein on performance and carcass characteristics of crossbred beef bulls: an application to reduce nitrogen compounds in beef cattle diets. *Tropical Animal Health and Production*. 46:419–425, 2014.
- Agricultural Research Council - ARC. *The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock*. London: Commonwealth Agricultural Bureau. The Gresham Press, 351 p, 1980.
- Appuhamy, J. A. D. R. N.; Nayananjalie, W. A.; England, E. M.; Gerrard, D. E.; Akers, R. M. Effects of AMP-activated protein kinase (AMPK) signaling and essential amino acids on mammalian target of rapamycin (mTOR) signaling and protein synthesis rates in mammary cells. *Journal of Dairy Science*, 97:419-429, 2014.
- Bach, A.; Calsamiglia, S.; Stern, M. D. Nitrogen metabolism in the rumen. *Journal of Dairy Science*, 88:E9-E21, 2005.
- Backes, A. A. *Composição corporal e exigências de energia, proteína e macro elementos minerais para bovinos mestiços leiteiros e zebu, castrados, em fase de recria e engorda, em confinamento*. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 97p, 2003.
- Batista, E. D.; Detmann, E.; Titgemeyer, E. C.; Valadares Filho, S. C.; Valadares, R. F. D.; Prates, L. L.; Rennó, L. N.; Paulino, M. F. Effects of varying ruminally undegradable protein supplementation on forage digestion, nitrogen metabolism, and urea kinetics in Nelore cattle fed low-quality tropical forage. *Journal of Animal Science*. 94:201–216, 2016.
- Blaxter, K. L.; Clapperton, J. L.; Wainman, F. W. Utilization of the energy and protein of the same diets by cattle of different ages. *Journal of Agriculture Science*. 67:67–75, 1966.
- Boin, C.; Leme, P. R.; Lanna, D. P. D. et al. Tourinhos Nelore em crescimento e acabamento. 2. Exigências de energia líquida de manutenção e eficiência de utilização da energia metabolizável para manutenção e crescimento. In: *Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, 1994, Maringá, Anais... Maringá: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 473, 1994.
- Boin, C. Alguns dados sobre exigências de energia e de proteína de zebuínos. In: Simpósio Internacional sobre Exigências Nutricionais de Ruminantes, 1995, Viçosa, MG. *Anais... Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa*, 457-465, 1995.
- Boye, J.; Wijesinha-Bettoni, R.; Burlingame, B. Protein quality evaluation twenty years after the introduction of the protein digestibility corrected amino acid score method. *British Journal of Animal Nutrition*, 108:83–211, 2012.
- 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.
- BR-CORTE. Valadares Filho, S. C.; Paulino, P. V. R.; Magalhães, K. A. *Exigências Nutricionais de Zebuínos e Tabelas de Composição de Alimentos – BR-CORTE*. 1. ed. – Viçosa: UFV, DZO. 142p. 2006.

- Cavalcante, M. A. B.; Pereira, O. G.; Valadares Filho, S. C.; Ribeiro, K. G. Crude protein levels in diets of beef cattle: intake and apparent total tract, intestinal, and ruminal digestibilities of nutrients. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 14:711-719, 2005.
- Cervieri, R. C.; Arrigoni, M. B.; Oliveira, H. N.; Silveira, A. C.; Chardulo, L. A. L.; Costa, C.; Martins, C. L. Desempenho e Características de Carcaça de Bezerros Confinados Recebendo Dietas com Diferentes Degradabilidades da Fração Protéica. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 30:1590–1599, 2001.
- Chizzotti, M. L. *Avaliação da casca de algodão para novilhos de origem leiteira e determinação da excreção de creatinina e produção de proteína microbiana em novilhas e vacas leiteiras*. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2004. 132p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 2004.
- Commonwealth Scientific And Industrial Research Organization – CSIRO. *Nutrient requirements of domesticated ruminants*. Victoria: Australia Agricultural Council. 270p, 2007.
- Costa e Silva, L.F. *Exigências nutricionais, validação de equações para a estimação da composição do corpo vazio e uso da creatinina para estimar a proporção de tecido muscular em bovinos Nelore*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 126p, 2011.
- Costa e Silva, L. F.; Valadares Filho, S. C.; Detmann, E.; Rotta, P. P.; Zanetti, D.; Villadiego, F. A. C.; Pellizzoni, S. G.; Pereira, R. M. G. Performance, growth, and maturity of Nelore bulls. *Tropical Animal Health and Production*. 45:795–803, 2013.
- Costa e Silva, L. F. *Mineral requirements for Nelore cattle and equations to predict milk yield and dry matter intake for lactating Nelore cows and suckling Nelore calves*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 125 p, 2015.
- Costa e Silva, L.F., Valadares Filho, S.C., Benedeti, P. D. B., Detmann, E., Menezes, A. B., Silva, T. E., & de Sales Silva, F. A. (2020). Development of an equation to predict net protein requirements for the growth of Zebu beef cattle. *Animal*, 14(5), 963-972.
- Ezequiel, J. M. B. *Exigências de proteína e minerais de bovídeos: frações endógenas*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 131p, 1987.
- Ferreira, M. A. *Desempenho, exigências nutricionais e eficiência de utilização da energia metabolizável para ganho de peso de bovinos F1 Simental x Nelore*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 97 p, 1997.
- Ferreira, M. A., Valadares Filho, S. C.; Coelho Da Silva, J. F.; Paulino, M. F. Valadares, R. F. D.; Cecon, P. R.; Muniz, E. B. Composição corporal e exigências líquidas de proteína e energia para ganho de peso de bovinos F1 Simental X Nelore. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 28:352-360, 1999.
- Fontes, C. A. A. Composição corporal, exigências líquidas de nutrientes para ganho de peso e desempenho produtivo de animais zebuínos e mestiços europeu-zebu. Resultados experimentais. In: Simpósio Internacional sobre Exigências Nutricionais de Ruminantes, Viçosa, MG. *Anais...* Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 419-455, 1995.
- Galyean, M. L. Invited review: Nutrient requirements of ruminants: Derivation, validation and application. *The Professional Animal Scientist*, 30:125-128, 2014.
- Galvão, J. G. C. *Estudo da eficiência nutritiva, características e composição física da carcaça de bovinos de três grupos raciais, abatidos em três estágio de maturidade*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 82p, 1991.
- Garret, W. N.; Meyer, J. H.; Lofgreen, J. P. The comparative energy requirements of sheep and cattle for maintenance and gain. *Journal of Animal Science*, 18:528-547, 1959.
- Garret, W. N. Factor influencing energetic efficiency of beef production. *Journal of Animal Science*, 51:1434- 1440, 1980.
- Geay, Y. Energy and protein utilization in growing cattle. *Journal of Animal Science*, 58:766-778, 1984.
- Gionbelli, M. P.; Valadares Filho, S. C.; Detmann, E.; Paulino, P. V. R.; Valadares, R. F. D.; Santos, T. R.; Costa e Silva, L. F.; Magalhães, F. A. Intake performance, digestibility, microbial efficiency and carcass characteristics of growing Nelore heifers fed two concentrate levels. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41:1243–1252, 2012.
- Institut National De La Recherche Agronomique – INRA. *Alimentation des bovines, ovins, et caprins*. Paris, FR:INRA, 192p, 1989.

- Jorge, A. M. *Ganho de peso, conversão alimentar e características de carcaça de bovinos e bubalinos*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 97p, 1993.
- Lana, R. P.; Fontes, C. A. A.; Peron, A. J.; Paulino, M. F.; Queiroz, A. C.; Silva, D. J. Composição corporal e do ganho de peso e exigências de energia, proteína e macro elementos minerais (Ca, P, Mg, Na e K), de novilhos de cinco grupos raciais. 2. Exigências de energia e proteína. *Revista Sociedade Brasileira Zootecnia*, 21:528-537, 1992.
- Lazzarini, I.; Detmann, E.; Sampaio, C. B.; Paulino, M. F.; Valadares Filho, S. C.; Souza, M. A.; Oliveira, F. A. Intake and digestibility in cattle fed low-quality tropical forage and supplemented with nitrogenous compounds. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38:2021–2030, 2009.
- Leonel, F. P. *Exigência nutricionais em macronutrientes minerais (Ca, P, Mg, Na e K) para novilhos de diferentes grupos zootécnicos*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 53 p, 2003.
- Löest, C. A., Coetzer, C. M., Titgemeyer, E. C., & Drouillard, J. S. (2002). *Effect of hydrogen peroxide on protein degradation of feather meal*.
- Machado, P. A. S. *Desempenho produtivo e exigências nutricionais de bovinos de corte em pastagem de brachiaria decumbens, suplementados no período de transição águas-secas*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 73 p, 2009.
- Marcondes, M. I. *Desempenho de bovinos Nelore alimentados individualmente ou em grupo, exigências nutricionais e avaliação proteica de alimentos para ruminantes*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 36 p, 2007.
- Marcondes, M. I.; Valadares Filho, S. C.; Oliveira, I. M., Valadares, R. F. D.; Paulino, M. F.; Prados, L.F. Exigências nutricionais de animais Nelore puros e cruzados com as raças Angus e Simental. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40:2235-2243, 2011.
- Marcondes, M. I.; Tedeschi, L. O.; Valadares Filho, S. C.; Gionbelli, M. P. Predicting efficiency of use of metabolizable energy to net energy for gain and maintenance of Nelore cattle. *Journal of Animal Science*, 91:4887-4898, 2013.
- Marcondes, M.I; da Silva, A.L; Gionbelli, M.P. and Valadares Filho, S.C . 2016. *Energy requirements for beef cattle*. In Nutrient requirements of Zebu and crossbred cattle (ed. SC Valadares Filho, LF Costa e Silva, MP Gionbelli, PP Rotta, MI Marcondes, ML Chizzotti and LF Prados), pp. 157–184. Suprema Grafica Ltda, Viçosa, MG, Brazil.
- Mariz, L. D. S., Amaral, P. M., Valadares Filho, S. C., Santos, S. A., Detmann, E., Marcondes, M. I., ... & Faciola, A. P. (2018). Dietary protein reduction on microbial protein, amino acid digestibility, and body retention in beef cattle: 2. Amino acid intestinal absorption and their efficiency for whole-body deposition. *Journal of Animal Science*, 96(2), 670-683.
- Martins, R. G. R. *Exigências de energia, proteína e macro elementos minerais (Ca, P, Mg, Na e K) de bovinos Nelore e mestiços, não castrados, em confinamento*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 78 p, 2003.
- Menezes, A. C. B. *Use of <sup>15</sup>N to estimate microbial contamination and protein degradation of concentrate feeds and the effect of decreasing dietary crude protein on methane emission and nitrogen losses in Nellore bulls*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 89 p, 2016.
- Menezes, A. C. B., Valadares Filho, S.C., Pucetti, P., C. Pacheco, M. V, Godoi, L. A., Zanetti, D., Alhadas, H. M; Paulino, M. F, Caton, J. S. Oscillating and static dietary crude protein supply: II. Energy and protein requirements of young Nellore bulls. *Translational Animal Science*, v. 3, p. 1216-1226, 2019.
- 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.; Rennó, L. N. Does a reduction in dietary crude protein content affect performance, nutrient requirements, nitrogen losses, and methane emissions in finishing Nellore bulls? *Agriculture Ecosystem and Environment*. 223:239–249, 2016.
- Moraes, E. H. B. K. *Desempenho e exigências de energia, proteína e minerais de bovinos de corte em pastejo, submetidos a diferentes estratégias de suplementação*. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 136 p, 2006.

- NASEM. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2016. *Nutrient requirements of beef cattle*. 8th revised edition. National Academy Press, Washington DC, USA.
- National Research Council – NRC. *Ruminant Nitrogen Usage*. Washington, DC: National Academy Press, 138 p, 1985.
- National Research Council – NRC. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. 6th. edition. Washington, DC: National Academy Press, 90 p, 1984.
- National Research Council – NRC. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. Updated 7th. edition. Washington, DC: National Academy Press, 242p, 2000.
- National Research Council (US). Subcommittee on Beef Cattle Nutrition. (1976). *Nutrient requirements of beef cattle* (Vol. 5). National Academy of Sciences.
- O'Connor, J. D., C. J. Sniffen, D. G. Fox, and W. Chalupa. 1993. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: IV. Predicting amino acid adequacy. *Journal Animal Science*. 71:1298–1311.
- Oldham, J. D. Efficiencies of amino acid utilization. In: Jarrige, R.; Alderman, G.(Ed). *Feed Evaluation and Protein Requirement Systems for Ruminants*. Brussels: Commission of the European Communities, 171-186, 1987.
- Paixão, M. L. *Desempenho produtivo e exigências nutricionais de bovinos de corte em pastagens de brachiaria decumbens com suplementação proteica*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 110p, 2009.
- Paula, N. F. *Beef cattle growth in the grazing/supplement system receiving different nutritional plans*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 130p, 2012.
- Paulino, M. F. *Composição corporal e exigências de energia, proteína e macro elementos minerais (Ca, P, Mg, Na e K) de bovinos não-castrados de quatro raças zebuínas em confinamento*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 80 p, 1996.
- Paulino, M. F.; Fontes, C. A. A.; Jorge, A. M.; Gomes Jr., P. Composição corporal e exigências de energia e proteína para ganho de peso de bovinos de quatro raças zebuínas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 28:627-633, 1999.
- Paulino, P. V. R. *Exigências nutricionais e validação da seção HH para predição da composição corporal de zebuínos*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 158 p, 2002.
- Paulino, P. V. R. *Desempenho, composição e exigências nutricionais de bovinos Nelore de diferentes classes sexuais*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 167 p, 2006.
- Pinto, A. C. J., and D. D. Millen. 2019. Nutritional recommendations and management practices adopted by feedlot cattle nutritionists: The 2016 Brazilian survey. *Canadian Journal of Animal Science*. 99:392–407. doi:10.1139/cjas-2018-0031.
- Pinto, A. C., & Millen, D. D. (2018). Nutritional recommendations and management practices adopted by feedlot cattle nutritionists: the 2016 Brazilian survey. *Canadian Journal of Animal Science*, 99(2), 392-407.
- Pires, C. C.; Fontes, C. A. A.; Galvão, J. G. et al. Exigências nutricionais de bovinos de corte em acabamento. I. Composição corporal e exigências de proteínas para ganho de peso. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 22:110-120, 1993.
- Porto, M. O. *Multiples supplements to beef cattle in calves, growing and finishing, in pasture of Brachiaria decumbens*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 159 p, 2009.
- Prados, L. F. *Desempenho e exigências nutricionais de bovinos alimentados com dietas contendo diferentes níveis de cálcio e fósforo*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 96 p, 2012.
- 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.
- Prados, L. F.; Valadares Filho, S. C.; Detmann, E.; Zanetti, D.; Santos, S. A.; Sattler, D. F. T.; Mariz, L. D. S.; Borges, A. L. C. C.; Nunes, A. N.; Rodrigues, F. C.; Amaral, P. M. Energy and protein requirements of 3/4 Zebu x 1/4 Holstein crossbreds fed different calcium and phosphorus levels in the diet. *Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 67:555–563, 2015.

- Prates, L. L. *Utilização da  $^{15}N$  ureia infundida intravenosamente em bovinos nelore*. 64 p. Tese (Doutorado em Medicina Veterinária) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2015.
- Putrino, S.M. *Exigências de proteína e energia líquidas para o ganho de peso de tourinhos das raças Nelore e Brangus alimentados com dietas com diferentes proporções de concentrado*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade de São Paulo, 82 p, 2002.
- Rhoads, M. L.; Rhoads, R. P.; Gilbert, R. O.; Toole, R.; Butler, W. R. Detrimental effects of high plasma urea nitrogen levels on viability of embryos from lactating dairy cows. *Animal Reproduction Science*, 91:1-10, 2006.
- Rodrigues, F. C. *Turnover proteico, avaliação e predição da composição química da carcaça e e do corpo vazio de bovinos  $\frac{3}{4}$  Zebu x  $\frac{1}{4}$  Holandês*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 44 p, 2014.
- Rotta, P. P. *Desempenho produtivo, exigências nutricionais e avaliação de métodos para estimação de fluxo de digesta em bovinos alimentados com silagem de milho ou cana-de-açúcar*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 144 p, 2012.
- Russell, J. B.; O'Connor, J. D.; Fox, D. G.; Van Soest, P. J.; Sniffen, C. J. A Net Carbohydrate and Protein System for Evaluating Cattle Diets: I. Ruminant Fermentation. *Journal of Animal Science*, 70:3551-3561, 1992.
- Sales, M. F. L. *Performance and nutritional requirements of grazing Zebu cattle*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 128 p, 2009.
- Sampaio, C. B.; Detmann, E.; Paulino, M. F.; Valadares Filho, S. C.; Souza, M. A.; Lazzarini, I.; Paulino, P. V. R.; Queiroz, A. C. Intake and digestibility in cattle fed low-quality tropical forage and supplemented with nitrogenous compounds. *Tropical Animal Health and Production*, 42:1471–1479, 2010.
- Santos, S. A.; Campos, J. M.; Valadares Filho, S. C.; Oliveira, A. S.; Souza, S. M.; and Santiago, A. M. F. 2010. Balanço de nitrogênio em fêmeas leiteiras em confinamento alimentadas com concentrado à base de farelo de soja ou farelo de algodão. *Revista Brasileira de Zootecnia* 39: 1135-1140.
- Schwab, C. G., & Broderick, G. A. (2017). A 100-Year Review: Protein and amino acid nutrition in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 100(12), 10094-10112.
- Shahin, K. A.; Berg, R. T.; Price, M. A. The effect of breed type and castration on tissue growth patterns and carcass composition in cattle. *Livestock Production Science*, 35:251-264, 1993.
- Silva, F. F. *Desempenho, características de carcaça, composição corporal e exigências nutricionais (de energia, proteína, aminoácidos e macrominerais) de novilhos Nelore, nas fases de recria e engorda, recebendo diferentes níveis de concentrado e proteína*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 211 p, 2001.
- Silva, F. A. S. *Desempenho, produção de metano entérico, eficiência de utilização da energia, metabolismo proteico muscular e exigências nutricionais de novilhas holandês x zebu alimentadas com silagem de milho ou cana-de-açúcar*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 64 p, 2015.
- Silva, T. E.; Detmann, E.; Franco, M. O.; Palma, M. N. N.; Rocha, G. C. Evaluation of digestion procedures in Kjeldahl method to quantify total nitrogen in analyses applied to animal nutrition. *Acta Scientiarum – Animal Sciences*, 38:45-51, 2016.
- Sinclair, K. D.; Garnsworthy, P. C.; Mann, G. E.; Sinclair, L. A. Reducing dietary protein in dairy cow diets: implications for nitrogen utilization, milk production, welfare and fertility. *Animal – A major new International Journal of Animal Bioscience*, 8:262–274, 2014.
- Smuts, D. The relation between the basal metabolism and the endogenous nitrogen metabolism, with particular reference to the maintenance requirement of protein. *Journal of Nutrition*, 9:403-433, 1935.
- Souza, E. J. *Desempenho e exigências nutricionais de fêmeas Nelore, F1 Angus x Nelore e F1 Simental x Nelore em dietas contendo alto ou baixo nível de concentrado*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2011.
- Susmel, P.; Spanghero, M.; Stefanon, B.; Mills, C. R.; Plazzotta, E. N losses, purine N derivatives excretion and intestinal digestible protein requirements of cows for maintenance. *Livestock Production Science*, 36:213-222, 1993.

- Tamminga, S., & Oldham, J. D. (1980). Amino acid utilisation by dairy cows. II. Concept of amino acid requirements. *Livestock Production Science*, 7(5), 453-463.
- Tedeschi, L. O. 2006. Assessment of the adequacy of mathematical models. *Agric Syst.* 89:225–247. doi:10.1016/j.agsy.2005.11.004.
- Tedeschi, L. O., Fox, D. G., Fonseca, M. A., & Cavalcanti, L. F. L. (2015). Models of protein and amino acid requirements for cattle. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 44, 109-132.
- Tedeschi, L. O.; Boin, C.; Fox, D. G.; Leme, P. R.; Alleoni, G. F. ; Lanna, D. P. D. Energy requirement for maintenance and growth of Nelore bulls and steers fed high forage diets. *Journal of Animal Science*, 80:1671-1682, 2002.
- Titgemeyer, E. C., & Löest, C. A. (2001). Amino acid nutrition: Demand and supply in forage-fed ruminants. *Journal of Animal Science*, 79(suppl\_E), E180-E189.
- Titgemeyer, E. C.; Merchen, N. R. The effect of abomasal methionine supplementation on nitrogen retention of growing steers postruminally infused with casein or nonsulfur-containing amino acids. *Journal of Animal Science*, 68:750–757, 1990.
- Valadares, R. F. D.; Goncalvez, L. C.; Sampaio, I. B., Coelho da Silva, J. F. Protein levels in cattle diets. 2. Intake, digestibilities, and nitrogen balance. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 26:1259-1263, 1997.
- Veloso, C. M. *Composição corporal e exigências nutricionais de bovinos F1 Limousin x Nelore alimentados com rações contendo diferentes níveis de concentrado*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 109 p, 2001.
- Véras, A. S. C. *Consumo, digestibilidade, composição corporal e exigências nutricionais de bovinos Nelore alimentados com rações contendo diferentes níveis de concentrado*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 166 p, 2000.
- Véras, R. M. L.; Valadares Filho, S. C.; Valadares, R. F. D.; Rennó, L. N.; Paulino, P. V. R.; Souza, M. A. Balanço de compostos nitrogenados e estimativa das exigências de proteína de manutenção de bovinos Nelore de três condições sexuais. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36:1212-1217, 2007.
- Wilkerson, V. A.; Klopfenstein, T. J.; Britton, R. A.; Stock, R. A.; Miller, P. S. Metabolizable protein and amino acid requirements of growing cattle. *Journal of Animal Science*, 71:2777- 2784, 1993.
- Winchester, C. F.; Hiner, R. L.; and Scarborough, V. C. Some effects on beef cattle of protein and energy restriction. *Journal of Animal Science*, 16:426-436. 1957.
- Zanetti, D. (2017). *Mineral release from different feeds, mineral balance for Nelore bulls, and water intake prediction by beef cattle*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa.
- Zinn, R. A.; Owens, F. N. Influence of feed intake level on site of digestion in steers fed a high concentrate diet. *Journal of Animal Science*, 56:471-475, 1983.

