

UFRRJ
INSTITUTO DE MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MEDICINA
VETERINÁRIA

TESE

**Aspectos econômicos e produtivos de bovinos de corte
suplementados com diferentes tipos de misturas minerais
em relação ao seu teor de fósforo**

Samara de Paula Lopes

2020



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE MEDICINA VETERINÁRIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MEDICINA VETERINÁRIA**

**ASPECTOS ECONÔMICOS E PRODUTIVOS DE BOVINOS DE CORTE
SUPLEMENTADOS COM DIFERENTES TIPOS DE MISTURAS
MINERAIS EM RELAÇÃO AO SEU TEOR DE FÓSFORO**

SAMARA DE PAULA LOPES

Sob a Orientação da Professora
Marilene de Farias Brito Queiroz

e Co-orientação do Professor
Pedro Antônio Muniz Malafaia

Tese submetida como requisito parcial
para obtenção do grau de **Doutor em
Medicina Veterinária**, no Curso de
Pós-Graduação em Medicina
Veterinária, Área de Concentração
Ciências Clínicas.

Seropédica, RJ
Fevereiro 2020

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

L864a Lopes, Samara de Paula, 1991-
Aspectos econômicos e produtivos de bovinos de corte suplementados com diferentes tipos de misturas minerais em relação ao seu teor de fósforo. / Samara de Paula Lopes. - Rio Preto, 2020.
42 f.: il.

Orientadora: Marilene de Farias Brito Queiroz.
Coorientadora: Pedro Antonio Muniz Malafaia.
Tese(Doutorado). -- Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Programa Pós-Graduação em Medicina Veterinária , 2020.

1. Deficiência de fósforo. 2. Nutrição mineral de bovinos. 3. Aspectos econômicos da nutrição mineral de bovinos. 4. Aspectos produtivos da nutrição mineral de bovinos. 5. Misturas minerais. I. Queiroz, Marilene de Farias Brito , 1960-, orient. II. Malafaia, Pedro Antonio Muniz, 1966-, coorient. III Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Programa Pós-Graduação em Medicina Veterinária . IV. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE MEDICINA VETERINÁRIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MEDICINA VETERINÁRIA**

SAMARA DE PAULA LOPES

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Medicina Veterinária, no Programa Pós-Graduação em Medicina Veterinária** (Patologia e Ciências Clínicas) área de Concentração Ciências Clínicas.

TESE APROVADA EM 27/02/2020

Marilene de Farias Brito Queiroz (Ph.D) UFRRJ
(presidente)

Daniel Guimarães Ubiali (Ph.D) UFRRJ

Luciano da Silva Alonso (Ph.D) UFRRJ

Tiago da Cunha Peixoto (Ph.D) UFBA

José Diomedes Barbosa Neto (Ph.D) UFPA

DEDICO

A todos que contribuíram na minha formação profissional e pessoal.

“Passos curtos e na direção certa” Jürgen Döbereiner

AGRADECIMENTOS

Aos meus familiares, em especial meu pai Donizete e minha mãe Celia que sempre tiveram determinação e luta na minha formação.

Ao meu irmão que sempre estendeu a mão nas horas de indecisão e escolhas, me ajudando com seus sábios conselhos.

Ao querido companheiro Léo que, me ajudou, escutou meus medos e desesperos. Obrigado pelo carinho, a paciência e compreensão.

A todos os amigos, pelas alegrias, tristezas e dores compartilhadas. Com vocês, as pausas entre um parágrafo e outro melhoram tudo o que tenho produzido na vida.

Agradeço ao meu orientador Pedro Malafaia que, antes de tudo, considero um grande amigo. Obrigada por nunca me desamparar, sempre me apoiar e me orientar.

A querida professora Marilene, que muito me ensinou, me orientou e aconselhou. Seus conselhos nunca serão esquecidos, assim como todo o ensinamento compartilhado. Obrigada por toda paciência e dedicação.

A todos os amigos do Setor de Anatomia Patológica por toda ajuda e ensinamentos.

Aos meus queridos mestres que, durante toda minha jornada, me incentivaram e mostraram o melhor caminho a seguir.

Aos animais, em especial os bovinos, que sempre foram fonte de inspiração para o estudo e a pesquisa.

A todos os produtores/empreendedores rurais, que alimentam minha vontade de realizar pesquisas úteis para serem empregadas no campo.

"O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001"

BIOGRAFIA

Samara de Paula Lopes, filha, primogênita de Donizete Bastos Lopes e Celia Terezinha de Paula Lopes, nasceu no 2º dia de julho de 1991, na cidade de Rio Preto – MG. Em agosto de 2008, ingressou no ensino superior, no curso de Medicina Veterinária na Fundação Dom André Arcoverde (FAA – Valença-RJ), com conclusão no final de 2012. Foi bolsista de apoio técnico a pesquisa do CNPq, durante os meses de abril a agosto de 2013, na Embrapa Gado de Leite. Em agosto de 2013 ingressou no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e em 21 de julho de 2015, defendeu sua Dissertação de Mestrado intitulada “Uso de diferentes misturas minerais para vacas de corte: estudo de caso”. Em fevereiro de 2020 defendeu sua tese de Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Medicina Veterinária da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro intitulada “Aspectos econômicos e produtivos de bovinos de corte suplementados com diferentes tipos de misturas minerais em relação ao seu teor de fósforo”.

RESUMO

LOPES, Samara de Paula. **Aspectos econômicos e produtivos de bovinos de corte suplementados com diferentes tipos de misturas minerais em relação ao seu teor de fósforo.** 2020. 42p. Tese (Doutorado em Medicina Veterinária, Patologia e Ciências Clínicas, Medicina Veterinária). Instituto de Veterinária, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2020.

Este estudo foi dividido em duas épocas experimentais. O primeiro experimento (E1) ocorreu entre novembro de 2015 e agosto de 2017, com nulíparas bovinas e o segundo experimento (E2) entre maio de 2018 e outubro de 2019, com nulíparas e múltiparas bovinas; ambos em uma fazenda de gado de corte no município de Valença, RJ. Objetivou-se comparar duas misturas minerais (40gP/kg e 0gP/kg). Todas as matrizes, nos dois experimentos, estavam com prenhez confirmada. Durante o E1 foi realizada a subdivisão em dois grupos (40gP/kg e 0gP/kg), e todos os animais se submeteram a exame clínico nutricional periódico, teste da agulha, biópsias ósseas, pesagens, coleta de sangue, fezes, pastejo simulado, acompanhamento do consumo dos suplementos e pesagens dos bezerros aos 120 e 210 dias. Durante o E2 foi realizada a subdivisão dos grupos e acompanhamento clínico-nutricional, controle zootécnico, consumo e pesagens dos bezerros. O custo da mistura com 40gP/kg foi de R\$0,81 e o da 0gP/kg foi de R\$0,50, sendo a despesa com a suplementação mineral equivalente a 1,8% (2017, E1), 2,3% (2018, E1) e 1,3% (2019, E2) do custo operacional efetivo. O consumo do grupo 40gP/kg foi de 38,8g/UA/dia (E1) e 32,7g/UA/dia (E2); já o grupo 0gP/kg consumiu 25,7g/UA/dia (E1) e 28,5g/UA/dia (E2). Nenhuma matriz apresentou achados compatíveis com a deficiência de P. Durante todo o período experimental foram realizados a coleta de fezes e o pastejo simulado; os resultados demonstram que os bovinos do grupo 40gP/kg excretaram maior quantidade P no ambiente quando comparado aos bovinos que foram suplementados somente com NaCl e os resultados das concentrações de P na forragem mostram a similaridade do pastejo onde as matrizes foram alojadas, bem como a variação da concentração do P na forragem durante os meses avaliados. Portanto, a suplementação somente com NaCl foi eficiente para manutenção das vacas de todas as categorias, e apresentou menores custos. A fazenda, após o desenvolvimento do estudo, optou por suplementar o rebanho somente com NaCl.

Palavras-chave: primíparas, múltiparas, suplementação mineral

ABSTRACT

LOPES, Samara de Paula. **Economic and productive aspects of beef cattle supplemented with different types of mineral mixtures in relation to phosphorus content.** 2020. 42p. Thesis (Doctoral program Science in Pathology and Clinical Science, Veterinary Medicine). Instituto de Veterinária, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2020.

This study was divided into two experimental periods. The first experiment (E1) occurred between November 2015 and August 2017, with bovine nulliparous animals and the second experiment (E2) between May 2018 and October 2019, with nulliparous and multiparous bovines; both on a beef cattle farm in the municipality of Valença, RJ. The objective was to compare two mineral mixtures (40gP/kg and 0gP/kg). All matrices, in both experiments, were confirmed to be pregnant. During E1, a subdivision was carried out into two groups (40gP/kg and 0gP/kg), and all animals underwent periodic clinical nutritional examination, needle testing, bone biopsies, weighing, blood collection, feces, simulated grazing, monitoring the consumption of supplements and weighing the calves at 120 and 210 days. During E2, a subdivision of groups and clinical and nutritional monitoring, zootechnical control, consumption and weighing of the calves were carried out. The cost of mixing with 40gP/kg was R\$ 0.81 and that of 0gP/kg was R\$ 0.50, with expenditure on mineral supplementation equivalent to 1.8% (2017, E1), 2.3% (2018, E1) and 1.3% (2019, E2) of the effective operating cost. The consumption of the 40gP/kg group was 38.8g /UA/day (E1) and 32.7g/UA/day (E2); the 0gP/kg group consumed 25.7g/UA/day (E1) and 28.5g/UA/day (E2). No matrix shows findings compatible with P deficiency. During the entire experimental period, feces were collected and simulated grazing; the results demonstrate that the cattle of the group 40gP/kg excreted a greater amount of P in the environment when compared to the cattle that were supplemented only with NaCl and the results of the recommendations of P in the forage presented the similarity of the grazing where the matrices were housed, as well as the variation of P concentration in the forage during the months obtained. Therefore, supplementation with NaCl alone was efficient for the maintenance of cows of all categories, and presented lower costs. The farm, after the development of the study, chose to supplement the herd with NaCl only.

Key words: primiparous, multiparous, mineral supplementation

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.	Número de bezerros desmamados primeiro experimento.....	12
Tabela 2.	Número de bezerros desmamados no segundo experimento.....	13
Tabela 3.	Consumo e custo da suplementação grupo NaCl (0P), experimento 1....	21
Tabela 4	Consumo e custo da suplementação do grupo 40g/P/kg, experimento 1.	21
Tabela 5	Dados referentes ao custo total durante os anos experimentais.....	22
Tabela 6	Densidade específica óssea.....	25

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1.	Peso dos bezerros aos 120 dias, no experimento 1.....	23
Gráfico 2.	Peso dos bezerros aos 210 dias, no experimento 1.....	23
Gráfico 3.	Peso dos bezerros aos 120 dias de vida, no experimento 2.....	24
Gráfico 4.	Peso dos bezerros aos 210 dias de vida, no experimento 2.....	24
Gráfico 5.	Espessura da cortical (mm) dos grupos avaliados durante o experimento 1.....	25
Gráfico 6.	Densidade mineral óssea.....	26
Gráfico 7.	Concentração sérica de fósforo.....	27
Gráfico 8.	Variação da concentração de P nas amostras de forragem e fezes.	28

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Esquema de suplementação e troca do fornecimento da suplementação mineral, experimento 1.....	12
Figura 2.	Esquema de suplementação no experimento 2.....	13
Figura 3.	Posicionamento da agulha sobre metade do processo transversal da vértebra lombar.....	14
Figura 4.	Realização da biópsia óssea.....	16
Figura 5.	Processo cicatricial a campo das nulíparas pós-parto.....	17
Figura 6.	Desenho esquemático da régua de alumínio para a estimativa da DMO.....	18
Figura 7.	Histologia óssea de costela de bovino consumindo 0gP/kg no pós-parto	26

LISTA DE ABREVIACÕES E SÍMBOLOS

ADP	Adenosina difosfato
Al	Alumínio
AMP	Adenosina monofosfato
ATP	Adenosina trifosfato
Ca	Cálcio
Co	Cobalto
COE	Custo operacional efetivo
COT	Custo operacional total
Cu	Cobre
CT	Custo total da fazenda
D	Densidade específica óssea
DMO	Densidade mineral óssea
DNA	Ácido desoxirribonucleico
EC	Escore da condição corporal
EM	Estação de monta
Fe	Ferro
g	Gramma
GMD	Ganho médio de peso diário
HE	Hematoxilina e eosina
I	Iodo
IM	Intramuscular
kg	Quilograma
Mg	Magnésio
MMC	Mistura mineral comercial
Mn	Manganês
MS	Matéria seca
N	Nitrogênio
n	Tempo útil do bem, em anos
Na	Sódio
NaCl	Cloreto de sódio
NRC	<i>National Research Council</i>
P	Fósforo
PA	Pesados ao ar
PB	Proteína bruta
PH	Pesados juntamente com a água
RNA	Ácido ribonucleico
S	Enxofre
Se	Selênio
SMS	Suplementação mineral seletiva
TA	Teste da agulha
UA	Unidade animal
V	Volume de água em cm ³
Vf	Valor final ou de sucata do bem
Vi	Valor inicial do bem
Zn	Zinco
µg	Micrograma

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
2.	REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1	Importância do Fósforo no Metabolismo Animal.....	3
2.2	Manifestações Clínicas da Deficiência de Fósforo.....	3
2.3	Concentração de Fósforo no Sangue.....	4
2.4	Concentração de Fósforo na Forragem.....	4
2.5	Concentração de Fósforo nas Fezes.....	5
2.6	Avaliação dos Parâmetros Ósseos	5
2.6.1	Biópsia Óssea.....	6
2.6.2	Teste da Agulha.....	7
2.7	Importância Econômica e Formas de Suplementação Fosfórica	8
3.	MATERIAL E MÉTODOS.....	11
3.1	Caracterização do Local e Época do Experimento.....	11
3.2	Caracterização dos Animais e Manejo.....	11
3.3	Manejo Geral.....	13
3.4	Avaliação da Resistência Óssea.....	14
3.4.1	Teste da Agulha.....	14
3.4.2	Avaliação do Tecido Ósseo.....	15
3.5	Pesagem dos Animais.....	18
3.6	Colheita das Amostras da Forragem.....	18
3.7	Colheita e Processamento das Amostras Fecais.....	19
3.8	Colheita e Processamento das Amostras de Sangue.....	19
3.9	Análise dos Resultados	19
4.	RESULTADOS	21
4.1	Avaliação Econômica e Consumo das Misturas Minerai.....	21
4.2	Índices Produtivos.....	22
4.2.1	Desenvolvimento dos Bezerros.....	22
4.3	Avaliação da Resistência Óssea (D).....	24
4.3.1	Teste da Agulha.....	24
4.3.2	Espessura da Cortical.....	24
4.3.3	Densidade Específica Óssea.....	25

4.3.4	Densidade Mineral Óssea.....	26
4.3.5	Análise Histológica das Amostras Ósseas.....	26
4.4	Concentrações de Fósforo.....	27
4.4.1	Concentração Sérica de Fósforo.....	27
4.4.2	Concentração de Fósforo nas Fezes e na Forragem.....	27
5.	DISCUSSÃO.....	29
5.1	Avaliação Econômica e Consumo das Misturas Minerai.....	29
5.2	Índices Produtivos.....	30
5.2.1	Ganho de Peso dos Bezerros.....	30
5.3	Avaliação da Resistência Óssea.....	31
5.3.1	Teste da Agulha.....	31
5.3.2	Avaliação do Tecido Ósseo.....	32
5.3.3	Espessura da Cortical.....	32
5.3.4	Densidade Específica Óssea.....	33
5.3.5	Densidade Mineral Óssea.....	33
5.3.6	Avaliação Histológica das Amostras Ósseas.....	34
5.4	Concentração Sérica de Fósforo.....	34
5.5	Concentração de Fósforo nas Fezes e na Forragem.....	35
6.	CONCLUSÕES	37
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38

1. INTRODUÇÃO

Os minerais desempenham funções essenciais no organismo dos animais, sobretudo no que diz respeito à eficiência reprodutiva, crescimento e ganho de peso. Em muitas partes do mundo, os animais de fazenda consomem dietas que não atendem às necessidades de manutenção e de produção em relação aos minerais. Os bovinos criados em regime de campo, por ingerir exclusivamente pastagens, são os mais afetados pelos problemas causados pelas deficiências minerais, o que cursa com grandes prejuízos na pecuária (RIET-CORREA et al., 2007; TOKARNIA et al., 2010).

As deficiências minerais podem ocorrer sob diversos graus; desde formas severas, com perturbações mais ou menos características, até deficiências imperceptíveis ou subclínicas (TOKARNIA et al., 2010). As deficiências minerais severas são detectáveis com relativa facilidade, já que causam perturbações ou sinais clínicos característicos. Porém, estados carenciais mais discretos, cursam com sinais pouco específicos, como redução na taxa de crescimento, problemas de fertilidade, baixo rendimento da carcaça e menor produção de leite; estes são tão ou mais importantes, uma vez que passam muitas vezes despercebidos e causam perdas econômicas consideráveis (TOKARNIA et al., 2000; MALAFAIA et al., 2014a).

É fato incontestável de que vários minerais são necessários em numerosas reações metabólicas e isso, muitas vezes, leva à equivocada percepção de que esses nutrientes sempre devem ser suplementados aos animais (PEIXOTO et al., 2005).

Em muitas situações, os alimentos de boa qualidade podem suprir parte ou até mesmo todas as necessidades em minerais dos animais (MALAFAIA et al., 2003, 2004; PEIXOTO et al., 2003). Portanto, é preciso ter-se em mente que os alimentos e a água contêm minerais, em maior ou menor quantidade, e que a suplementação destes só deveria ser feita se os alimentos não suprirem os requerimentos nutricionais dos animais (PEIXOTO et al., 2005).

A situação no Brasil sobre as deficiências minerais é muito bem conhecida e existem vastas áreas do território nacional com solos pobres em Sódio (Na) e Fósforo (P) e, em menor escala, em Cobre (Cu) e Cobalto (Co) (RIET-CORREA et al., 2007; TOKARNIA et al., 2010).

No Brasil e no mundo, a deficiência de P é a mais importante para os bovinos, principalmente para aqueles mantidos em regime de campo. Isso se deve ao fato de que uma significativa área do território nacional possui solos com algum grau de limitação fosfórica e que acabam por gerar a deficiência deste elemento nas forragens, com reflexos diretos nos animais, e pelo aspecto de que a maioria (mais de 95%) do gado criado no Brasil é mantido exclusivamente em regime de pasto (MALAFAIA et al., 2014a; MALAFAIA et al., 2014b).

Os bovinos acometidos pela deficiência de P manifestam sinais clínicos característicos, tais como: osteofagia, fragilidade óssea (predisposição a fraturas), deformidades esqueléticas, menor taxa de fertilidade, diminuição de resistência a doenças, redução no ganho de peso, diminuição do apetite, baixa produção de leite e carne e pelos ásperos. Na deficiência de P os bovinos adquirem o hábito de roer ossos (osteofagia), o que pode trazer consequências indesejáveis, como acidentes (engasgos) ou o botulismo epizoótico (TOKARNIA et al., 2010; SUTTLE, 2010).

Na alimentação dos bovinos o uso de suplementos minerais é feito quase sempre via produtos industrializados, utilizados aleatoriamente, muitas vezes baseado apenas no preço e sem nenhuma avaliação clínico-nutricional dos rebanhos, bem como de sua composição mineral. Estima-se que 6 a 7% do valor final do boi gordo seja referente ao valor gasto com a suplementação mineral (FERREIRA et al., 2004) o que, obviamente, não é pouco (LOPES et al., 2018).

Portanto, o objetivo geral deste trabalho foi avaliar os aspectos econômicos de matrizes bovinas de corte, da raça Nelore, submetidas a dois tipos de suplementação mineral.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Importância do Fósforo no Metabolismo Animal

O fósforo (P) é o segundo mineral mais abundante no organismo animal. Cerca de 80% é encontrado nos ossos e dentes, sendo assim um macroelemento essencial para o organismo animal (SUTTLE, 2010; TOKARNIA et al., 2010). O P participa de reações bioquímicas celulares, crescimento e diferenciação das células, como componente do DNA e RNA, que carregam a informação genética e guiam a síntese de proteínas na célula. Está presente em fosfolipídios, nas membranas celulares, desempenha papel vital na transferência de energia, via AMP, ADP e ATP, que reflete diretamente sobre a gliconeogênese, transporte de ácidos graxos, síntese de aminoácidos e atividade da bomba sódio/potássio (SUTTLE, 2010; TOKARNIA et al., 2010).

Nos ossos, o P está sob a forma de fosfato tricálcico ou fosfato de magnésio, fazendo parte da hidroxiapatita ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) (PFEFFER et al., 2005). O fosfato inorgânico age no sistema tampão dos fluídos biológicos para manter o pH estável e assim o equilíbrio homeostático (COHEN, 1974; SUTTLE, 2010).

O P absorvido no trato gastrointestinal é rapidamente retirado do sangue para ser utilizado pelos ossos e dentes durante a fase de crescimento. Como a maioria dos nutrientes, a absorção é mais efetiva quanto maior é a necessidade de elementos pelo organismo. Existem alguns fatores que afetam a absorção de P, dentre eles: a relação Ca:P da dieta, o pH intestinal, os níveis dietéticos de Ca, P, Fe, Al, Mn e gorduras (DAYRELL, 1986).

Baixos teores de P na dieta podem comprometer a síntese proteica microbiana em ruminantes; esse fenômeno ocorre de maneira ainda não suficientemente compreendida. O P também atua no controle do apetite e na eficiência de utilização dos nutrientes (TERNOUTH, 1990; SUTTLE, 2010); portanto, sua deficiência gera prejuízos econômicos à pecuária (TOKARNIA et al., 2000).

O termo “*status*” de P é utilizado na produção animal para caracterizar o P disponível no organismo animal para execução de funções corporais, tais como reprodução, lactação e crescimento. Isso inclui prontamente os fluidos corporais, bem como as reservas de P em tecidos, tais como ossos e dentes, que podem ser mobilizados em situações específicas, tais como estados carenciais, adequação ou excedente fosfórico (VALDES et al., 1988).

2.2 Manifestações Clínicas da Deficiência de Fósforo

A bovinocultura de corte no Brasil é desenvolvida em todos os estados e ecossistemas, e apresenta grande variabilidade nos sistemas de criação. Mais de 90% dos pecuaristas optam por realizar o sistema extensivo, ou seja, usam de forrageiras perenes (nativas e ou cultivadas) para alimentar seus rebanhos (CEZAR et al., 2005). Essas forrageiras perenes se desenvolvem em solos com baixa fertilidade, pobres em macro e microminerais (P, Co e Cu), principalmente o P; logo apresentam menor rendimento e baixa quantidade mineral, e consequentemente, resultam em deficiências subclínicas ou clínicas no rebanho. Uma das principais forrageiras, predominante no Brasil, e que se desenvolve bem em solos de baixa fertilidade, é a *Urochloa (Brachiaria) decumbens* (CEZAR et al., 2005; TOKARNIA et al., 2010; MALAFAIA et al., 2004).

A deficiência de P nos ruminantes é mais comum do que a deficiência de Ca, pois a maioria das plantas forrageiras contém mais Ca do que P; os solos deficientes em Ca são menos comuns que os carentes em P e os níveis de Ca não diminuem na maturação das forragens, como ocorre com o P. Ao contrário de outras espécies de animais, os bovinos são muito tolerantes à relação Ca:P, que pode variar de 6:1 até 0,6:1 (SUTTLE, 2010; TOKARNIA et al., 2010).

A deficiência de P, clínica ou subclínica, resulta em perdas econômicas consideráveis. Quando ocorre a deficiência de P na dieta, os animais exibem sinais clínicos característicos tais como a diminuição da resistência à doenças e verminoses, redução do ganho de peso, subdesenvolvimento, baixa taxa de fertilidade, baixo rendimento de carcaça, raquitismo, osteomalácia, desvios posturais que acometem a locomoção, fraturas espontâneas frequentes, pelos ásperos, baixa produção de leite, diminuição do apetite, osteofagia e alotriofagia (conhecida popularmente como pica) (RIET-CORREA et al., 2007; TOKARNIA et al., 2010). A deficiência subclínica de P pode se apresentar da forma leve ou moderada e as manifestações dos sinais clínicos são discretos, o que dificulta a identificação do problema pelo proprietário e leva a prejuízos econômicos (TOKARNIA et al., 2010; PINHEIRO et al., 2011). Nikvand et al. (2018), em um estudo realizado para identificação de causas de alotriofagia no Irã, identificaram que 5,96% dos animais estudados apresentavam perversão do apetite e 40% destes apresentavam deformidades nos membros locomotores e hipofosfatemia.

Na deficiência de P pode ser observada a osteofagia, caracterizada pelo hábito que os bovinos adquirem em “roer” ossos. Segundo Tokarnia et al. (2010), quanto maior a deficiência de P na propriedade, maior o número de animais com o hábito de “roer” ossos, e quanto maior a avidez por ossos, maior a deficiência do P local. Em regiões onde a deficiência é grave, os bovinos disputam os ossos de animais que morreram há pouco tempo, ainda com tecidos em decomposição. Já em regiões onde a deficiência de P é leve, somente são roídos ossos “limpos”, livres de fragmentos.

O hábito de roer ossos traz diversas consequências, tais como: diminuição do tempo de pastejo, o animal ocupa seu tempo roendo ossos, acidentes por engasgos (ossos ficam presos na boca, principalmente vértebras na faringe e costelas no palato). A consequência mais severa do hábito de roer ossos é a ingestão da toxina botulínica, que surge como uma doença secundária e que pode acarretar mortes, muitas vezes sob a forma de surtos nos rebanhos (RIET-CORREA et al., 2007; TOKARNIA et al., 2010; NIKVAND et al., 2018).

2.3 Concentração de Fósforo no Sangue

A avaliação da concentração sérica de P pode auxiliar na verificação do *status* fosfórico dos bovinos; porém, não oferece informações sobre a reserva mineral óssea (READ et al., 1986). Sua concentração pode permanecer em nível normal por longos períodos, mesmo após os bovinos terem sido expostos à deficiência de P (RADOSTITS et al., 2006).

O *status* fosfórico pode ser obtido através da determinação do P inorgânico do soro, plasma ou sangue total. Alguns fatores podem afetar a eficiência da dosagem do P no sangue, tais como: exercício físico ou estresse antes da colheita, manuseio ou armazenamento inadequado da amostra e o equilíbrio entre a ingestão e a excreção do mineral, idade do animal, estágio da gestação, produção leiteira e estação do ano (RADOSTITS et al., 2006; TOKARNIA et al., 2010; SUTTLE, 2010).

As deficiências leves a moderadas, as quais são as mais comuns, normalmente são acompanhadas de concentrações sanguíneas normais de P (RADOSTITS et al., 2006). Os níveis plasmáticos de P em bovinos saudáveis podem variar entre 4,5 e 6,5mg/dL, e valores abaixo de 4,5mg/dL são indicativos de animais com hipofosfatemia (SUTTLE, 2010).

2.4 Concentração de Fósforo na Forragem

O P é o macromineral que possui a maior variação em sua concentração nos alimentos volumosos. A concentração de P na forragem varia amplamente de acordo com a disponibilidade do mineral no solo, a idade da planta e o clima (RIET-CORREA et al., 2007; TOKARNIA et al., 2010; SUTTLE et al., 2010).

As forragens de climas temperados geralmente apresentam maior teor de P quando comparadas às forragens cultivadas em climas tropicais, podendo esse fato ser atribuído ao intenso uso de fertilizantes (SUTTLE, 2010).

Amostras colhidas em forma de pastejo simulado (arrancadas à mão) podem ser utilizadas para estimar as concentrações de P na forragem e devem ser realizadas com regularidade para registrar as alterações de P disponível na forragem ao longo do ano (KERRIDGE et al., 1990). A técnica do pastejo simulado é utilizada como indicativo do material ingerido pelo animal, e constitui uma alternativa de substituição à coleta de extrusa esofágica (DE VRIES, 1995). Todavia, a maior objeção a este método de amostragem é a falta de conhecimento da discrepância entre a amostra coletada e a forragem realmente consumida (EUCLIDES et al., 1992).

A estimativa do conteúdo de P na forragem constitui um valioso auxílio diagnóstico; porém a principal dificuldade consiste em quantificar exatamente o que o animal ingeriu (RADOSTITS et al., 2006).

2.5 Concentração de Fósforo nas Fezes

As amostras fecais são facilmente coletadas e podem oferecer um panorama sobre a excreção do P. As fezes dos ruminantes constituem a maior rota de excreção de P, seja o que não foi absorvido do alimento ou pelo excesso de P ingerido (SUTTLE, 2010).

A homeostase do P é alcançada no trato digestivo, controlado assim a secreção e a reabsorção do P salivar, portanto as perdas fecais indicam como está ocorrendo a ingestão e a absorção do P (READ et al., 1986).

Para se estimar as perdas metabólicas (endógenas) de P é necessário considerar o consumo e a forma física da dieta; porém é muito difícil distinguir o P de origem endógena do P de origem alimentar. Portanto, as perdas fecais de P endógeno deveriam ser dosadas em animais que receberam níveis de P abaixo da sua exigência total, para que a absorção das secreções endógenas se maximize e se obtenha a estimativa mais correta (ANDERSON et al., 2017).

Quando os animais ingerem uma dieta com níveis adequados de P ocorre a diminuição de excreção de P através das fezes, o que reduz consequentemente a contaminação ambiental (READ et al., 1986; LIN et al., 2017; NIKVAND et al., 2018).

2.6 Avaliação dos Parâmetros Ósseos

O osso é considerado o tecido de sustentação mais importante do corpo. É composto por uma matriz extracelular orgânica e sais inorgânicos. O tecido ósseo é mineralizado em camadas que fornecem grande força e flexibilidade ao sistema esquelético. Varia em formação, dependendo da sua função, em todo o corpo. Essas diferenças funcionais e de formação também se baseiam na proporção das diferenças entre os processos orgânicos e inorgânicos que são incorporados ao processo da formação óssea. O mineral mais comum no osso é a hidroxiapatita ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_6$), que consiste em colágeno, proteínas e íons de fosfato de cálcio. O osso é formado por aproximadamente 70% de componentes minerais e 30% de orgânicos (GUYTON e HALL, 2006; SUVARNA et al., 2013; KLEIN et al., 2015).

A matriz orgânica óssea apresenta 90% a 95% de fibras de colágeno, enquanto o restante corresponde a um meio gelatinoso homogêneo denominado substância fundamental. As fibras de colágeno estendem-se principalmente ao longo das linhas de força de tensão e conferem ao osso sua vigorosa resistência e tração. A substância fundamental constitui-se de líquido extracelular, acrescido de proteoglicanos, especialmente sulfato de condroitina e ácido hialurônico. A função exata de cada um desses compostos não é bem conhecida, embora eles ajudem a controlar a deposição dos sais de Ca (GUYTON e HALL, 2006; SUVARNA et al., 2013).

Os sais depositados na matriz orgânica do osso compõem-se basicamente de Ca e P. A relação Ca:P pode variar acentuadamente sob condições nutricionais distintas (KLEIN et al., 2015).

A hidroxiapatita não precipita no líquido extracelular apesar da supersaturação dos íons de Ca e fosfato. As concentrações de íons de Ca e fosfato no líquido extracelular são consideravelmente maiores que aquelas necessárias para causar precipitação da hidroxiapatita. Contudo, há inibidores presentes em quase todos os tecidos, bem como no plasma, para evitar a precipitação; um desses inibidores é o pirofosfato. Portanto os cristais de hidroxiapatita não conseguem se depositar em tecidos normais exceto no osso (GUYTON e HALL, 2006; KLEIN et al., 2015).

A calcificação óssea, em seu estágio inicial, consiste na síntese de colágeno (chamadas de monômeros de colágeno) e da substância fundamental por osteoblastos. Os monômeros de colágeno sofrem rápida polimerização, formando as fibras de colágeno, o tecido resultante transforma-se em osteoide, um material parecido com cartilagem, mas distinto devido à fácil precipitação de sais de Ca sobre ele. À medida que o osteoide é formado, certa quantidade de osteoblastos é encarcerada no osteoide e torna-se quiescente; neste estágio essas células recebem o nome de osteócitos (GUYTON e HALL, 2006).

O osso sofre contínua deposição de osteoblastos e ininterrupta absorção nos locais onde os osteoclastos se encontram ativos. Os osteoclastos correspondem a grandes células fagocitárias multinucleadas, derivadas de monócitos formadas na medula óssea. Do ponto de vista histológico, a absorção óssea ocorre nas adjacências imediatas aos osteoclastos. O mecanismo dessa absorção consiste nos osteoclastos emitirem suas projeções semelhantes a vilos em direção ao osso, formando assim a denominada borda pregueada adjacente ao osso. Os vilos secretam dois tipos de substância, que são elas enzimas proteolíticas, liberadas de lisossomos dos osteoclastos e diversos ácidos. As enzimas digerem ou dissolvem a matriz orgânica do osso, enquanto os ácidos provocam a dissolução dos sais ósseos. As células osteoclásticas também absorvem minúsculas partículas de matriz óssea e cristais por fagocitose, dissolvendo-os e liberando os produtos no sangue. Normalmente a deposição e a absorção óssea estão em equilíbrio, exceto em ossos em crescimento (GUYTON e HALL, 2006; KLEIN et al., 2015).

O raquitismo acomete animais jovens com deficiência de P (TOKARNIA et al., 2010). As concentrações de Ca e P diminuem no quadro de raquitismo, sendo que as concentrações de Ca sofrem apenas uma ligeira depressão, mas a queda nos níveis de fosfato é intensa. Isso se deve ao fato de que as glândulas paratireoides evitam a queda do nível do Ca, por meio do estímulo da absorção óssea sempre que o nível desse mineral começa a cair; contudo, não há sistema regulatório satisfatório para impedir o declínio do nível de fosfato e, na verdade, a atividade elevada das glândulas paratireoides aumenta a excreção desse elemento na urina. Contudo, no raquitismo ocorre um enfraquecimento dos ossos, provocada pela extrema absorção osteoclástica; com isso o osso se torna progressivamente mais fraco e impõe notável estresse físico sobre essa estrutura, o que resulta também em rápida atividade osteoblástica. Sendo assim, os osteoblastos depositam grande quantidade de osteoide, que não vem a ser calcificado devido ao nível insuficiente de íons de Ca e P. Por consequência, o osteoide recém-formado não calcificado é fraco, sobretudo no lugar do osso mais antigo, que está sendo reabsorvido. Em animais adultos ocorre a osteomalácia (TOKARNIA et al., 2010).

2.6.1 Biópsia Óssea

Por conter aproximadamente 80% das reservas de P do organismo, as amostras ósseas são indicadores confiáveis dos níveis de P no organismo animal (READ et al., 1986), (LITTLE et al., 1977). As biópsias ósseas são procedimentos cirúrgicos importantes para estudos fisiológicos e patológicos do tecido ósseo (CHAVASSIEUX et al., 2001).

Os pioneiros na execução da técnica foram Little e Minson (1972) e citam que ela deveria ser realizada na 11ª costela ou na 12ª. Almeida e Brum (1980) citam a realização da técnica em 31 vacas aneladas, em lactação, com o objetivo de analisar as concentrações de P, Ca e Mg e descrevem que se trata de uma técnica com várias vantagens, tais como: fácil execução, baixo custo, rápida recuperação pós-cirúrgica, evita o abate de bovinos e permite maior número de amostragens, bem como avaliar mais de uma vez o mesmo animal. Nicodemo et al. (2000) realizaram biópsias ósseas em 15 novilhos, de acordo com as técnicas citadas por Little (1972). Malafaia et al. (2017b, 2018) realizaram um estudo e avaliaram a técnica de biópsia óssea na 12ª costela, a recuperação e a evolução pós-operatória, o consumo de matéria seca e o ganho de peso médio diário em 36 novilhos da raça Nelore, com 30 meses de idade. Os novilhos foram acompanhados, experimentalmente, por 116 dias e as biópsias ósseas foram realizadas nos dias 30, 60 e 90 do experimento. O protocolo cirúrgico empregado promoveu a recuperação completa de todos os novilhos biopsiados dentro de 15 a 20 dias. Foi observado que ocorreu uma menor ingestão de matéria seca entre o primeiro e o nono dia após o procedimento.

Após a colheita das amostras ósseas o armazenamento pode ocorrer de acordo com os testes a que serão submetidas. Elas podem ser armazenadas congeladas a -20°C ou armazenadas em solução de formalina a 10%, tamponada.

No caso de se destinarem a exames histopatológicos, as amostras ósseas precisam ser fixadas após colheita antes de submetê-las a quaisquer procedimentos de descalcificação e processamento. A fixação completa protege os ossos e tecidos moles adjacentes dos efeitos prejudiciais da descalcificação ácida. Como fixador, é indicado o uso de formalina a 10%, tamponada. É importante salientar que a fixação ocorre mais rapidamente com amostras pequenas, sem excesso de pele e de tecido mole adjacente (SUVARNA et al., 2013).

Outras análises que podem ser realizadas são as dosagens de P, Ca e Mg, densidade específica em água (D), espessura da camada cortical e densidade mineral óssea (DMO) (LITTLE, 1972; OGUNBAMERU et al., 1990; BANCROFT e GAMBLE, 2008; SURVANA et al., 2013).

2.6.2 Teste da Agulha

Métodos para diagnóstico envolvem análises complexas e que muitas das vezes demandam maior tempo para obtenção dos resultados, tais como análise de P no sangue, ossos, forragem, solos (READ et al., 1986, SUTTLE, 2010, JACKSON et al., 2012), medições de gravidade específica óssea (LITTLE, 1972) e estimativa da densidade mineral óssea, através de radiografias de amostras de costelas (MALAFAIA et al., 2017a, SOUZA et al., 2017).

O fato de produtores e técnicos não terem acesso a informações ou aos métodos de diagnóstico contribui para o uso indiscriminado de suplementos minerais comerciais (MMC) com altos níveis de P (MALAFAIA et al., 2014a). Antes de iniciar uma suplementação mineral é necessária uma avaliação clínico-nutricional do rebanho (MALAFAIA et al., 2014b), e, através da correta avaliação, estabelecer o *status* fosfórico do rebanho e adotar uma suplementação mineral com a correta concentração de P. Neste contexto, o teste da agulha (TA) pode ser uma ótima opção (MALAFAIA et al., 2018).

O TA é um teste simples, rápido e barato proposto pelo Professor Dr. Diomedes Barbosa (UFPA), e documentado por Tokarnia et al. (2010), que permite o diagnóstico de deficiência de P nas formas clínica e subclínica (MALAFAIA et al., 2018). O TA é realizado no animal vivo, contido em um brete. Sua execução consiste em inserir uma agulha 1,2x40mm através da pele, atravessar os tecidos subcutâneo e muscular, até atingir o processo transversal da vértebra lombar (L₂ ou L₃). Uma vez posicionada, aproximadamente na metade do processo transversal, o operador faz força sobre o canhão da agulha, com o objetivo de

penetrar a agulha no processo transversal. Esse teste permite, subjetivamente, estabelecer três padrões de resistência óssea: **a)** ossos que são impenetráveis e que entortam o corpo da agulha (animais sadios); **b)** ossos que oferecem certa resistência à penetração da agulha (animais com algum grau de deficiência de P, geralmente subclínica) e **c)** ossos cuja resistência à penetração é mínima (animais com deficiência clínica de P) (MALAFAIA et al., 2018).

Malafaia et al. (2018) realizaram um estudo de caso, a campo, em condições naturais, em oito fazendas, em diferentes localidades do Brasil, produtoras de bovinos leite e de corte, objetivando utilizar o TA para avaliar o *status* fosfórico e auxiliar nas decisões sobre diferentes esquemas de suplementação de P. Após longo acompanhamento da suplementação empregada nas propriedades avaliadas, foi observado que alguns rebanhos apresentavam deficiência clínica e subclínica. Após a adoção de um novo esquema de suplementação com P, os animais avaliados responderam positivamente ao novo esquema de suplementação. Para conclusão da eficiência do exame clínico-nutricional e do TA foram empregados testes complementares, com base nos parâmetros ósseos, tais como espessura da cortical, gravidade específica do osso e da densidade mineral óssea e desempenho animal (taxa de fertilidade, ganho de peso diário e produção leiteira). Os resultados obtidos por este estudo de múltiplos casos demonstram que o TA é uma importante ferramenta para auxiliar na avaliação da adequação da concentração de P no suplemento mineral; porém deve ser realizado por profissionais treinados e em associação com as avaliações clínicas do rebanho. O uso e a interpretação adequados do TA podem levar a uma economia financeira considerável para o pecuarista.

2.7 Importância Econômica e Formas de Suplementação Fosfórica

O P é um mineral que possui importância nutricional, econômica e ambiental, devido ao seu alto custo e potencial de contaminação do solo e recursos hídricos (VASCONCELOS et al., 2007; PANTANO et al., 2016; DE QUEIROZ et al., 2020).

Visto que o P é um mineral metabolicamente essencial e que sua deficiência causa inúmeros prejuízos à pecuária, Malafaia et al. (2014a) relataram que se criou uma equivocada percepção de que esse nutriente sempre deve ser suplementado aos animais, mesmo à revelia de um diagnóstico clínico-nutricional do rebanho. Tal procedimento pode gerar um consumo exagerado de P, o que representará perdas econômicas e excreção fosfórica para o ambiente (MALAFAIA et al., 2014a e 2014b).

O excesso de P consumido é excretado, principalmente, por meio das fezes e da urina, acumulando-se no solo e pode causar a eutrofização dos recursos hídricos, além de trazer prejuízos econômicos aos pecuaristas por constituir-se no elemento de maior impacto no custo final dos suplementos minerais, e vem sendo utilizado na totalidade das misturas minerais comerciais, encontradas nos diferentes cenários de produção nas condições brasileiras (PEIXOTO et al., 2003; TOKARNIA et al., 2010; LEMOS et al., 2013; PANTANO et al., 2016).

Do ponto de vista prático a suplementação com altos níveis de P representa um custo desnecessário, haja vista que o excesso de P ingerido não exerce nenhum efeito benéfico adicional aos animais; portanto, é essencial buscar uso racional de P, levando a reduções significativas nos custos operacionais. Adicionalmente, de acordo com diversas estimativas, a suplementação mineral pode constituir de 20 a 30 % dos custos totais de produção de gado de corte criado em pastagens; daí a redução desses gastos constituir um vasto tema de importantes pesquisas no Brasil (PEIXOTO et al., 2003, 2005; COELHO et al., 2008; LEMOS et al., 2013; MALAFAIA et al., 2014a, 2014b). Lopes et al. (2018) avaliaram o custo operacional efetivo de uma fazenda de vacas de cria e observaram que os custos com a suplementação de uma mistura mineral comercial (MMC) representavam o quarto maior custo da fazenda; durante os anos em que foi empregada uma suplementação mineral seletiva

(SMS), o custo com suplementação foi o menor. O menor custo com a SMS está relacionado com a menor quantidade de P na fórmula utilizada. Sendo assim, ocorreu uma maior sobra de recursos financeiros para ser empregada em outras áreas da propriedade, tal como recuperação de pastagem, o que permitiu aumentar a taxa de lotação e a lucratividade do sistema.

A maioria dos produtores de gado no Brasil escolhe os suplementos minerais com base no preço, acreditando que o uso deles poderia garantir a saúde e a produtividade de seus rebanhos. Essa abordagem não garante, necessariamente, que os requisitos minerais sejam atendidos; também pode levar ao uso excessivo de minerais, o que não é apenas antieconômico, mas também pode ser prejudicial ao desempenho do gado, devido ao antagonismo entre alguns minerais (TOKARNIA et al., 2010; MALAFAIA et al., 2014a).

Dentre os métodos utilizados para a suplementação mineral do rebanho bovino, o mais utilizado é por via oral, através do fornecimento em cochos, com o livre acesso dos animais. Outros métodos existentes são utilizados em condições especiais, tais como a diluição das fontes de P na água de bebida, através de “balas” ou por via parenteral (TOKARNIA et al., 2010, SUTTLE 2010). Em áreas próximas da orla marítima ou em regiões de águas salobras e ou de solos ricos em sódio (salinas), a suplementação mineral pode ser feita via mistura com os alimentos concentrados (PEIXOTO et al., 2005). A fonte de P para suplementação alimentar em bovinos mais popularizada à indústria de alimentos animais é o fosfato bicálcio (TEIXEIRA et al., 2011).

Só existe necessidade de suplementação mineral para bovinos nos casos onde os animais recebem dietas com quantidades insuficientes de minerais ou quando recebem dietas desequilibradas que resultam na carência de algum elemento (PEIXOTO et al., 2005).

Segundo Peixoto et al. (2005) a suplementação mineral no Brasil se encontra com as seguintes situações: (1) parte dos pecuaristas opta pela utilização de uma mistura mineral completa (MMC); (2) parte compra uma MMC formulada com base no pressuposto de que análises de solo e de forrageiras de sua propriedade possam determinar com exatidão a quantidade de minerais necessária a ser suprida pelos animais; (3) outra parte fornece apenas sal branco (NaCl); (4) uma parcela dos pecuaristas não fornecem qualquer suplemento mineral ao rebanho; (5) outro grupo suplementa os animais de maneira muito irregular e descontinua com MMC ou sal branco; (6) como as misturas minerais são insumos caros, alguns proprietários diluem essas misturas com sal branco, o que obviamente reduz a concentração dos outros minerais nesse preparo.

A SMS é uma estratégia para diminuir os gastos, pois é fundamentada no diagnóstico clínico-nutricional do rebanho e no fornecimento exclusivo do(s) mineral(s) deficiente(s) e na(s) quantidade(s) necessária(s). Além de corrigir eventuais estados carenciais, permite uma economia significativa nos custos com a suplementação mineral, pois há menor custo e menor consumo quando comparada com as misturas minerais comerciais (MALAFAIA et al., 2014a, 2014b, CARVALHO et al., 2014). Essa alternativa pode permitir uma economia expressiva em relação à suplementação mineral completa, utilizada à revelia do diagnóstico clínico-nutricional dos rebanhos. Para implantar a SMS deve se realizar testes comparativos com a mistura mineral precedente e ter acompanhamento clínico-nutricional do rebanho (PEIXOTO et al., 2005, TOKARNIA et al., 2010).

As MMCs têm sido preconizadas em todo o Brasil, sendo constituídas do maior número possível de elementos. Acredita-se que esta prática prescindiria todo o trabalho de diagnóstico clínico-nutricional, evitaria quaisquer omissões e teria como objetivo suplementar o rebanho com todos os minerais essenciais, sem conhecer a real necessidade destes. Esse modelo de suplementação é antieconômico e pode resultar em antagonismos entre os minerais ofertados (TOKARNIA et al., 2010; MALAFAIA et al., 2014a).

O uso da SMS permite economia significativa em comparação com uma MMC (COSTA et al., 2016). Lopes et al. (2018) avaliaram, durante os anos de 2013 a 2016, o custo

da suplementação e o desempenho de vacas da raça Nelore em sistema extensivo, recebendo menores concentrações de P na mistura mineral. Durante o ano de 2013 as matrizes receberam MMC contendo, 75gP/kg do suplemento e, durante os anos de 2014 a 2016, foi empregado uma SMS, contendo 12,5gP/kg. Foram avaliados o consumo diário das misturas e o custo operacional total (COT), sendo todos os custos variáveis e fixos relacionados à produção de cada ano. Durante o ano em que o rebanho recebeu a MMC houve uma maior ingestão diária (50,1g/dia) e, conseqüentemente, resultou em maiores custos com a suplementação (US\$/kg: 0,76), quando comparado à SMS, que teve uma ingestão diária 35,0; 41,1; 32,0g/dia e ao custo US\$/kg 0,31; 0,24; 0,25, respectivamente, aos anos de 2014, 2015 e 2016. Assim, a SMS foi 45% mais barata que a MMC, e o pecuarista teve o custo operacional efetivo diminuído nos respectivos anos (US\$ 177,60; 150,85; 111,65 e 77,450). Durante os anos avaliados o rebanho era periodicamente submetido a exames clínico-nutricional e nenhuma matriz apresentou sinais de deficiência de P, clínica ou subclínica.

O preço mais alto com relação ao uso da MMC está relacionado à sua composição, embalagem, transporte, impostos, comissão de *marketing* e vendas. Alternativamente, o SMS é formulado com base em diagnóstico clínico e nutricional do rebanho; portanto, emprega somente o uso dos minerais necessários e, como a mistura é feita dentro das propriedades, possui menor custo (MALAFAIA et al., 2014b; LOPES et al., 2018).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização do Local e Período do Experimento

O presente estudo foi aprovado pela Comissão de Ética na Pesquisa da UFRRJ (CEUA/IZ/UFRRJ) sob o protocolo N° 23083.025632/2018-46.

O estudo foi conduzido na Fazenda Santana, situada no Município de Valença, RJ (latitude: 22°14'44" e longitude: 43°42'01"). O responsável pela propriedade permitiu e autorizou o desenvolvimento do estudo, através da assinatura do termo de consentimento livre esclarecido.

A propriedade realiza a cria de bovinos (*Bos taurus indicus*) de corte da raça Nelore, em regime extensivo. Foi cedido um grupo de nulíparas e vacas multíparas para a condução de dois experimentos.

Durante os experimentos os animais foram mantidos em pastos separados (pasto do Grupo 1(40gP/kg) e pasto do Grupo 2 (NaCl)), porém, com características similares em solo e forragem, e mesma fonte de água. Estes pastos eram formados por *Urochloa (Brachiaria) decumbens* e *U. (B.) brizantha*, possuíam boa produção de massa de forragem, disponibilidade de água, sombreamento natural e suplementação mineral formulada para cada grupo de estudo.

Durante o período de avaliação os animais foram encaminhados ao curral da propriedade para a realização dos procedimentos necessários para o estudo e para realização do controle sanitário.

O primeiro experimento foi desenvolvido entre novembro de 2015 e agosto de 2017, sendo realizada com as nulíparas. O segundo experimento foi realizado de maio de 2018 a outubro de 2019, com matrizes primíparas até a quinta cria.

3.2 Caracterização dos Animais e Manejo

Para o **primeiro experimento** (E1) foi realizada a seleção das nulíparas, de acordo com o peso e idade. Cem nulíparas aptas à reprodução (*i.e.* > 300kg) foram submetidas à estação de monta (EM), no período de novembro de 2015 a meados de março de 2016, com touros da raça Nelore, na proporção de 30 novilhas para cada touro. Após 50 dias do término da EM, as nulíparas foram submetidas ao diagnóstico de gestação. Individualmente cada fêmea foi encaminhada para o tronco de contenção e foi realizado o diagnóstico de gestação através da palpação retal; também foi realizada a pesagem, a avaliação do escore corporal (EC) e avaliação do estado geral de cada animal. Após as avaliações e o diagnóstico de gestação os bovinos foram divididos em lotes de prenhes e não-prenhes.

Noventa nulíparas obtiveram prenhez confirmada e estavam pesando em média 427kg; estas então foram subdivididas aleatoriamente em dois grupos; 45 animais cada grupo (Grupo 1 e Grupo 2), até a data do parto. Metade das nulíparas (Grupo 1) recebeu uma suplementação mineral com 40gP/kg e a outra metade (Grupo 2) recebeu somente NaCl (sal branco) (Figura1).

Após os partos, 28 bovinos do Grupo 1 continuaram recebendo a suplementação com 40gP/kg e as outras 12 matrizes passaram a receber somente NaCl. Por outro lado, 26 matrizes do Grupo 2 continuaram a serem suplementadas somente com NaCl, e 15 matrizes foram suplementadas com 40gP/kg (Figura 1).

Em meados de agosto de 2016 iniciaram-se os partos. Duas vezes ao dia os campeiros visitavam os piquetes maternidade e realizavam a inspeção dos partos e os cuidados iniciais com os recém-nascidos, tais como cura do umbigo. O número de bezerros desmamados no E1 consta na Tabela 1.

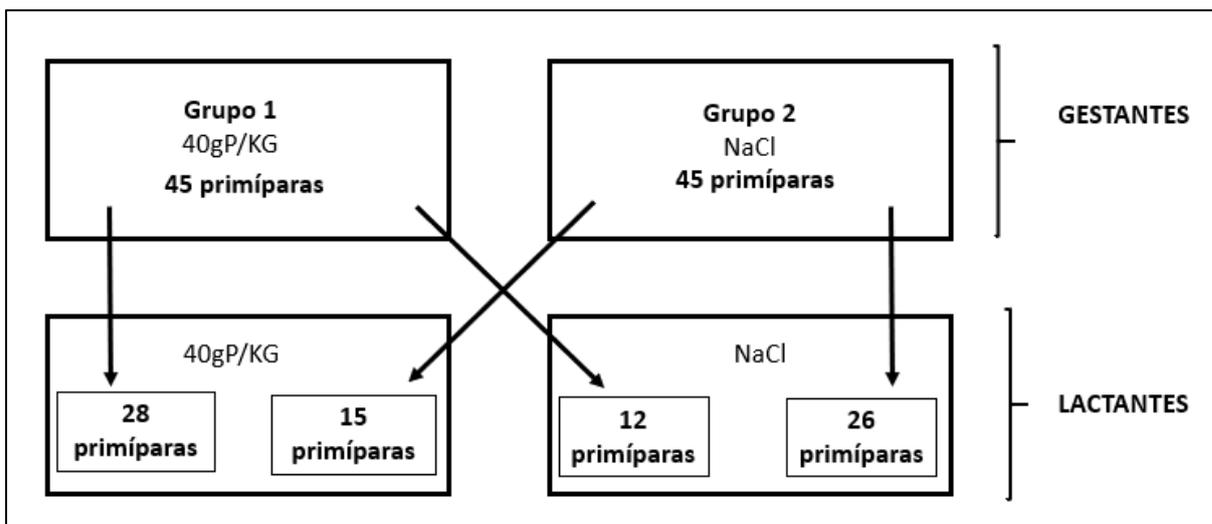


Figura 1. Esquema de suplementação e troca do fornecimento da suplementação mineral, experimento 1. Basicamente, a figura um permite formar quatro tratamentos experimentais: 40gP/kg na gestação e lactação, 40gP/kg na gestação e NaCl na lactação, NaCl na gestação e 40gP/kg na lactação e NaCl na gestação e lactação.

Tabela 1. Número de bezerros desmamados no experimento 1.

Grupo 1	Bezerros desmamados
0gP/kg Gestação - 0gP/kg Lactação	26
40gP/kg Gestação. - 40gP/kg Lactação.	28
0gP/kg Gestação. - 40gP/kg Lactação.	15
40gP/kg Gestação. - 0gP/kg Lactação.	12
Total de bezerros desmamados	81

O **segundo experimento** ocorreu entre maio de 2018 e setembro de 2019. Duzentos e cinco matrizes (primíparas até a quinta gestação) foram disponibilizadas para realização do estudo; as matrizes foram selecionadas aleatoriamente entre os lotes da fazenda. Estas foram subdivididas, após a confirmação do diagnóstico de gestação, em dois grupos (Grupo 1 e Grupo 2) (Figura 2). No Grupo 1 foram utilizadas 40 vacas prenhes, que foram suplementadas por toda a gestação e a lactação com suplemento contendo 40gP/kg. O grupo 2 foi formado por 165 vacas prenhes, que foram suplementadas por toda gestação e lactação com apenas NaCl. Ou seja, na segunda fase experimental não ocorreu o “cruzamento” entre os grupos após o parto; portanto, as vacas permaneceram no mesmo desafio suplementar por toda gestação até o desmame (Figura 2). O número de bezerros desmamados durante o E2 foi de 200 bezerros (Tabela 2).

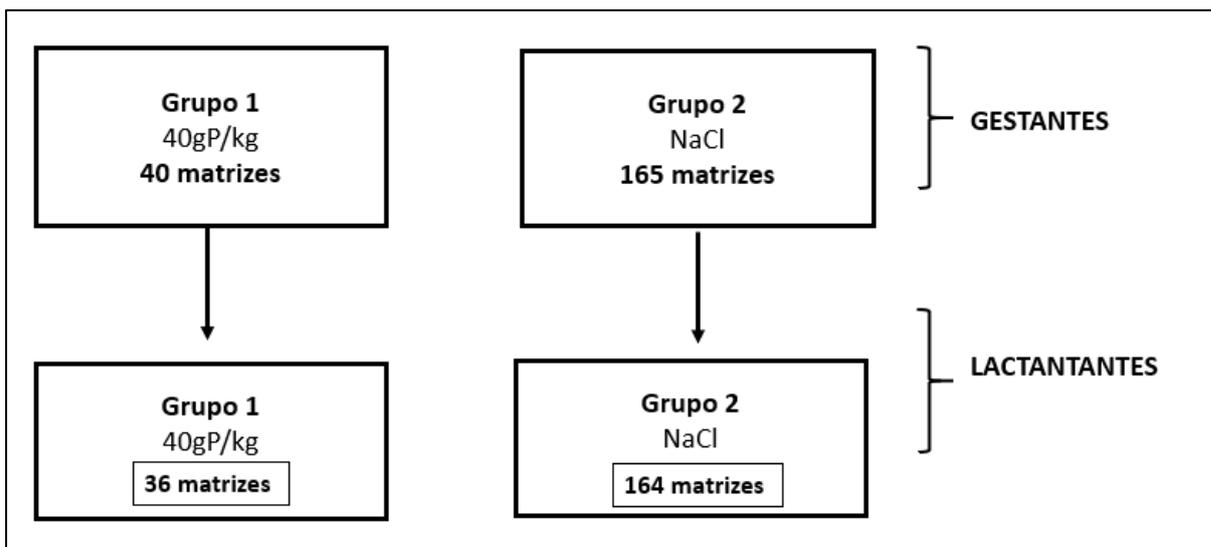


Figura 2. Esquema de suplementação no experimento 2. Basicamente, a figura dois demonstra que o Grupo 1 suplementado na gestação com 40gP/kg recebeu 40gP/kg durante a lactação, bem como o Grupo 2 suplementado na gestação somente com NaCl continuou durante toda a lactação.

Tabela 2. Número de bezerros desmamados no segundo experimento

Grupo experimental	Bezerros desmamados
0gP/kg Gestação - 0gP/kg Lactação	36
40gP/kg Gestação - 40gP/kg Lactação	164
Total de bezerros desmamados	200

Cada grupo foi mantido separado em seu respectivo piquete com oferta adequada de forragem e água.

Tanto no experimento 1 quanto no 2 os bovinos tinham acesso a 2 cochos, onde era depositada a suplementação mineral; estes possuíam cobertura e mediam cerca de 1,5x0,3x0,3m. O suplemento mineral era fornecido ininterruptamente ou continuamente; semanalmente era realizada a inspeção dos cochos e a reposição do suplemento, sempre que este estava terminando. Antes de ofertado no cocho, o suplemento fornecido era pesado, visando o controle do consumo. Quinzenalmente foram realizadas visitas aos pastos para verificação das condições físicas de cada indivíduo dos grupos, bem como a avaliação da presença de sinais clínicos referentes às deficiências minerais, tais como alotriofagia (geofagia, osteofagia e o hábito de roer cascas de árvores) e despigmentação do pelo.

3.3 Manejo Geral

A fazenda segue o calendário vacinal do estado do Rio de Janeiro. Quando necessário os animais eram submetidos a outros procedimentos, tais como a aplicação de ectoparasiticidas e, anualmente, exames de brucelose e tuberculose. Antes do início do experimento, todas as matrizes (nulíparas ou múltíparas) estavam sendo suplementadas com uma mistura mineral feita na fazenda, que continha 12,5gP/kg. Nenhuma matriz apresentava manifestações clínicas de deficiência mineral antes de iniciar os experimentos.

3.4 Avaliação da Resistência Óssea

3.4.1 Teste da Agulha

O TA foi realizado com o objetivo de avaliar a fragilidade óssea das matrizes. O teste consiste em inserir uma agulha 40x1,2mm através da pele, até atravessar os tecidos subcutâneo e muscular e atingir o processo transverso da vértebra lombar (L₂ ou L₃). Uma vez posicionada, aproximadamente na metade do processo transverso (Figura 2A), o operador faz força sobre o canhão e tenta penetrar a agulha no processo transverso. Uma amostra equivalente a 10% dos animais do estudo foi escolhida aleatoriamente e encaminhada ao curral de manejo para a realização do teste. No curral as vacas eram encaminhadas, individualmente, ao brete de contenção para realização do teste. Logo após o término da avaliação do grupo as vacas eram encaminhadas para o seu respectivo pasto.

O TA foi realizado no dia do diagnóstico de gestação e realizado periodicamente a cada dois meses até o desmame dos bezerros com cerca de 7 a 8 meses.



Figura 3. Posicionamento da agulha sobre metade do processo transverso da vértebra lombar.

3.4.2 Avaliação do Tecido Ósseo

As biópsias ósseas foram realizadas de acordo com os métodos propostos por Bomjardim et al. (2015) e Malafaia et al. (2017b). As vacas permaneceram em jejum por 12 horas antes do procedimento. Individualmente foram encaminhadas para um tronco de contenção, onde foi realizada a aplicação de cloridrato de xilazina a 2%, na dose de 0,5mg/kg de peso vivo, para uma leve sedação. Após a sedação foram realizadas a assepsia e a tricotomia da região do terço proximal da 12^a costela do lado direito (Figuras 3A e B) (cerca de 8cm ventral à linha do processo transversal lombar, entre o limite craniano e caudal). Em seguida foi realizada a anestesia local infiltrativa (Figura 3C), intramuscular e subcutânea, com cloridrato de lidocaína a 2% (40mL), e novamente outra assepsia com álcool iodado a 10%. Cerca de 10 minutos após o preparo foi realizada uma incisão sobre a pele, dissecação do tecido subcutâneo, muscular e exposição da costela (Figura 3D). Foi utilizada uma furadeira manual, acoplada a uma serra-copo modelo Starret 25mm, com broca-guia. A serra-copo foi posicionada no centro medial da costela e acionada perpendicularmente ao tecido ósseo para a retirada do fragmento (Figuras 3. E e F). Após a retirada do fragmento, este foi limpo com papel toalha e imerso em solução de formalina a 10%, tamponada, para posterior análise histológica. Após a extração do fragmento o tecido subcutâneo foi suturado com fio de *nylon* nº 0,50mm, em padrão contínuo simples, e a pele foi aproximada com fio de nylon nº 0,80mm, em padrão de sutura interrompida tipo Wolf (Figura 3G). As vacas foram tratadas com oxitetraciclina em dose única de 20mg/kg de peso vivo, flunixin meglumine, na dose de 1,1mg/kg de peso vivo, e *spray* repelente à base de sulfadiazina de prata por 5 dias. Foram mantidas em seus respectivos piquetes, de acordo com o grupo experimental (Figura 4A) e após 10 dias do procedimento cirúrgico foram retirados os pontos (Figura 4B).

Foram biopsiadas três matrizes de cada grupo experimental nas seguintes fases: no dia do diagnóstico de gestação, entre o sétimo e o oitavo mês de gestação e após 30 e 90 dias pós-parto.

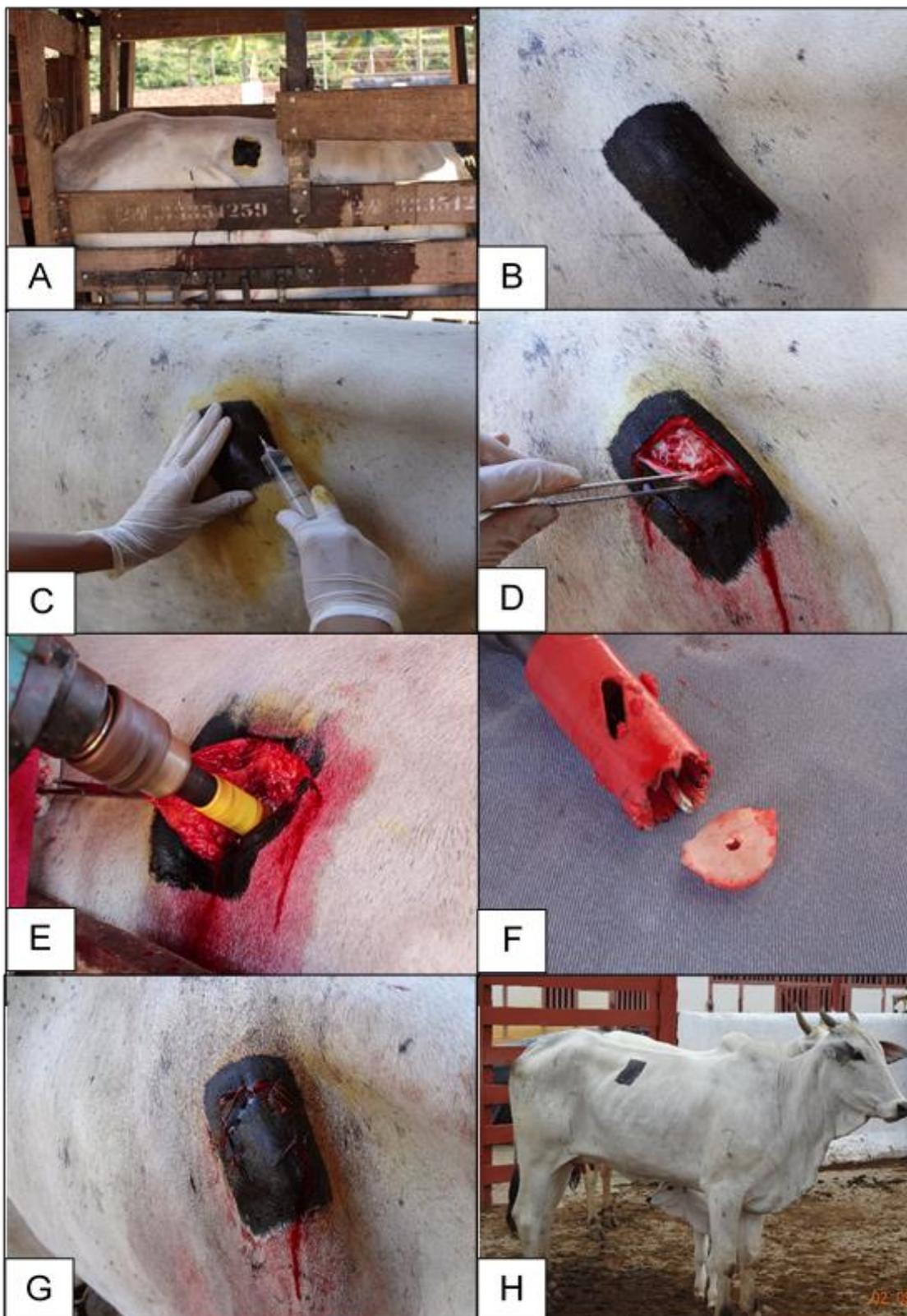


Figura 4. Realização da biópsia óssea. **A.** Nulípara contida no brete. **B.** Assepsia e tricotomia da região do terço final proximal da 12ª costela. **C.** Anestesia local infiltrativa. **D.** Incisão sob a pele e dissecação do tecido subcutâneo para exposição da costela. **E.** Broca serra-copo posicionada, no centro medial da costela e direcionada perpendicularmente para a retirada do fragmento ósseo. **F.** Fragmento ósseo após ser retirado. **G.** Sutura após procedimento de retirada da amostra óssea da costela. **H.** Nulípara após biópsia óssea.

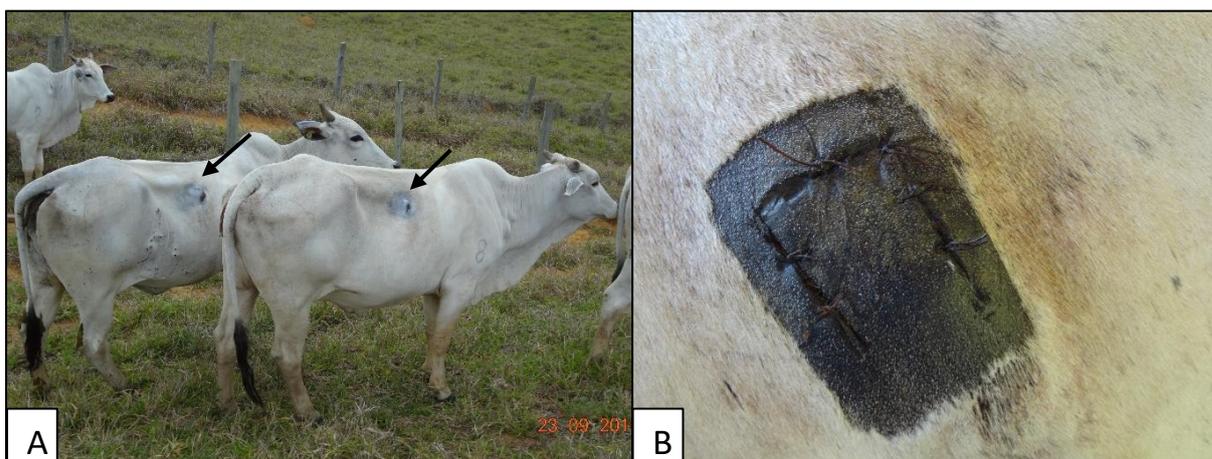


Figura 5. Processo cicatricial após biópsia nas nulíparas pós-parto. **A.** Nulíparas no piquete maternidade 10 dias após a biópsia óssea. **B.** Cicatrização da ferida cirúrgica no dia da retirada dos pontos, 10 dias após o procedimento.

Para a densidade específica óssea (D) os fragmentos foram retirados do recipiente com formalina a 10%, secados com auxílio de um papel toalha, pesados ao ar (PA) e imersos em uma massa (volume) conhecida de água por no máximo 1 minuto, e novamente pesados juntamente com a água (PH). O volume de água (V, em cm³) foi obtido como PA – PH. A densidade específica do osso (D, em g/cm³) foi determinada como PA/V.

Para a análise histológica foi retirado um fragmento de cada amostra, medindo cerca de 1x0,8cm. Estas amostras foram processadas no Laboratório do Setor de Anatomia Patológica (SAP) da UFRRJ. Após a aferição do tamanho de cada amostra, estas foram acondicionadas individualmente em frascos de vidro contendo ácido nítrico a 5% (50mL por fragmento), por 10 dias para descalcificação. Ao término da descalcificação, os tecidos foram neutralizados com uma solução alcalina de sulfato de sódio (Na₂SO₄) a 5% por 24 horas. Em seguida os fragmentos ósseos foram processados rotineiramente em gradientes de álcool e xilol, incluídos em parafina e cortados a 5µm em micrótomo rotativo. As lâminas histológicas obtidas foram coradas pela hematoxilina e eosina (HE) e tricrômico de Goldner (Suvarna et al., 2013).

Para a avaliação da densidade mineral óssea (DMO), as amostras coletadas foram submetidas à análise de densitometria óssea radiográfica. Inicialmente, as peças ósseas, depois de devidamente secas, foram colocadas sob filme fotográfico, todas na posição latero-lateral, e então radiografadas ao lado de uma régua de densidade de alumínio de 25 degraus, cujas alturas (espessuras) são de 0,25 mm entre os degraus 1 e 22, e de 1mm entre o degrau 23 até o 25 (Figura 5). Foi utilizado um aparelho de raio-X digital, modelo OEC 9900 Elite Series GE OEC Medical Systems, calibrado, com distância foco-filme de 90 cm, ajustado para 60 kVp, 10mAs e tempo de exposição de 0,10 segundos. Em seguida, as radiografias digitais foram salvas em formato JPEG. A leitura das radiografias, para determinação da DMO foi realizada utilizando-se a ferramenta histograma do *software* Corel PhotoPaint X4. Para as leituras densitométricas foram tomados dois pontos, um na região central e outro na periferia das imagens radiográficas, e em cada degrau da escada de alumínio. As tonalidades de cinza determinadas nas amostras foram convertidas em valores relativos à equivalência da espessura de cada degrau na escala de alumínio (mmEqAL), para aferição da DMO. Quanto maior o valor obtido, maiores as radiopacidades e, conseqüentemente, a densidade mineral óssea.

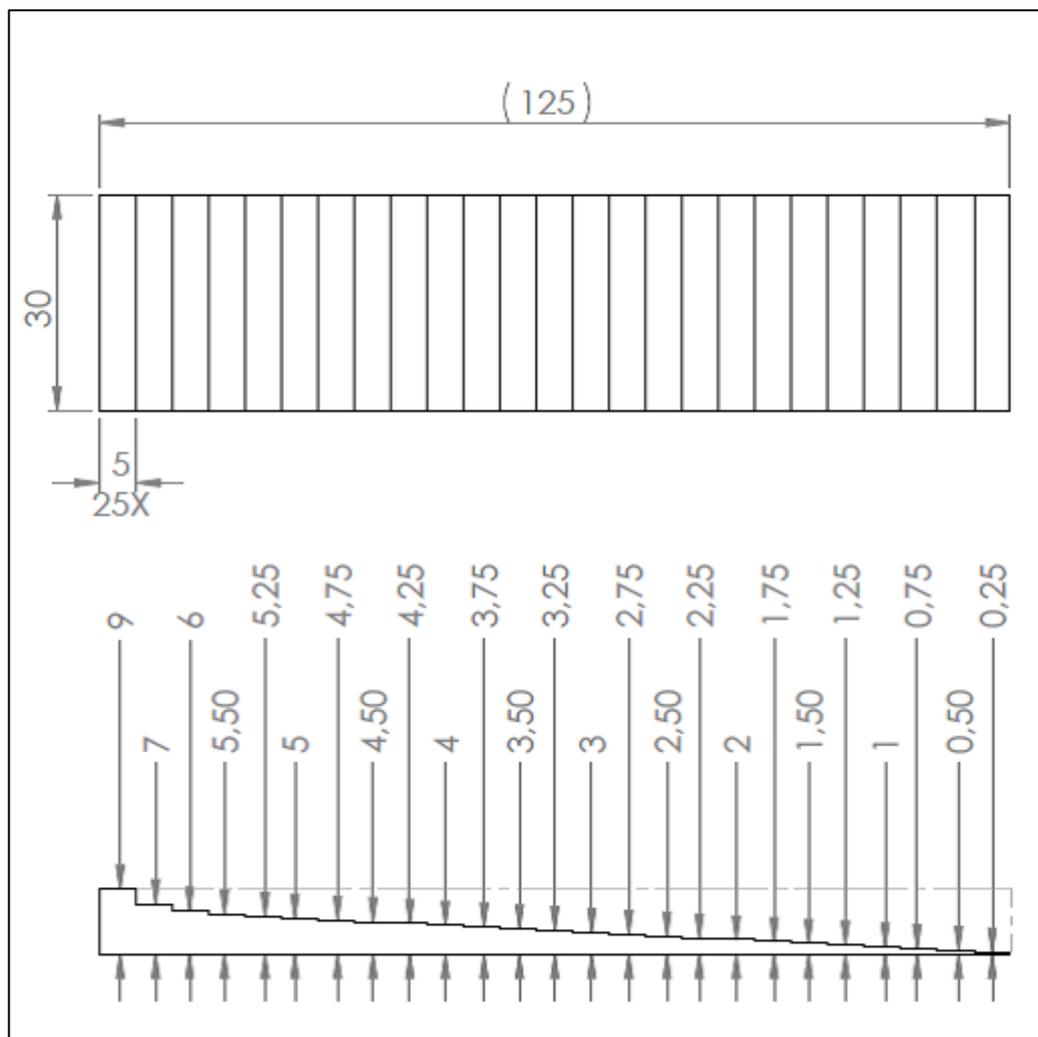


Figura 6. Desenho esquemático da régua de alumínio para a estimativa da DMO.

3.5 Pesagem dos Animais

Durante as fases experimentais as matrizes foram pesadas, individualmente, em uma balança eletrônica (Açôres®, modelo ACR 1500 - BPB085 Smart Balance), acoplada ao brete de contenção. Para obtenção do peso vivo os animais foram submetidos a um jejum de 12 horas e a pesagem foi realizada no dia do diagnóstico de gestação.

O peso dos bezerros, ao nascimento, foi estimado em 30kg. Aos 120 dias e aos 210 dias de vida foram encaminhados ao brete de contenção para a realização de nova pesagem.

O ganho de peso diário (GMD) foi ajustado para as idades de 120 e 210 dias. O GMD aos 120 dias foi calculado com base no ganho de peso total (GP) (peso aos 120 - 30kg do peso ao nascer) dividido pelos dias de vida ($(GP - 30\text{kg}) / \text{idade}$) e o peso ajustado para 120 dias foi obtido pelo $GMD * 120$. O mesmo procedimento foi realizado para obtenção do GMD aos 210 dias.

3.6 Colheita das Amostras da Forragem

Para a obtenção das amostras forrageiras foi empregada a técnica de pastejo simulado, de acordo com Johnson (1978).

Mensalmente foi realizada a visita ao pasto dos grupos estudados. No pasto, 15 pontos de forragem, aleatórios e distantes entre si foram escolhidos, coletados e armazenados juntos em um saco plástico devidamente identificado, de modo a formar uma amostra composta e representativa dos pastos em que cada grupo era mantido. As amostras colhidas foram

encaminhadas ao laboratório do Instituto de Zootecnia, no Departamento de Nutrição Animal e Pastagem (DNAP) da UFRRJ para a pré-secagem. Foi utilizada uma estufa de ventilação forçada, ajustada para 60°, por 72 horas. As amostras, antes de entrarem na estufa, foram acondicionadas em um saco de papel, pesadas e colocadas na estufa. Após 72 horas as amostras foram retiradas da estufa, resfriadas à temperatura ambiente por 5 minutos e então pesadas para se obter o teor de matéria seca. Em seguida as amostras foram moídas em moinho do tipo Willey, com peneira de 3mm. Ao fim, as amostras moídas foram armazenadas em sacos plásticos devidamente identificados para posterior envio para o laboratório Arasolos®, localizado em Araçatuba (SP) para análise de P.

3.7 Colheita e Processamento das Amostras Fecais

A colheita das fezes foi realizada mensalmente, no mesmo dia da coleta das amostras de forragem. As amostras de fezes frescas, escolhidas aleatoriamente, foram colhidas sem contaminação com solo e capim. Amostras de 10 placas fecais diferentes foram colhidas e armazenadas em um saco plástico, obtendo-se uma amostra composta e representativa de cada grupo de estudo. Após a colheita as amostras foram encaminhadas ao DNAP da UFRRJ para a pré-secagem. No laboratório as amostras foram distribuídas sobre um papel, pesadas e encaminhadas para a estufa de ventilação forçada a 60° e permaneceram por 72 horas. Após a pré-secagem as amostras permaneciam na bancada por 5 minutos para resfriamento, então eram pesadas e moídas em moinho tipo Willey, com peneira de 5mm, armazenadas em sacos plásticos e identificadas para envio para o laboratório Arasolos®, localizado em Araçatuba (SP) para se dosar o teor de P nas fezes.

3.8 Colheita e Processamento das Amostras de Sangue

A colheita de sangue foi realizada de acordo com os métodos propostos por Dirksen et al. (1993). As amostras foram obtidas no dia do diagnóstico gestacional, entre o sétimo e oitavo mês de gestação e após 30-90 dias pós-parto. Os animais foram contidos, individualmente, em brete. O procedimento iniciou-se com a antisepsia da base da cauda com álcool iodado; foi realizada uma punção na veia coccígea com o uso de uma agulha estéril para coleta de sangue à vácuo (25x8) e tubo “vacutainer”, com acelerador de coágulo (tampa vermelha). Foram coletados cerca de 4mL de cada matriz. Após a colheita foi realizada novamente a antisepsia da base da cauda e liberado o animal. Os tubos foram identificados, mantidos sobre refrigeração e encaminhados ao laboratório Labocani®, Paracambi - RJ, para a mensuração da concentração sanguínea de P, através do método (KANEKO et al., 2008).

3.9. Análise dos Resultados

Para interpretação dos dados econômicos foi empregada a estatística descritiva.

A metodologia de estimativa do custo operacional utilizada e proposta por Matsunaga et al. (1976), foi desenvolvida no Instituto de Economia Agrícola do Estado de São Paulo. Esquemáticamente o custo operacional efetivo compõem-se de todos os itens do custo variável e a parcela dos custos fixos que representem dispêndios em dinheiro e que estão associados à produção. Para obtenção do custo operacional total, soma-se ao custo operacional efetivo o custo com depreciação dos bens duráveis empregados no processo produtivo. Para calcular o custo de depreciação foi utilizada a metodologia linear (NOGUEIRA, 2004; AGUIAR e ALMEIDA, 2002; LOPES e CARVALHO, 2002), onde a depreciação = $(V_i - V_f) / n$, sendo: V_i - Valor inicial do bem; V_f - Valor final ou de sucata do bem; n - Tempo útil do bem (em anos).

Os dados das DMO e da densidade em água foram descritos pelas médias e seus respectivos intervalos de confiança.

4. RESULTADOS

4.1 Avaliação Econômica e Consumo das Misturas Minerais

O consumo e o custo da suplementação mineral dos grupos 40gP/kg e 0gP/kg do primeiro experimento constam nas Tabelas 3 e 4. A suplementação somente com NaCl gerou menor custo quando comparada com a SMS (40g P/kg), assim como menor consumo (Tabela 3). O consumo de NaCl nas duas fases (abril/setembro e outubro/maio) foi de 25,1g/UA/dia e 25,7g/UA/dia, respectivamente. Já o consumo da mistura com 40gP/kg foi de 38,8g/UA/dia e 38,1 g/UA/dia.

Durante o segundo experimento o consumo do grupo suplementado somente com NaCl foi de 28,5g/UA/dia e o consumo do grupo suplementado com 40gP/kg foi de 32,7g/UA/dia. Os custos dos suplementos 40gP/kg e 0gP/kg foram os mesmos durante o primeiro e o segundo período de estudo (R\$0,50kg/NaCl e R\$0,81kg/P), visto que os ingredientes foram comprados previamente e estavam armazenados na fazenda (Tabelas 3 e 4).

O custo total da fazenda (CT), o custo com depreciação, o custo operacional efetivo, bem como a porcentagem de gastos de acordo com a demanda da fazenda durante o período experimental constam na Tabela 5.

Tabela 3. Consumo e custo da suplementação do grupo NaCl (0P), no experimento 1

Período Suplementado	Dias de suplementação	Quantidade consumida (kg)	Preço (R\$/kg)	Despesa (R\$)	Consumo (g/UA/dia)
Abril a Setembro 2016	146	165	0,5	82,5	25,1
Outubro a Maio 2017	217	240	0,5	120,0	25,7
Total	363	405	0,5	202,5	-

Tabela 4. Consumo e custo da suplementação do grupo 40gP/kg, no experimento 1

Período Suplementado	Dias de suplementação	Quantidade consumida (kg)	Preço (R\$/kg)	Despesa (R\$)	Consumo (g/UA/dia)
Abril a Setembro 2016	146	255	0,81	206,5	38,8
Outubro a Maio 2017	217	330	0,81	267,3	38,1
Total	363	585	0,81	473,8	-

Tabela 5. Dados referentes ao custo total durante os anos experimentais

Anos	2017	2018	2019
Custo total	R\$ 340.119	R\$ 306.341	R\$ 202.105
Custo com depreciação	R\$ 11.675	R\$ 11.675	R\$ 11.675
Custo operacional efetivo (COE, em R\$/ano)	317.353	294.660	191.430
Despesa com suplementação mineral (R\$/ano)	5.591	6.684	2.426
Despesa com funcionários (% do COE)	36%	31%	41%
Despesa com pastagens (% do COE)	6%	7%	31%
Despesa com medicamentos (% do COE)	5%	7%	4%
Despesa com reprodução (% do COE)	8%	11%	2%
Despesa com equipamentos (% do COE)	1%	1%	0,1%
Despesa com combustível (% do COE)	1%	1%	0,3%
Despesa com suplementação mineral (% do COE)	1,8%	2,3%	1,3%

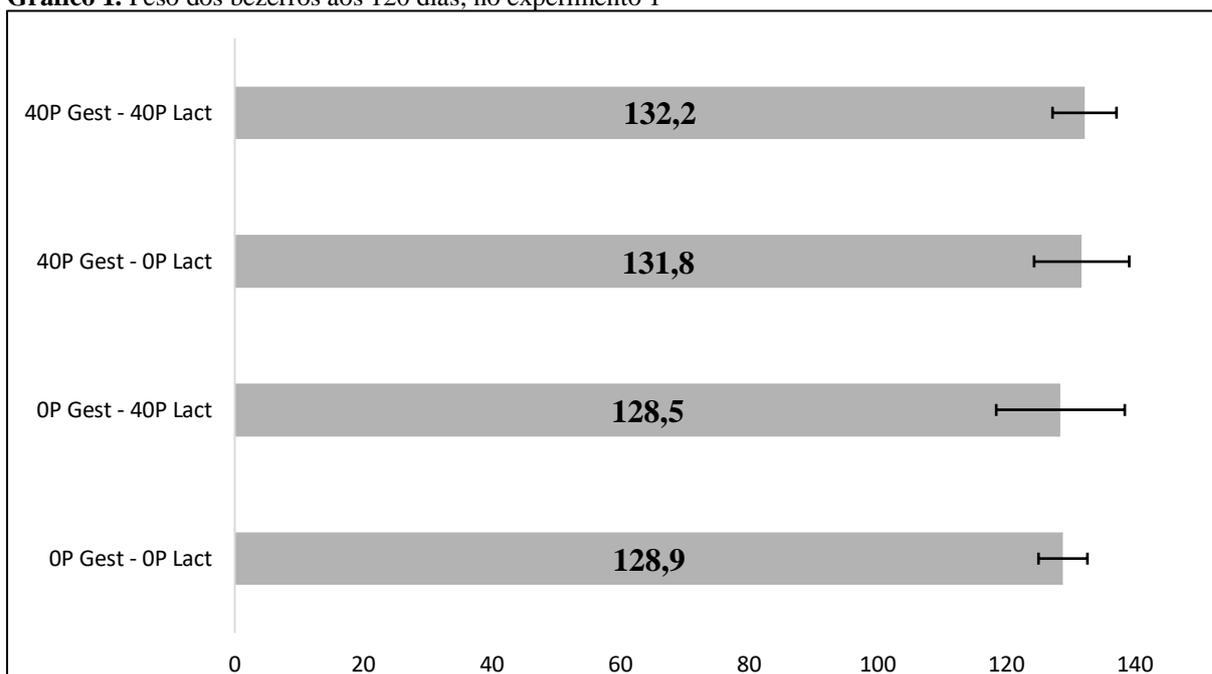
4.2 Índices Produtivos

4.2.1 Desenvolvimento dos Bezerros

O Gráfico 1 mostra a variação de peso entre os grupos de bezerros aos 120 dias de vida, bem como os intervalos de confiança das médias (IC) a 95%.

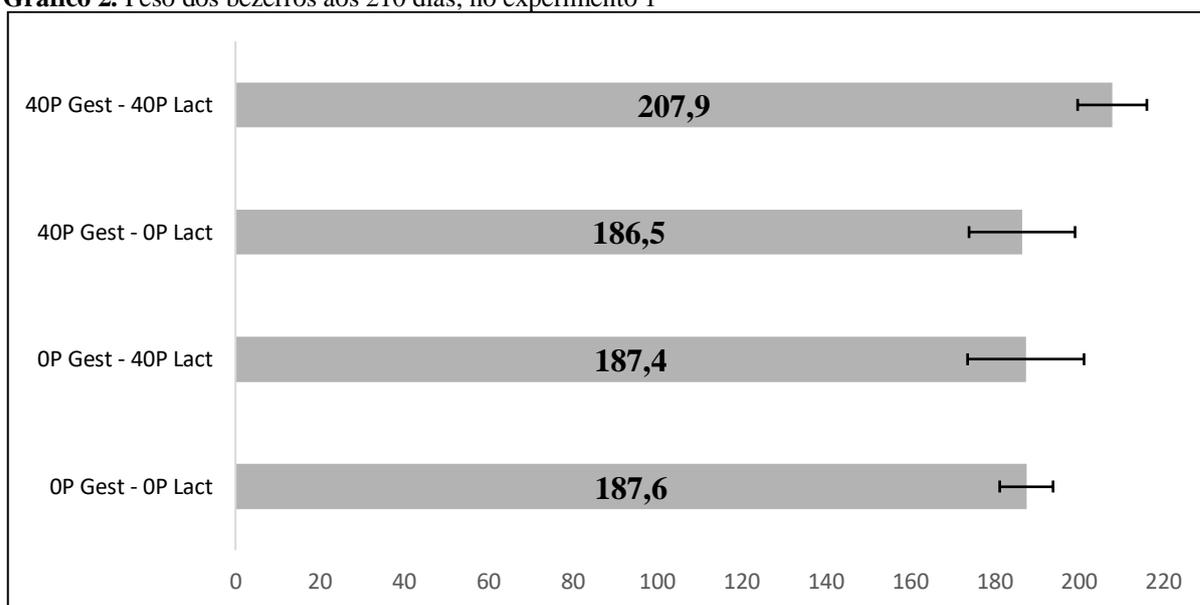
Foram desmamados 26 bezerros do grupo de matrizes suplementadas com 0gP/kg na gestação e 0gP/kg na lactação; 15 bezerros do grupo 0gP/kg durante a gestação e 40gP/kg na lactação, 12 bezerros no grupo 40gP/kg na gestação e 0gP/kg na lactação e 28 bezerros no grupo 40gP/kg P na gestação e 40gP/kg na lactação. As médias de peso ao desmame foram respectivamente: 187kg, 187,4kg, 186,5kg e 208kg e os IC (95%) foram de 6,3; 13,8; 12,6; 8,2, respectivamente (Gráfico 2).

Gráfico 1. Peso dos bezerros aos 120 dias, no experimento 1



Gest: gestação; Lact: lactação.

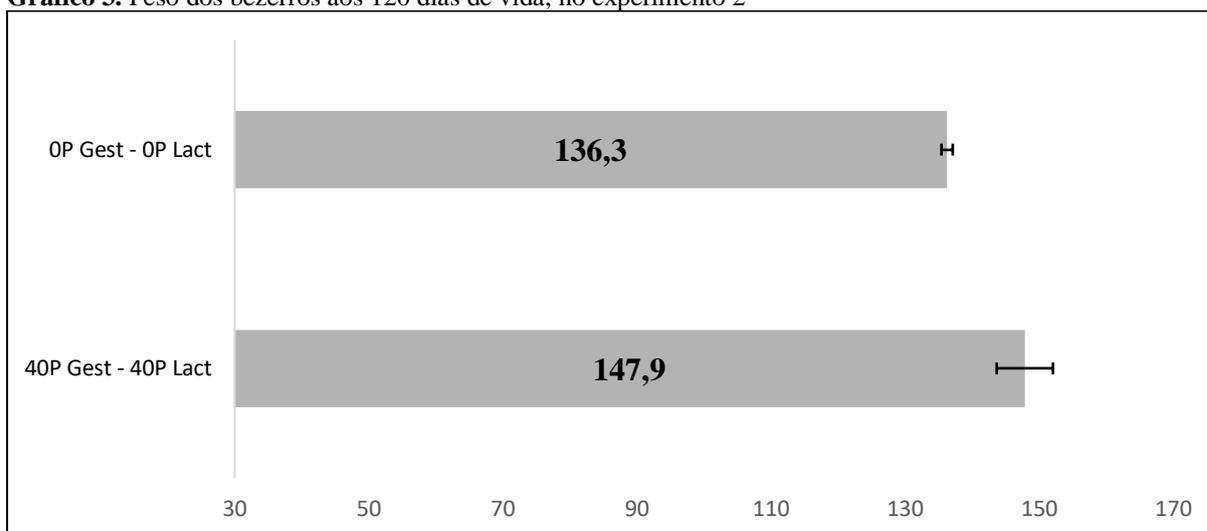
Gráfico 2. Peso dos bezerros aos 210 dias, no experimento 1



Gest: gestação; Lact: lactação.

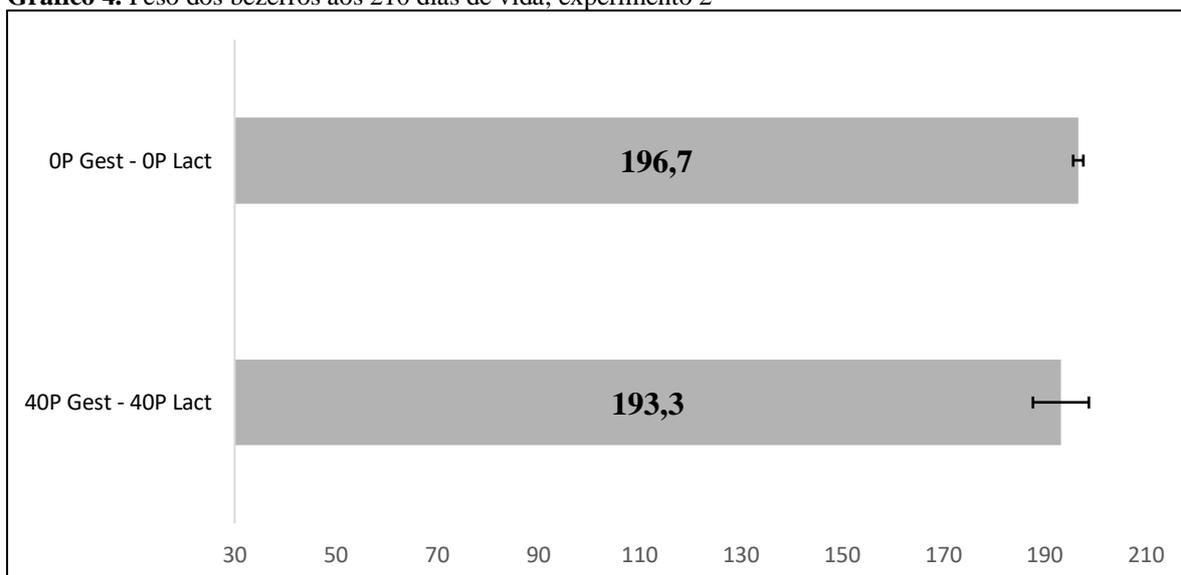
No segundo experimento (2018/2019) foram desmamados 200 bezerros, sendo 164 provenientes de matrizes que receberam a suplementação com NaCl e 36 bezerros de matrizes que receberam 40gP/kg durante a gestação e pós-parto. O peso médio aos 120 dias de vida (Gráfico 3) dos bezerros de vacas suplementadas com NaCl foi de 136,3kg (IC 0,84); já os bezerros, provenientes de vacas que receberam 40gP/kg pesaram em média 147,9kg (IC 4,22); uma diferença de peso de 11,6kg a favor do grupo de bezerros provenientes de vacas que receberam suplementação fosfórica (Gráfico 3). Aos 210 dias (desmame) o peso dos bezerros do grupo 0gP/kg foi de 196,7kg (IC 1,0) e os bezerros do grupo 40gP/kg pesaram 193,3kg (IC 5,5); portanto, o peso médio à desmama foi similar entre os dois grupos experimentais (Gráfico 4).

Gráfico 3. Peso dos bezerros aos 120 dias de vida, no experimento 2



Gest: gestação; Lact: lactação.

Gráfico 4. Peso dos bezerros aos 210 dias de vida, experimento 2



Gest: gestação; Lact: lactação.

4.3 Avaliação da Resistência Óssea

4.3.1 Teste da Agulha

O TA foi realizado em cerca de 10% das matrizes de cada grupo experimental do experimento 1. O primeiro teste foi realizado no dia da separação dos lotes e todos os animais testados foram negativos. Posteriormente, a cada dois meses, o teste foi realizado até o desmame dos bezerros. Durante todo o estudo nenhuma matriz foi positiva no TA, independente do grupo experimental, tempo de gestação ou tempo de lactação.

4.3.2 Espessura da Cortical

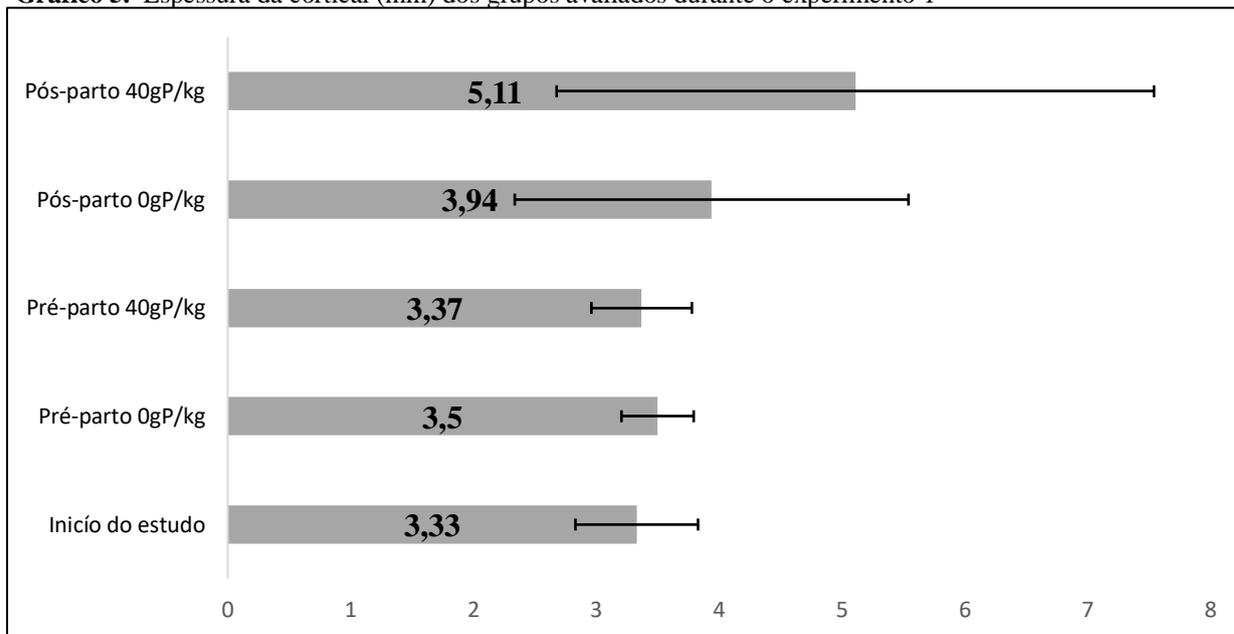
No início do estudo a espessura média da cortical foi de 3,3mm (IC 0,49); estas nulíparas estavam com prenhez confirmada de cerca de 50 dias (Gráfico 5).

Por volta do sexto/sétimo mês de gestação foi realizada novamente a biópsia da costela óssea de três nulíparas de cada grupo experimental. A espessura da cortical das nulíparas suplementadas somente com NaCl no pré-parto foi de 3,5mm (IC 0,29) e das nulíparas

suplementadas com 40gP/kg de 3,3mm (IC 0,40) (Gráfico 5). Esse período gestacional foi escolhido devido à maior demanda fetal de nutrientes (*i.e.P*) e início da colostrogênese.

Três novilhas de cada grupo experimental, com cerca de 30-60 dias pós-parto, foram submetidas a biópsias ósseas; esse período é o período de maior demanda de P. A espessura da cortical das nulíparas do grupo 0gP/kg foi de 3,94 (IC 1,60) e do grupo 40gP/kg foi de 5,11 (IC 2,43) (Gráfico 5).

Gráfico 5. Espessura da cortical (mm) dos grupos avaliados durante o experimento 1



Níveis de referências: deficiência clínica de P: < a 2,5mm; deficiência subclínica de P 2,5 a 3,0mm; níveis adequados de P: > 3mm (Malafaia 2020, em comunicação pessoal).

4.3.3 Densidade Específica Óssea (D)

As médias de densidade específica óssea (D) de cada amostra colhida através das biópsias ósseas constam na Tabela 6.

Até o início do estudo as nulíparas estavam sendo suplementadas com uma SMS contendo 12,5gP/kg. Duas nulíparas, com prenhez confirmada de cerca de 50 dias foram biopsiadas no primeiro dia do experimento; a média foi de 1,55 (IC 0,184) (Tabela 6).

Tabela 6. Densidade específica óssea

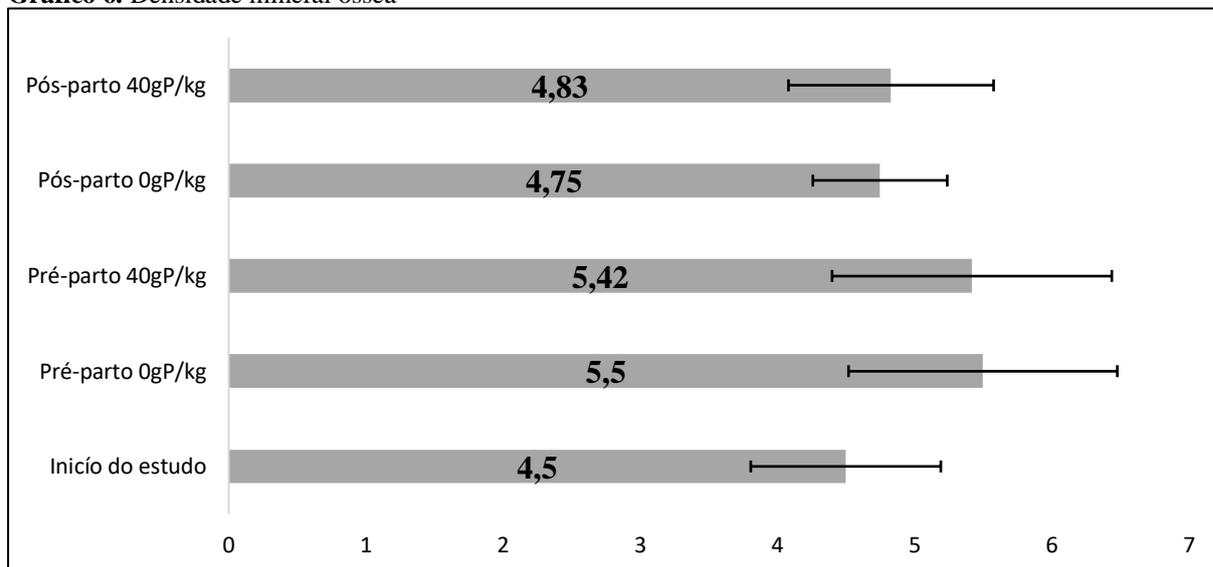
Período experimental	Médias	IC 95%
Início do estudo	1,55	0,184
Pré-parto (0gP/kg)	1,51	0,388
Pré-parto (40gP/Kg)	1,58	0,239
Pós-parto (0gP/kg)	1,53	0,111
Pós-parto (40gP/kg)	1,55	0,099

Níveis de referências: sugestivo de deficiência clínica de P: < 1,4g/cm³; sugestivo de deficiência subclínica de P: 1,40 e 1,50g/cm³; níveis adequados de P: > ou = a 1,50g/cm³ (Malafaia 2020, em comunicação pessoal).

4.3.4 Densidade Mineral Óssea

As densidades minerais ósseas (DMO) constam na Gráfico 6. As maiores médias de DMO foram obtidas durante o pré-parto das nulíparas. Após o parto ocorreu uma discreta diminuição da DMO (Gráfico 6).

Gráfico 6. Densidade mineral óssea



Níveis de referências: deficiência clínica de P: < 3,50; deficiência subclínica de P 3,5 e 4,0; níveis adequados de P: > 4,0 (Malafaia 2020, em comunicação pessoal).

4.3.5 Análise Histológica das Amostras Ósseas

Na avaliação das lâminas histológicas, as colorações da hematoxilina e eosina e do tricrômico de Goldner não revelaram alterações histológicas significativas em todas as matrizes, independente do grupo e do tempo de gestação e lactação. No espaço medular observaram-se trabéculas com grau normal de mineralização, em meio à medula óssea adiposa. A superfície endosteal apresentou áreas multifocais com fina camada de osteoide, e em algumas áreas não recobertas por osteoide, observou-se discreta reabsorção óssea por osteoclastos. Na superfície endosteal a aposição e absorção encontrava-se em equilíbrio (Figura 7).

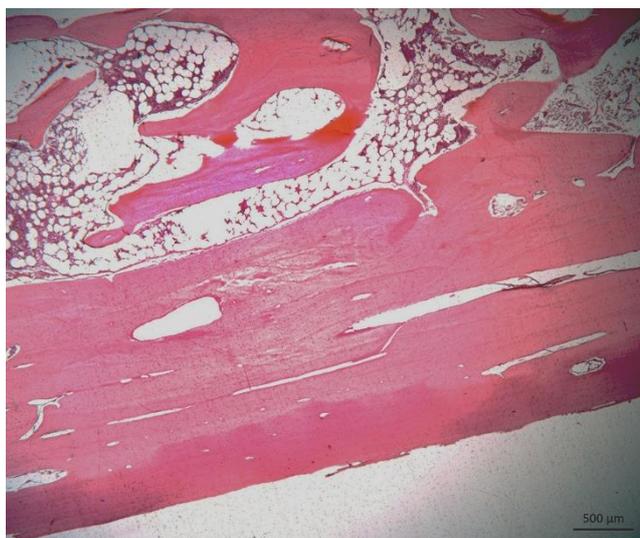


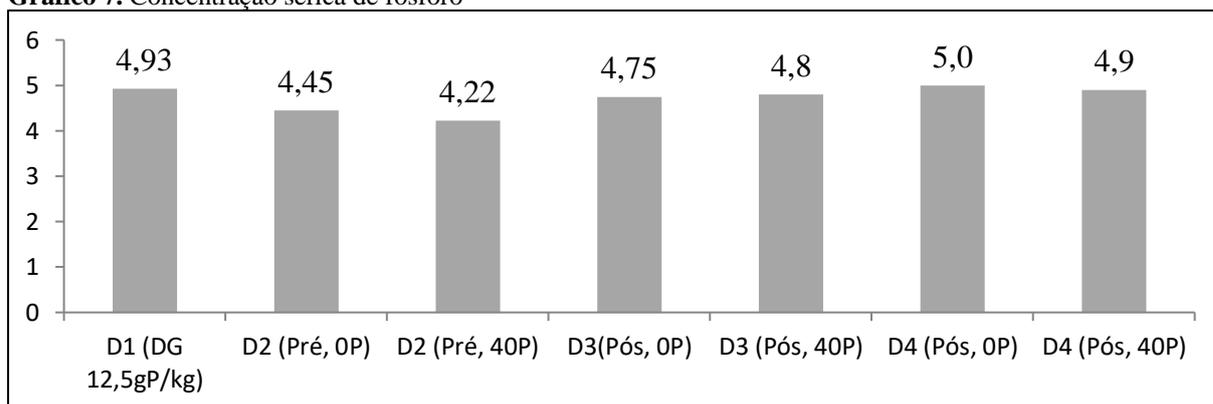
Figura 7. Histologia óssea de costela de bovino consumindo 0gP/kg, em pós-parto. O osso cortical e trabéculas ósseas de espessuras normais.

4.4 Concentrações de Fósforo

4.4.1 Concentração Sérica de Fósforo

A concentração sérica de P consta no Gráfico 7. Independente do estágio gestacional, tempo de lactação ou grupo experimental em que as nulíparas estavam alocadas não foi identificado, através da concentração sérica de P, deficiência de P, visto que, todos os valores estavam dentro da normalidade (Gráfico 7).

Gráfico 7. Concentração sérica de fósforo



D1: 04/04; D2: 29/08; D3: 28/10, D4: 16/01; DG: diagnóstico de gestação (início do estudo); Pré: pré-parto; Pós: pós-parto

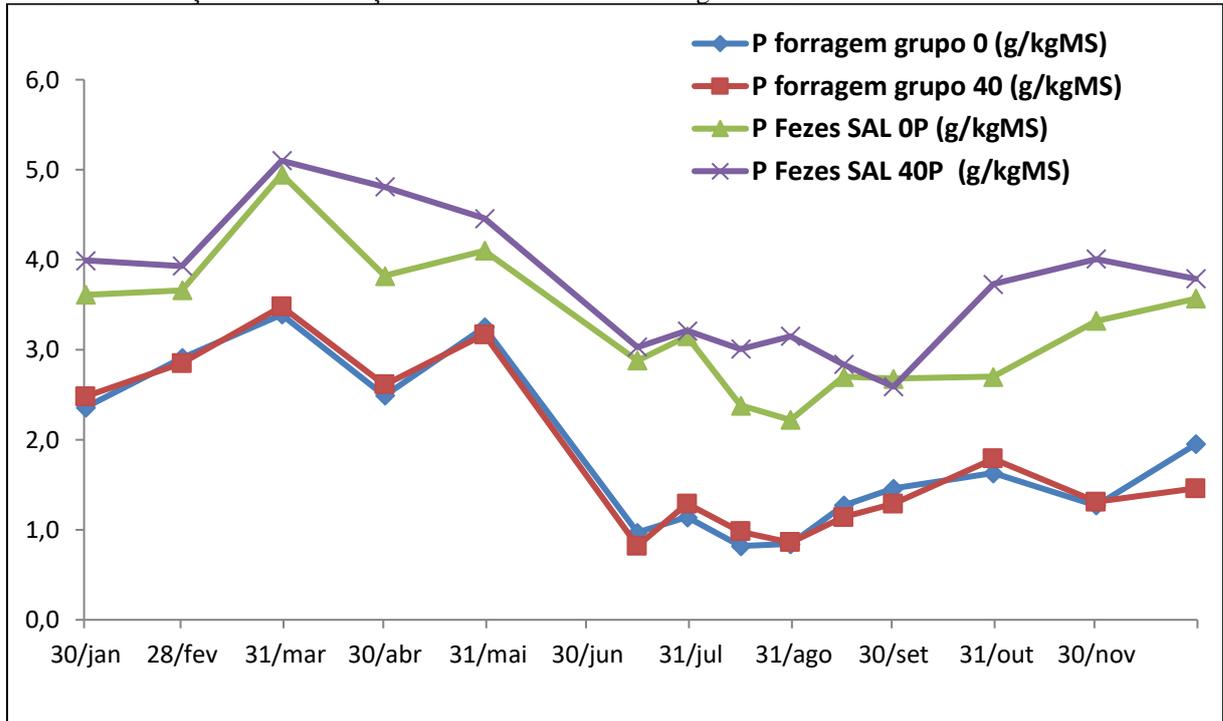
4.4.2 Concentração de Fósforo nas Fezes e na Forragem

As concentrações de P na forragem, colhida através do método de pastejo simulado, nos respectivos piquetes dos grupos avaliados, foram similares durante todo o período avaliado (Gráfico 8). A maior concentração de P na forragem foi no mês de março (3,48gP/kg), e ocorreu uma queda similar nos piquetes no mês de abril (2,61gP/kg grupo 40P; 2,49gP/kg grupo 0gP/kg), seguida por um novo aumento na concentração no mês maio (3,17gP/kg); após o mês de maio ocorreu uma queda substancial na concentração de P (0,97gP/kg grupo 0gP/kg; 0,82gP/kg grupo 40gP/kg), relacionada ao período seco, e com a diminuição na qualidade da forragem (Gráfico 8).

A concentração de P nas fezes apresentou pequenas variações entre o grupo suplementado com 40gP/kg e o grupo 0gP/kg. O grupo que recebeu 40gP/kg excretou maior concentração de P nas fezes, fato diretamente relacionado à maior ingestão através da suplementação com P. Quando a forragem teve maiores concentrações de P ocorreu ainda maiores excreções de P através das fezes, portanto o que era ingerido acima das necessidades diárias e não armazenado nos ossos era excretado para o ambiente (Gráfico 8).

Através da comparação dos níveis de ingestão de P entre os grupos, através do pastejo simulado da forragem, e conhecendo-se a quantidade consumida por indivíduo (Tabelas 3 e 4) e a excreção de P nas fezes pode-se inferir que, quanto maior a quantidade de P ingerida, maior sua excreção para o ambiente. Levando ao maior custo de produção e ao desperdício.

Gráfico 8: Variação da concentração de P nas amostras de forragem e fezes



MS: matéria seca.

5. DISCUSSÃO

5.1 Avaliação Econômica e Consumo das Misturas Minerais

Através desse conhecimento é necessário realizar formulações baseadas nas necessidades de cada categoria animal, levando em consideração os componentes das dietas e a avaliação clínica para averiguar sinais de deficiência de um ou mais minerais; tal como realizado no presente estudo. Do ponto de vista prático a suplementação com altos níveis de P representa um custo desnecessário, haja visto que o excesso de P ingerido não exerce nenhum efeito benéfico adicional aos animais e o valor do P é o principal contribuidor para elevar o custo da suplementação mineral; portanto, é essencial se buscar o uso racional de P, levando a reduções significativas no custo operacional. De acordo com diversas estimativas, feitas por pecuaristas e técnicos, sem a devida metodologia de avaliação econômica a suplementação mineral pode constituir de 20 a 30 % do custo total de produção de gado de corte criado em pastagens, daí a redução desses gastos constituir um vasto tema de importantes pesquisas no Brasil (PEIXOTO et al., 2003, 2005; COELHO et al., 2008; LEMOS et al., 2013; MALAFAIA et al., 2014a, 2014b, BARBOSA et al., 2016). No presente estudo a suplementação mineral foi responsável por 1,8%, 2,3% e 1,3%, respectivamente, do custo operacional efetivo da fazenda, nos anos estudados (Tabela 5).

Lopes et al. (2018) avaliaram nessa mesma fazenda, o consumo e o custo da suplementação de matrizes de cria da raça Nelore suplementadas com SMS e a MMC, durante os anos de 2013 a 2016. A partir do ano de 2014 foi realizado o diagnóstico clínico-nutricional no rebanho e formulado uma SMS, 12,5gP; essa mistura foi feita dentro da propriedade eliminando os custos relacionados ao *marketing*, sacarias e comissões de vendas. O consumo das matrizes nos anos 2014, 2015 e 2016 foi respectivamente, 35g/UA/dia, 41,1g/UA/dia e 32,0g/UA/dia. O presente estudo possui similaridade com os achados descritos por Lopes et al. (2018); porém, a concentração fosfórica foi diferente (40gP/kg) e testou-se um grupo sem suplementação com P, com o objetivo de desafiar e entender a demanda de P nas categorias e a área (solo) estudada; outro fator que difere dos achados descritos é a administração de Cu e Co, que no presente estudo não foram adicionados à fórmula mineral, por já haver conhecimento prévio de que não havia deficiência desses minerais, o que consequentemente levou ao menor custo com a fórmula mineral usada no trabalho em tela.

De acordo com Peixoto et al. (2003) o preparo da fórmula mineral específica por categoria animal, mediante o exame clínico-nutricional dentro da propriedade, diminui o custo agregado ao produto, pois é adicionado à fórmula somente o mineral necessário e em quantidades adequadas. Tal opinião condiz com os resultados do presente estudo no qual a mistura mineral foi feita na fazenda, de acordo com os grupos experimentais, eliminando os custos adicionais referentes ao mercado, evitando-se a suplementação com minerais desnecessários e possíveis antagonismos entre os minerais suplementados.

Uma discreta diferença no consumo ocorreu entre os grupos da primeira fase experimental e os da segunda; tal fato pode ser atribuído à idade, tamanho e peso das vacas do segundo grupo experimental, pois esse grupo era constituído por vacas adultas com maiores demandas fisiológicas.

As despesas com suplementação mineral, durante os anos de 2017, 2018, foram superiores ao ano de 2019 (Tabela 5); esta diferença está relacionada ao fato de que em 2017 e 2018 a fazenda usava uma SMS com 12,5gP/kg e em 2019 passou a usar somente NaCl.

Poucos estudos no Brasil compararam o custo da suplementação mineral com base no custo operacional efetivo, bem como o custo total do sistema de produção. Lopes et al. (2018) relatam a comparação de uma MMC com uma SMS e seus referentes custos, durante os anos de 2013, 2014, 2015 e 2016. Respectivamente, o COE/ano (US\$) foi de 177,600; 150,850;

111,650; 77,450, sendo as despesas com suplementação de US\$/ano de 10,900, 2550, 1250, 900. Quando comparado com o COE do presente estudo observa-se uma diferença que pode estar atribuída a fatores ligados à manutenção de pastagem, medicamentos, reprodução, entre outros (Tabela 5).

Pillati et al. (1996) citam que o custo de suplementar bovinos com P em pastagens deficientes é relativamente elevado, sendo este elemento o responsável por mais de 50% do ônus representado pelo uso de misturas minerais; o que difere do presente estudo, onde as pastagens/solo (Gráfico 8) não são deficientes em P, pois durante toda a fase experimental não ocorreu manifestação clínica e o custo da suplementação foi de 1,8%, 2,2% e 1,30% respectivamente nos anos estudados (Tabela 5).

Os resultados do presente estudo demonstram que o consumo da SMS é similar ao de outros estudos e que possui menor custo direto e representa menores porcentagens dentro do COE, e que a suplementação somente com NaCl apresentou consumo similar ao relatado por Tokarnia et al. (2010) e menor custo, quando comparado com outras fórmulas minerais.

5.2 Índices Produtivos

5.2.1 Ganho de Peso dos Bezerros

O ganho de peso dos bezerros aos 120 dias de vida é muito influenciado pela capacidade de produção de leite da vaca. Após esse período, o bezerro já tem capacidade de pastar seletivamente e, assim, ganhar peso se alimentando de pasto e do pouco leite materno. A maior produção de leite das vacas Nelore se verifica nos primeiros 3 a 4 meses após o parto; portanto, a avaliação dos pesos dos bezerros aos 120 dias mede, indiretamente, a habilidade materna (SOUZA JUNIOR et al., 2011; MALAFAIA 2020, comunicação pessoal).

Quando comparado o ganho de peso aos 120 dias de vida dos bezerros do experimento 1 (Gráfico 1) com os do experimento 2, observa-se que não ocorreu diferença significativa entre os grupos experimentais; portanto, não houve deficiência de P na fase gestacional e nos primeiros 4 meses pós-parto. Caso houvesse, as mães teriam parido e produzido menos leite, o que afetaria o peso dos bezerros aos 120 dias. Quando comparado o peso médio dos bezerros provenientes de vacas que foram suplementadas com 40gP/kg, durante a gestação e a lactação, com os pesos dos bezerros provenientes de vacas que somente receberam NaCl, durante a gestação e a lactação, observa-se uma diferença de 3,3kg; porém o IC95% para o grupo 40P na lactação e 40P na gestação é de 5kg e o grupo 0P na gestação e 0P na lactação é de 3,8kg. Portanto, o grupo de fêmeas que não recebeu suplementação fosfórica, em nenhuma fase (gestação ou lactação), teve peso similar ao grupo que foi suplementado durante todas as fases (gestação e lactação) com 40gP/kg. Quando avaliado o custo da suplementação e sua eficiência no peso dos bezerros aos 120 dias pode-se concluir que, neste caso a suplementação com P durante a gestação e lactação não surtiu efeito positivo.

O peso à desmama, referente ao experimento 1 (Gráfico 2), apresenta uma disparidade de 20,3kg entre os grupos avaliados, quando comparado aos grupos suplementados durante a gestação e lactação com 40gP/kg e o grupo suplementado apenas com NaCl; tamanha desigualdade entre os grupos pode ser explicada pelo pequeno número de bezerros desmamados em cada categoria, bem como a variabilidade genética do rebanho, fatores ambientais e a habilidade materna das nulíparas, visto que a idade materna está intimamente ligada à capacidade de produção de leite no decorrer de sua vida (SOUZA JUNIOR et al., 2011). Em geral, é relatado que o peso à desmama aumenta com a idade da vaca, até esta atingir sua maturidade fisiológica e, conseqüentemente, apresentam uma tendência a queda no peso dos bezerros ao desmame, após a maturidade fisiológica das vacas. Outro fator importante que precisa ser levado em conta é o mês de nascimento dos bezerros, visto que os

bezerros nascidos no início da estação de nascimentos tendem a apresentar maior ganho de peso (PAZ e ALBUQUERQUE 1999). No presente estudo, a média de pesos dos bezerros refere-se a todos os bezerros nascidos dentro da estação de nascimentos de acordo com seus respectivos grupos experimentais. Justamente para esclarecer a diferença entre os pesos à desmama dos bezerros, cujas múltíparas foram suplementadas com 40gP/kg *versus* NaCl, por toda gestação/lactação; o segundo experimento foi planejado com um maior número de matrizes.

O experimento 2 (2018/2019) testou somente a suplementação com 40gP/kg e somente NaCl, em vacas de todas as categorias na fazenda (nulíparas e múltíparas), buscando-se averiguar se poderia ocorrer diferença no peso dos bezerros (Figura 2). Quando comparado o peso dos bezerros aos 120 dias, provenientes de matrizes suplementadas com 40gP/kg ou somente NaCl (Gráfico 3) observa-se que ocorreu, no segundo experimento, um maior ganho de peso nos grupos suplementados com 40gP/kg; tal fato pode estar ligado à maior quantidade de vacas múltíparas nos respectivos grupos, pois possuem melhor habilidade materna e maior produção de leite (SOUZA JUNIOR et al., 2011)

Na segunda fase experimental o peso ao desmame foi similar entre os grupos avaliados (Gráfico 4). Portanto, independente da suplementação adotada, o ganho de peso ao desmame foi considerado como dentro do preconizado em um sistema de cria moderna. Quando comparado o peso ao desmame do experimento 1 (Gráfico 2) e do experimento 2 (Gráfico 4) observa-se similaridade no peso à desmama entre os grupos experimentais.

Desmamar bezerros saudáveis e com bom desempenho é interessante para o pecuarista, pois o peso à desmama influencia diretamente o valor na comercialização (GUIMARÃES et al., 2006); tal opinião condiz com o presente estudo, em que os bezerros foram desmamados com pesos considerados normais para o desmame de bezerros de corte, e bezerros provenientes de vacas suplementadas somente com NaCl apresentaram menor custo de produção para a propriedade, logo aumento na lucratividade.

Lopes et al. (2018) relataram o peso ao desmame de bezerros machos e fêmeas, aos 210 dias de vida de vacas suplementadas com MMC (75gP/kg) e SMS (12,5gP/kg). As bezerras de vacas que eram suplementadas com MMC pesaram 163 kg ($\pm 3,9$) e os machos 166 kg ($\pm 7,4$); já nos anos avaliados com o consumo de SMS (2013, 2014, 2015 e 2016), respectivamente o peso ao desmame das fêmeas foi de: 167 kg ($\pm 3,1$), 167 kg ($\pm 2,8$), 172 kg ($\pm 4,3$) e dos machos 175 kg ($\pm 3,9$), 176 kg ($\pm 3,8$), 181 kg ($\pm 4,5$); valores próximos às médias dos pesos ao desmame que foram encontradas no presente estudo (Gráficos 2 e 4).

5.3 Avaliação da Resistência Óssea

5.3.1 Teste da Agulha

As nulíparas dos grupos experimentais foram negativas no TA, sendo assim estes animais possuíam ossos impenetráveis e não apresentavam fragilidade óssea; portanto, não havia deficiência de P nas nulíparas, quando avaliadas pelo teste da agulha. É importante ressaltar, ainda, que o teste foi realizado a cada dois meses a partir dos 50 dias de gestação; em nenhuma fase avaliada (gestação e lactação), foi encontrado animais positivos. Resultados similares foram descritos por Lopes et al. (2018) ao avaliarem vacas de corte da raça Nelore, gestantes e em lactação, suplementadas com 12,5gP/kg, nas quais verificou-se que a suplementação mineral seletiva, formulada para a propriedade estudada, foi suficiente para atender às exigências de P das vacas e gerou menor custo. Malafaia et al. (2018) relataram um caso de uma fazenda de cria com 430 vacas da raça Nelore que, inicialmente, recebia suplementação mineral comercial diluída em NaCl (13,0gP/kg), com rebanho manifestando osteofagia; ao realizar o teste da agulha verificou que 53% das vacas do rebanho eram positivas; após os resultados do teste e avaliação clínico-nutricional o rebanho foi submetido a uma nova fórmula mineral com 28gP/kg; meses após o acompanhamento não havia mais

vacas positivas para o teste da agulha. Os achados relatados diferem dos resultados encontrados neste estudo onde nenhuma matriz apresentou-se positiva para o TA, praticava osteofagia ou apresentou sinais de deficiência clínica ou subclínica.

O TA é eficiente e prático para ser empregado a campo; porém, é necessário que ocorra maior disseminação e padronização de seu emprego para intensificar e melhorar o diagnóstico de deficiência de P em fazendas. Segundo Malafaia et al. (2018) o TA é um teste simples, barato e seguro para auxiliar no diagnóstico dos distintos graus de deficiência de P.

5. 3.2. Avaliação do Tecido Ósseo

Não ocorreu complicação pós-cirúrgica após as biópsias das costelas, o que difere dos resultados descritos por Malafaia et al. (2017b), que relatam que dois dos bovinos biopsiados apresentaram inflamação na ferida cirúrgica. Todas as matrizes submetidas às biópsias ósseas foram acompanhadas, regularmente até a retirada dos pontos e a completa cicatrização da ferida cirúrgica, bem como não ocorreu diminuição visual no escore corporal das fêmeas avaliadas, o que condiz com o relato de Malafaia et al. (2017b). É importante ressaltar que a biópsia óssea foi realizada a campo e as nulíparas foram mantidas em seus respectivos piquetes após o procedimento; portanto a técnica pode ser realizada com relativa tranquilidade nas fazendas, desde que tenha um Médico Veterinário capacitado para realizar os procedimentos cirúrgicos e orientar os procedimentos pós-operatórios.

Ao avaliar os resultados pode-se constatar que as nulíparas suplementadas com 40gP/kg apresentaram aumento na espessura da cortical, na DMO e na densidade mineral em água, quando comparado com o grupo suplementado somente com NaCl; porém, segundo Souza et al. (2017) bovinos adultos suplementados com maiores teores de P apresentam maior espessura da cortical sem alterar a resistência óssea, a DMO e a densidade mineral em água.

5. 3.3 Espessura da Cortical

Estudos que relacionam os níveis de suplementação fosfórica associados a diferentes condições fisiológicas em bovinos são escassos na literatura. Little (1972) realizou um estudo para caracterizar o “*status*” fosfórico em bovinos jovens suplementados com altos níveis de P, baixos níveis de P e vacas lactantes com severa deficiência de P e relatou a importância de se avaliar a espessura do osso cortical das amostras ósseas colhidas da 12^a costela. Malafaia (2020, comunicação pessoal) comenta que a espessura da cortical pode apresentar variação com a idade, o peso corporal e o estado fisiológico dos bovinos e, portanto, não dever ser utilizada como único parâmetro para estabelecer o diagnóstico de deficiência de P, principalmente na forma subclínica, na qual as variações podem ser sutis; portanto, é necessário associar a outros parâmetros clínicos, tal como realizado no presente estudo.

Malafaia et al. (2018) em estudo de caso em um rebanho positivo no TA e realizando osteofagia, avaliaram a espessura da cortical, e relataram que a espessura média da cortical era de 2,3mm, espessura esta compatível com deficiência de P. Este difere dos resultados do presente estudo, que revelou, no início do estudo, a espessura média da cortical das nulíparas de 3,3mm, durante o sétimo/oitavo mês de gestação; no grupo suplementado com 0gP/kg foi de 3,5mm e no grupo com 40gP/kg foi de 3,3mm. Após o parto o grupo suplementado com 0gP/kg teve uma espessura média da cortical de 3,9mm e no grupo de 40gP/kg foi de 5,1mm (Gráfico 5).

Malafaia (2020), em comunicação pessoal, informa que é considerada a deficiência clínica de P quando a espessura da cortical for inferior a 2,5mm; deficiência subclínica 2,5 a 3,0mm e níveis adequados de P acima de 3mm, bem como é importante ressaltar a necessidade de padronização na avaliação das bordas, visto que a mesma amostra possui espessura diferente em seu bordo cranial e em seu bordo caudal. E que se deve sempre medir

a espessura da cortical no bordo cranial e na face lateral da costela, tal como realizado no presente estudo.

As nulíparas no pós-parto, suplementadas com 40gP/kg, apresentaram uma média da espessura da cortical maior que as no pós-parto que receberam 0gP/kg; essa maior espessura da cortical está diretamente relacionada à maior deposição de P nos ossos, como relatado por Souza et al. (2017) em seu estudo. O aumento da espessura da cortical, acima do valor de 3,0mm não apresenta maior benefício ao animal, significa apenas que houve maior consumo de P e que este foi alocado nos ossos. Corticais mais espessas não significam mais saúde ou maior fertilidade ou produção de leite.

5.3.4. Densidade Específica Óssea

A densidade específica óssea, juntamente com outros parâmetros ósseos e clínicos, auxilia no diagnóstico de deficiência de P. Malafaia (2020), em comunicação pessoal, informa que a partir de anos de estudos, avaliou resultados de biópsias ósseas provenientes de bovinos adultos zebuínos, e pode concluir que densidades menores que 1,4g/cm³ são sugestivas de animais com deficiência clínica de P, entre 1,40 e 1,50g/cm³ são sugestivas de deficiência subclínica e superior ou igual a 1,50g/cm³ são indicativas de bovinos sadios. Entretanto Malafaia (2020) adverte para a importância de se considerar a variação que pode ocorrer de acordo com o estado fisiológico do indivíduo (idade, prenhez, peso, lactação, gestação). Portanto, os valores da D não devem ser utilizados separadamente, mas sim em conjunto com os demais resultados, tal como realizado no presente estudo.

Barbosa et al. (2016) avaliaram a D em água e obtiveram a média de 1,58 (\pm 0,08) para o grupo que recebeu a SMS e 1,56 (\pm 0,13) para o grupo que recebeu somente NaCl e relatam que o grupo que foi suplementado somente com NaCl obteve a menor densidade. Resultados semelhantes foram descritos por Souza et al. (2017) em que avaliaram três grupos de novilhos da raça Nelore submetidos ou não a suplementação fosfórica e encontraram os seguintes resultados: 1,52 (\pm 0,07) para o grupo que não foi suplementado com P, 1,54 (\pm 0,05) para o grupo que recebeu um tratamento com núcleo mineral (0,42%P) e 1,53 (\pm 0,11) para o grupo suplementado com fosfato bicálcio (0,50%P). Resultados semelhantes aos descritos por Barbosa et al. (2016) e Souza et al. (2017) foram encontrados no presente estudo, no qual o Grupo 1, suplementado somente com NaCl, apresentou menor densidade óssea em água quando comparado ao Grupo 2, suplementado com 40gP/kg (Tabela 6). O que difere nos resultados encontrados nos estudos realizados por Barbosa et al. (2016) e Souza et al. (2017) são as categorias avaliadas; no presente estudo, utilizou-se nulíparas que enfrentaram como desafio o crescimento, a manutenção da gestação, o parto e a produção de leite. Portanto, os valores encontrados demonstram que as novilhas do grupo 0gP/kg e do grupo 40g de P/kg, mesmo com um desafio maior que os bovinos machos dos trabalhos acima citados apresentaram a densidade mineral específica em água superior a 1,50g/m³, que segundo Malafaia (2020) em comunicação pessoal, associado aos demais achados podem ser considerados como adequados para a densidade mineral específica em água.

5.3.5. Densidade Mineral Óssea

A densidade mineral óssea, associada a outros parâmetros, tais como exame clínico nutricional, análises clínicas e acompanhamento zootécnico auxiliam na identificação da deficiência de P. Malafaia (2020), em comunicação pessoal, através de avaliações de biópsias ósseas de costelas provenientes de bovinos adultos zebuínos de várias regiões do país, provenientes de diferentes graus de deficiência de P, cita que os valores da DMO inferiores a 3,50 são de bovinos com deficiência clínica de P, valores entre 3,5 e 4,0 são provenientes de bovinos com deficiência subclínica e bovinos com valores superiores a 4,0 são de bovinos sem deficiência de P. Porém, é importante ressaltar que não é indicado realizar o diagnóstico

baseado somente nesses parâmetros, visto que podem ocorrer variações em função do peso, idade, estado fisiológico dos animais.

Quando se compara o resultado do presente estudo (Tabela 6) com os valores citados por Malafaia (2020) pode-se constatar que nenhuma nulípara apresentou deficiência subclínica ou clínica de P, principalmente associando os resultados da DMO com os demais parâmetros ósseos e clínicos.

Souza et al. (2018), em um estudo experimental com bovinos machos da raça Nelore avaliaram três tratamentos (T1: 0P, T2: 0,42%P e T3: 0,50%P), e encontraram, respectivamente, os seguintes resultados para a DMO de amostras coletadas da 12ª costela 4,71 ($\pm 0,99$), 5,04 ($\pm 0,98$) e 5,13 ($\pm 1,37$); resultados semelhantes foram encontrados no presente estudo, mesmo em se tratando de categorias completamente diferentes.

5.3.6. Avaliação Histológica das Amostras Ósseas

Segundo Tokarnia et al. (2010) as alterações histológicas nas deficiências de P nos ossos são bem características e consistem na presença de excessiva de tecido osteoide (matriz eosinofílica não mineralizada), margeando as bainhas ósseas, o que não foi visualizado histologicamente nos fragmentos ósseos das biópsias de costela deste estudo (Figura 6), independente do grupo, do estágio de prenhez e do período de lactação. Verificou-se nas biópsias ósseas das costelas de todas as vacas que os achados de osteogênese e modelamento são compatíveis com osso de animais adultos em homeostase. Dessa forma, o que foi encontrado nos demais parâmetros endossa esses achados histológicos e reforça que o consumo de fósforo foi suficiente para atender às exigências dos bovinos, e que portanto não ocorreu deficiência de P nos grupos avaliados (Figura 6).

Pillati et al. (1996) avaliaram costelas providas de bovinos jovens e adultos necropsiados em regiões com deficiência de P e suplementação mineral variável, e das 24 amostras coletadas 10 apresentaram alterações de osteomalácia, nas quais se observou aumento da bainha osteoide.

Tokarnia et al. (1988), com objetivo de encontrar uma alternativa para melhorar a eficácia da suplementação de P em rebanhos bovinos criados a pasto em regiões deficientes empregou o uso de técnicas histológicas, para examinar costelas de bovinos de regiões sabidamente deficientes em P, o que difere do presente estudo onde avaliou a influência das suplementações na composição óssea das matrizes em diferentes estágios fisiológicos.

5.4. Concentração Sérica de Fósforo

As concentrações plasmáticas de P podem flutuar, amplamente, em animais saudáveis, refletindo o equilíbrio entre as “entradas” e “saídas” de P, bem como pode ocorrer uma variação nos teores devido a estresse durante a colheita, local escolhido para a colheita, colostrogênese e problemas no processamento (Suttle 2010). Segundo Tokarnia et al. (1970) outro fator importante é a concentração de P na forragem, pois reflete diretamente na concentração sanguínea, mesmo quando a falta não é suficiente o bastante para manifestar a deficiência clínica; portanto, os valores de P no sangue oscilam de acordo com as condições climáticas e a estação do ano. Sendo assim, períodos de seca, quando os pastos estão maduros, os teores de P são inferiores aos que ocorrem nos períodos de chuva, quando a forragem está em brotação. Fatos citados atestam os achados do presente estudo, visto que, a concentração de P no sangue colhido no mês de agosto, nos grupos em pré-parto (Gráfico 7) apresentou a menor concentração sérica de P (4,45mg/dL no grupo 0gP/kg e 4,22mg/dL no grupo suplementado com 40gP/kg); quando comparado à concentração de P nas forragens (Gráfico 8), observa-se que neste mesmo período (mês de agosto) que ocorreu a menor concentração de P (no piquete do grupo 0gP/kg as concentrações de P foram de 0,082g/kgMS e

0,084g/kgMS e no piquete do grupo 40gP/kg foram de 0,98g/kgMS e 0,86g/kgMS). Portanto, neste período ocorreu a diminuição nos teores de P nas forragens e na concentração sérica. Também ocorreu uma grande demanda fisiológica das nulíparas, visto que, neste período, final de gestação, o feto apresenta a demanda para o crescimento e inicia-se a colostrogênese. Portanto, as nulíparas que não foram suplementadas com P foram intensamente desafiadas.

Como o custo de suplementação com P em pastagens deficientes chega a mais de 50% do gasto total com suplementação mineral, outras formas de identificar e auxiliar o diagnóstico de deficiência de P têm sido empregadas, dentre elas a concentração plasmática (PILATTI et al., 1996). Porém, é importante ressaltar que os resultados da concentração sérica de P obtidos não oferece informações sobre as reservas minerais (READ et al., 1986), por isso a necessidade de associá-la a todos os demais os parâmetros clínicos, tal como no presente estudo.

Segundo Tokarnia et al. (2010) em animais deficientes há redução de valores de P inorgânico no soro sanguíneo, sendo considerados deficientes valores menores que 3,5 – 4mg/dL. Já para Suttle (2010) níveis plasmáticos inferiores a 4,5mg/dL são valores plasmáticos de bovinos com algum grau de deficiência de P. Durante todas as fases do estudo a menor concentração de P sanguíneo foi de 4,22mg/dL, referente ao grupo pré-parto 40gP/kg (Gráfico 7). De acordo com as concentrações plasmáticas propostas por Tokarnia et al. (2010), as concentrações séricas dos níveis de P no sangue das nulíparas estão dentro dos parâmetros considerados normais. Já, se comparado às concentrações citadas por Suttle (2010) as nulíparas seriam consideradas deficientes em P. Porém, deve-se levar em consideração que, mediante a avaliação dos demais exames complementares e o exame clínico-nutricional periódico, nenhum animal apresentou sinais de deficiência clínica ou subclínica de P.

5.5. Concentração de Fósforo nas Fezes e na Forragem

Quando ocorre a ingestão de P acima do necessário para a manutenção do metabolismo animal, ocorre a excreção do mineral, principalmente através das fezes e em menores quantidades através da excreção urinária (PFEFFER et al., 2005; SOUZA et al., 2018). No Gráfico 8, se percebe que o grupo suplementado com 40gP/kg excretou maior quantidade de P quando comparado com o grupo que não recebeu P através da suplementação. O P que é eliminado através das fezes é o constituído pela descamação do epitélio intestinal e pelo P salivar, que não foi absorvido (ARC 1980).

Para se estimar as perdas metabólicas é necessário considerar a quantidade consumida do mineral através da dieta, porém é muito difícil distinguir o P de origem endógena e aquele proveniente da dieta. Para se obter as concentrações de P endógeno o ideal seria quantificar em animais recebendo níveis de P abaixo de suas exigências, para que a absorção das secreções endógenas fosse maximizada e a estimativa obtida com maior acurácia (CSIRO 2007). No presente trabalho o grupo 0gP/kg não recebeu nenhuma fonte complementar de P e somente obteve o mineral através da ingestão da forragem.

Independente dos pastos amostrados, a concentração de P na forragem, durante todo o período experimental, foi similar ao longo dos meses avaliados. As variações se devem ao local amostrado (solo) e a maneira que o coletor pode ter usado para amostrar (mais ou menos folhas). Tokarnia et al. (2010), relatam que, dentro da mesma propriedade, a concentração de minerais no solo pode ser diferente em determinadas áreas, bem como a idade da forragem que foi coletada, pois a concentração de P diminui com a maturação das plantas. Também há diferenças laboratoriais.

A composição mineral das forrageiras é muito variável, pois depende de fatores relacionados à idade da planta, tipo e fertilidade do solo e espécie (GOMIDE 1978). Segundo Tokarnia et al. (2010), as análises de forragem, para serem válidas precisam ser repetidas ao

longo do ano, pois no decorrer dos meses ocorre uma variação da concentração de P, fato que foi constatado no presente estudo (Gráfico 8).

Tokarnia et al. (2010) citam que são extensas áreas, até mesmo dentro da própria fazenda que a forragem não fornece as quantidades necessárias de P para os bovinos. No caso da propriedade estudada, através da avaliação da concentração de P da forragem, da excreção de P nas fezes, dos exames complementares e da avaliação clínica do rebanho foi possível afirmar que a forragem foi suficiente para a manutenção das necessidades fisiológicas de P do grupo de nulíparas (primeiro experimento) e posteriormente múltiparas (segundo experimento). É importante ressaltar que os dados obtidos através deste estudo não podem ser aplicados em outras propriedades, sem prévio exame-clínico nutricional e acompanhamento técnico do rebanho.

Malafaia (2020), em comunicação pessoal, cita que bovinos ingerem P da forragem, bem como da ingestão de outras plantas que não são colhidas durante o pastejo simulado e possivelmente pela ingestão de pequenas quantidades de solo. Euclides et al. (1992) e Radostits et al. (2006) citam que, com o emprego do pastejo simulado, pode ocorrer uma discrepância entre a amostra colhida e a forragem realmente consumida. Durante a inspeção dos animais em seus respectivos piquetes e a observação do comportamento deles em ambiente local pode se observar a ingestão de outras plantas, além da braquiária disponível como fonte de forragem.

Os resultados de 500 amostras de gramíneas coletadas na América Latina mostraram teores médios de $2,1 \pm 1,4$ gP/kg do teor de P. Destas, 160 amostras apresentam valores inferiores a 1,5gP/kg (McDowell et al., 1982); no presente estudo a menor concentração de P foi de 0,82g/kgMS no mês de julho (Gráfico 8). Este resultado foi diferente do descrito por Rosa (1993) que avaliou gramíneas no cerrado e 72% dos resultados foram inferiores a 1,2gP/kg de P.

Peixoto et al. (2003) relataram bom desempenho de matrizes bovinas de corte suplementadas somente com NaCl em pastagens calcareadas e adubadas, bem manejadas e de bom valor nutritivo. Esses resultados são semelhantes aos achados do presente estudo, visto que as matrizes suplementadas somente com NaCl não apresentaram deficiência de P e mantiveram bom desempenho durante a gestação e o aleitamento das crias até o desmame. Outro fato importante é que no decorrer dos anos a fazenda vem aumentando o investimento em melhoramento das pastagens (Tabela 5), logo pode aumentar sua capacidade de suporte e ofertar ao rebanho uma forragem de boa qualidade.

6. CONCLUSÕES

Vacas da raça Nelore suplementadas somente com NaCl e alimentadas em pastagens com concentrações de P em níveis adequados produzem bons resultados zootécnicos menor custo com suplementação e geram maior rentabilidade à fazenda.

A suplementação com altos níveis de P, onde não há deficiência, não traz benefícios aos bovinos e aumenta a excreção do mineral através das fezes no ambiente, bem como custos desnecessários.

O emprego de exames complementares auxilia no diagnóstico da deficiência de P, porém não deve ser utilizado sem prévio exame-clínico nutricional do rebanho e o histórico detalhado da propriedade.

Menores concentrações de P nas forragens, durante a época de estiagem, reflete diretamente na concentração de P no sangue.

É a necessidade de difundir o conhecimento sobre deficiências minerais nacionais e suplementação mineral seletiva entre técnicos, para ser implementada em propriedades rurais em todo território nacional.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, A.P.A; ALMEIDA, B.H.P. J. F. Planejamento e administração da produção de leite e carne no Brasil. **Uberaba, MG: FAZU**, v. 92, 2002.

ANDERSON, S.T.; KIDD, L.J; BENVENUTTI, M.A; FLETCHER, M.T; DIXON, R.M. New candidate markers of phosphorus status in beef breeder cows. **Animal Production Science**, v. 57, n. 11, p. 2291-2303, 2017.

BANCROFT, JOHN D.; GAMBLE, MARILYN (Ed.). **Theory and practice of histological techniques**. Elsevier health sciences, 2008.

BARBOSA, F.B.; BOMJARDIM, H.A.; HELAYEL, M.J.S.; FAIAL, K.C.; OLIVEIRA, C.; MALAFAIA, P.; BARBOSA, J.D. Avaliação econômica de três tipos de suplementação mineral para bovinos de corte no Estado do Pará. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 36, n. 7, p. 600-604, 2016.

BOMJARDIM, H.A.; OLIVEIRA, C.; SILVEIRA, J.A.S.; SILVA, N.S.; DUARTE, M. D.; FAIAL, K.C.; BARBOSA, J.D. Deficiências minerais em vacas em lactação da bacia leiteira do município de Rondon do Pará, estado do Pará. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 35, n. 5, p. 409-416, 2015.

CARVALHO, C.A.B.; PERES, A.A.C.; PREMAZZI, L.M.; MALAFAIA, P.; CARVALHO, M.I.A.B.; PACIULLO, D.S.; COSTA, V.A.C. Performance of dairy heifers raised on Xaraés palissadgrass (*Brachiaria brizantha* cv. Xaraés) pasture supplemented with two types of mineral mixture. **Pesquisa Veterinária Brasileira**. v. 34, n.1, p. 46-50, 2014.

CEZAR, I.M.; QUEIROZ, H.P.; THIAGO, L.R.L.S.; CASSALES, F.L.G.; COSTA, F.P. **Sistemas de produção de gado de corte no Brasil: uma descrição com ênfase no regime alimentar e no abate**. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2005.

CHAVASSIEUX, P.; ARLOT, M.; MEUNIER, P.J. Clinical use of bone biopsy. In: Ibid. (Eds), **Osteoporosis**. Academic Press, San Diego, CA. Vol. 2. 2º Ed. p. 501-509. 2001.

COELHO, F.S.; OLIVEIRA, C.M.; SILVA, D.F.; VILLELA, S.D.J.; **Levantamento e análise dos custos médios de produção de bovinos de corte no município de Curvelo, Minas Gerais**. Anais. In: XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural. 2008.

COHEN, R.D.H. Phosphorus nutrition of beef cattle. The use of fecal and blood phosphorus for the estimation of phosphorus intake. **Australian Journal Experimental Agricultural Animal Husbandry**, v.14, p.709-715, 1974.

CSIRO - Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization. **Nutrient Requirements of Domesticated Ruminants**. Collingwood, VIC: Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, 2007.

DAYRELL, M.D.S. **Teores de minerais nos tecidos animal, plantas e solos do Brasil**. EMBRAPA-CNPGL, 1986.

DE QUEIROZ, T. M.; LIMA, A. F.; DOS SANTOS GALVANIN, E. A. Índice de estado

trófico, baseado no fósforo, na bacia hidrográfica Paraguai-Diamantino em Mato Grosso, Brasil. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 1, p. 300-308, 2020.

FERREIRA, P.M.; CARVALHO, A.U.; FILHO, E.J.F.; COELHO, S.G.; BORGES, A.L.C.C.; FERREIRA, M.G.; FERREIRA, R.G. **Doenças Carenciais e Suplementação Mineral**. Editora UFMG, Belo Horizonte, BR, 2004.

GOMIDE, J. A. Mineral composition of grasses and tropical leguminous forage. In: **Latin American Symposium on Mineral Nutrition with Grazing Ruminants** (Editors: J H Conrad and LR McDowell) University of Florida, Gainesville p. 32-40, 1978.

GUIMARAES, P. H.S.; MADALENA, F. E.; CEZAR, I. M. Comparative economics of Holstein/Gir F1 dairy female production and conventional beef cattle suckler herds—A simulation study. **Agricultural systems**, v. 88, n. 2-3, p. 111-124, 2006.

GUYTON, A. C., HALL, J. E., & GUYTON, A. C. (2006). **Tratado de fisiologia médica**. Elsevier Brasil, 2006.

JACKSON, D.; ROLFE, J.; ENGLISH, B.; HOLMES, B.; MATTHEWS, R.; DIXON, R.; SMITH, P.; MACDONALD, N. Phosphorus management of beef cattle in northern Australia. **Meat & Livestock Australia Limited**, p.11, 2012.

KANEKO, J. J., HARVEY, J. W., & BRUSS, M. L. 2008. **Clinical Biochemistry of Domestic Animals**. San Diego California USA.

LEMOES, G. C.; COSTA, R. M.; NETO, M. G.; MALAFAIA, P. Desempenho ponderal de bovinos nelore suplementados com fontes alternativas de fósforo. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 33, n. 2, p. 188-192, 2013.

LIN, L. U.; LIAO, Xiu-dong; LUO, Xu-gang. Nutritional strategies for reducing nitrogen, phosphorus and trace mineral excretions of livestock and poultry. **Journal of integrative agriculture**, v. 16, n. 12, p. 2815-2833, 2017.

LITTLE, D.A. Bone biopsy in cattle and sheep for studies of phosphorus status. **Australian Veterinary Journal**, v. 48. p.668-670, 1972.

LITTLE, D. A.; MINSON, D. J. Variation in the phosphorus content of bone samples obtained from the last three ribs of cattle. **Research in veterinary science**, v. 23, n. 3, p. 393-394, 1977.

LOPES, M.A.; CARVALHO, F.M. **Custo de produção de gado de corte**. Lavras UFLA, v. 47, 2002.

LOPES, S. P.; GARCIA, F. Z.; SOUZA, V. C.; COSTA, D. F. A.; MALAFAIA, P. Bio-economic evaluation of a reduced phosphorus supplementation strategy for a cow-calf system in Brazil: a case study. **Tropical animal health and production**. v.50, n.1, p. 205-208, 2018.

MALAFAIA, P.; CABRAL, L.S.; VIEIRA R.A.M.; COSTA, R.M.; CARVALHO C.A.B.

Suplementação protéico-energética para bovinos criados em pastagens: Aspectos teóricos e principais resultados publicados no Brasil. **Livestock Research for Rural Development**, v.15, n.12, 2003.

MALAFAIA, P.; PEIXOTO, P.V.; GONÇALVES, J.C.S.; MOREIRA, A.L.; COSTA, D.P.B.; CORREA, W.S. Ganho de peso e custos em bovinos de corte submetidos a dois tipos de suplementos minerais. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v.24, p.160-64, 2004.

MALAFAIA, P.; MAGNOLI COSTA, R.; BRITO, M. F.; PEIXOTO, P. V.; BARBOSA, J. D.; TOKARNIA, C. H.; DÖBEREINER, J. Equívocos arraigados no meio pecuário sobre deficiências e suplementação minerais em bovinos no Brasil. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v.34, n.3, 2014a.

MALAFAIA, P. Aspectos nutricionais e clínico-patológicos de bovinos de corte criados sob dois sistemas de confinamento e seu impacto econômico. 2014. Tese. Programa de Pós-Graduação em Medicina Veterinária - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2014b.

MALAFAIA, P.; BARBOSA, J. D.; GARCIA, F. Z.; SOUZA, V. C.; DA VEIGA, C. C.; COSTA, D. F. **Teste da agulha, uma forma simples, barata e valiosa no diagnóstico da deficiência de Fósforo nos bovinos**, 2017a.

MALAFAIA, P.; SALCEDO, Y. T.; USCATEGUI, R. A.; SOUZA, V. C.; COSTA, D. F. A.; BERCHIELLI, T. T. A simple and fast sampling method for chemical analyses and densitometry of bones through rib biopsies in cattle. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 37, n.1, p. 31-35, 2017b.

MALAFAIA, P.; SALCEDO, Y.T.; USCATEGUI, R.A.; SOUZA, V.C.; COSTA, D.F. A.; BERCHIELLI, T.T. A simple and fast sampling method for chemical analyses and densitometry of bones through rib biopsies in cattle. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 37, n.1, p. 31-35, 2018.

MALAFAIA, P. **Fósforo para bovinos e bubalinos no Brasil**. 1ªed. Rio de Janeiro. 2020.

McDOWELL, L.R.; BAVER, B.; GALDO, E.; KOGER, M.; LOOSLI, J.K.; CONRAD, J.H. Mineral supplementation of beef cattle in the Bolivian tropics. **Journal of Animal Science**, Champaign, v.55, n.4, 964-970, 1982.

MINSON, D. J. **Forage in ruminant nutrition**. New York: Academic, 1990.

NICODEMO, M.L.F., MORAES, S.D.S., ROSA, I.V., MACEDO, M.C., THIAGO, L. R.; ANJOS, C.R.D. Avaliação de níveis de fósforo na dieta de novilhos Nelore em crescimento: efeito no desempenho. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.4, p.1191-1195, 2000.

NIKVAND, A.A.; RASHNAVADI, M.; TABANDEH, M.R. A study of pica in cattle in Iran. **Journal of Veterinary Behavior**, v. 23, p. 15-18, 2018.

NOGUEIRA, M.P. **Gestão de custos e avaliação de resultados: agricultura e pecuária**. Bebedouro: Scot Consultoria, 2004.

OGUNBAMERU, B.O.; EVANS, J.L.; KORNEGAY, E.T. Technique for the determination of bone volume and specific gravity. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 70, p. 1137-1140, 1990.

PANTANO, G.; GROSSELI, G. M.; MOZETO, A. A.; FADINI, P. S. Sustentabilidade no uso do fósforo: uma questão de segurança hídrica e alimentar. **Química Nova**, v. 39, n.6, p. 732-740, 2016.

PAZ, C. C. P. D.; ALBUQUERQUE, L. G. D. Efeitos ambientais sobre ganho de peso no período do nascimento ao desmame em bovinos da raça Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 28, n. 1, p.55-64, 1999.

PEIXOTO, P.V; MALAFAIA, P; BARBOSA, J.D; TOKARNIA, C.H. Princípios de suplementação mineral em ruminantes. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 25, n. 3, 195-200, 2005.

PEIXOTO, P.V; MALAFAIA, P; MIRANDA, L.V; CANELLA, C.F.C; CANELLA FILHO, C.F.C; VILAS BOAS, F.V. Eficiência reprodutiva de matrizes bovinas de corte submetidas a três diferentes tipos de suplementação mineral. **Pesquisa Veterinária Brasileira**. v. 23, n. 3, p.125-130, 2003.

PFEFFER, E; BEEDE, D. K; VALK, H. Phosphorus Metabolism in Ruminants and Requirements of Cattle. In: PFEFFER, E.; HRISTOV, A.N. **Nitrogen and Phosphorus Nutrition of Cattle: Reducing the Environmental Impact of Cattle Operations**. (Eds E. Pfeffer and A. Hristov), Cambridge, MA: CABI Publishing, p.195-224, 2005.

PILLATI, C.; DUTRA, I. S.; BEHRENS, K.; DÖBEREINER, J.; DÄMMRICH, K. Diagnóstico da deficiência de fósforo em bovinos pelos exames histológicos e microrradiográficos de costelas. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, p. 27-33, 1996.

PINHEIRO, C.P.; BOMJARDIM, H.A.; ANDRADE, S.J.; FAIAL, K.C.; OLIVEIRA, C.M.; BARBOSA, J. D. Níveis de fósforo, cobre, cobalto e zinco em bubalinos (*Bubalus bubalis*) na Ilha de Marajó, Estado do Pará. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 31, n.3, p.193-198, 2011.

RADOSTITS O.M.; Gay, C.C.; HINCHCLIFF K.W.; CONSTABLE, P.D. **Veterinary Medicine E-Book: A textbook of the diseases of cattle, horses, sheep, pigs, and goats**. Elsevier Health Sciences, 2006.

READ, MARION V.P.; ENGELS, E.A.N.; SMITH, W.A. Phosphorus and the grazing ruminant. 4. Blood and faecal grab samples as indicators of the P status of cattle. **South African Journal of Animal Science**, v. 16, n. 1, p. 18-22, 1986.

RIET-CORREA, F.; SHILD, A. L.; LEMOS, R. A.A.; BORGES, J.R.J. **Doenças de ruminantes e equídeos**. São Paulo: Livraria Varela. V.III, p. 248-257, 2007.

ROSA, I.V, **Deficiências minerais e desempenho reprodutivo de ruminantes**. Campo Grande, EMBRAPA - CNPGC, 1993.

SOUZA JUNIOR, C. D.; RAMOS, A. D. A.; SILVA, L. O. C. D.; EUCLIDES FILHO,

K.; ALENCAR, M. M. D.; WECHSLER, F. S.; FERRAZ FILHO, P. B. Fatores do ambiente sobre o peso ao desmame de bezerros da raça Nelore em regiões tropicais brasileiras. **Ciência Rural**. v.30, n.5, p.881-885, 2000.

SOUZA, V. C., MALAFAIA, P., GRANJA-SALCEDO, Y. T., VIEIRA, B. R., GOMES, R. S., COSTA, D. F., BERCHIELLI, T. T. Effects of phosphorus supplementation in high-grain diets on blood, chemical and physical parameters of bones of feedlot Nelore bulls. **Animal Production Science**, v.58, n.10, p.1814-1821, 2018.

TEIXEIRA, S.; BRANCO, A. F.; GRANZOTTO, F.; BARRETO, J. C.; ROMA, C. F. D. C.; CASTAÑEDA, R. D. Fontes de fósforo em suplementos minerais para bovinos de corte em pastagem de *Cynodon nlemfuensis* Vanderyst. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 1, p. 190-199, 2011.

TOKARNIA, C. H.; CANELLA, C. F.; GUIMARÃES, J. A.; DÖBEREINER, J.; LANGENEGGER, J. Deficiência de fósforo em bovinos no Piauí. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 5, n.1, p. 483-494.

TOKARNIA, C. H.; PEIXOTO, P.V.; BARBOSA, J. D.; BRITO, M.F.; DÖBEREINER, J. **Deficiências Minerais em Animais de Produção**. Ed.Helianthus, p. 19-42, Rio de Janeiro, 2010. 191p.

VASCONCELOS, J. T.; TEDESCHI, L. O.; FOX, D. G., GALYEAN, M. L.; GREENE, L. W. Review: Feeding nitrogen and phosphorus in beef cattle feedlot production to mitigate environmental impacts. **The Professional Animal Scientist**, v. 23, p. 8-17, 2007.