



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS REALEZA
CURSO DE MEDICINA VETERINÁRIA**

FELIPE FLOSS

**OTIMIZAÇÃO LINEAR E NÃO-LINEAR AO PROBLEMA DA
FORMULAÇÃO DE DIETAS PARA REBANHOS LEITEIROS E GESTÃO DE
PROPRIEDADES**

REALEZA

2016

FELIPE FLOSS

**OTIMIZAÇÃO LINEAR E NÃO-LINEAR AO PROBLEMA DA
FORMULAÇÃO DE DIETAS PARA REBANHOS LEITEIROS E GESTÃO DE
PROPRIEDADES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Medicina Veterinária da Universidade Federal da Fronteira Sul, como requisito para obtenção do título de bacharel em Medicina Veterinária.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Reimann Skonieski

Coorientador: Prof. Dr. Jose Mario Vicensi Grzybowski

REALEZA

2016

FELIPE FLOSS

**OTIMIZAÇÃO LINEAR E NÃO-LINEAR AO PROBLEMA DA FORMULAÇÃO DE
DIETAS PARA REBANHOS LEITEIROS E GESTÃO DE PROPRIEDADES**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção de grau em Bacharel em Medicina Veterinária da Universidade Federal da Fronteira Sul.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Reimann Skonieski

Coorientador: Prof. Dr. Jose Mario Vicensi Grzybowski

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e aprovado pela banca em:

___/___/___

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fernando Reimann Skonieski – UFFS

Prof. Dr. Ademir Roberto Freddo – UFFS

Prof. Msc. Maurício Fanin – UFFS

RESUMO

Este trabalho foi realizado no intuito de aplicar um método de otimização na formulação de dietas para bovinos leiteiros, na busca de atender as demandas nutricionais a custo mínimo. A determinação das necessidades nutricionais dos animais foi realizada através das equações propostas pelo NRC (2001). A formulação das dietas foi baseada nas exigências de consumo de matéria seca, nutrientes digestíveis totais, proteína bruta, cálcio e fósforo. Os valores nutricionais dos alimentos utilizados para a elaboração das dietas foram obtidos da plataforma CQBAL 3.0. A otimização das dietas foi realizada através do emprego dos métodos algoritmos Simplex e Gradiente Reduzido Generalizado. Para a implantação dos métodos de otimização, utilizou-se o software Microsoft Office Excel, enquanto que para a elaboração do banco de dados para o gerenciamento de propriedades leiteiras, empregou-se o Microsoft Office Access. As exigências nutricionais obtidas foram similares às demonstradas pelas tabelas do NRC (2001) para as bezerras e categorias adultas, enquanto que para as novilhas de reposição, os valores divergiram. A otimização atendeu às demandas nutricionais dos animais, com a elaboração de dietas a custo mínimo. Através do conhecimento das exigências nutricionais dos animais, é possível formular dietas que atendam às necessidades, sem o desperdício de nutrientes pelos excrementos produzidos. Com dietas equilibradas, é possível tornar o sistema produtivo sustentável econômica e ambientalmente, possibilitando a permanência do agricultor na atividade e no campo, além de promover a preservação do meio ambiente.

Palavras-chave: Bovinos de leite; Otimização; Custo mínimo; Animais jovens.

ABSTRACT

The objective of this study was to apply methods of optimization in the diet formulation to the dairy cattle, to find the nutritional demands with a minimal cost. The determination of nutritional necessity of animals was realised through the equations proposed by the NRC (2001). The diet formulation was based in the exigency of dry matter consumption, total digestible nutrients, crude protein, calcium and phosphorus. The nutritional values of foods, utilized in the diet creation, were obtained by the platform CQBAL 3.0. The diet optimization was realised through of methods algorithms Simplex and Generalized Reduced Gradient. For the implantation methods of optimization, it was utilized the *software* Microsoft Office Excel. On the other hand, to the elaboration the database for the management of dairy farms was using the Microsoft Office Access. The nutritional exigencies obtained were similar to the NRC (2001) to the calves, adult categories, while to the heifers reposition the value diverged. The optimization complied with the nutritional needs of animals, by the elaboration of a diet with minimal costs. Through the knowledge of animals nutritional needs, is possible to formulate diets that meet the necessities, without nutrients west by the faeces. With a balanced diet, is possible to make the production system sustainable, economically and environmentally, allowing the permanence of the farmer in the field activity, and also to preserving the environment.

Keywords: dairy cattle; Optimization; Minimal cost; Young animals.

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Consumo de matéria seca por novilhas (DMI _{RH} , kg/dia) após correção.	47
Equação 2 – Peso corporal adulto em jejum (MSBW, kg).....	72
Equação 3 – Peso de referência para peso corporal adulto em jejum (SRW _{to} _MSBW).	72
Equação 4 – Peso corporal jejum (SBW, kg).	72
Equação 5 – Ganho de peso jejum (SWG, kg).	72
Equação 6 – Peso do bezerro ao nascimento (CBW, kg).	72
Equação 7 – Peso do conceito (CW, kg).	72
Equação 8 – Equivalência do peso corporal jejum (EQSBW, kg).	72
Equação 9 – Equivalente ao peso do corpo vazio (EQEBW, kg).....	72
Equação 10 – Ganho equivalente ao peso do corpo vazio (EQEBG, kg).	72
Equação 11 – Escore de condição corporal 1 - 9 (BCS(9)).....	72
Equação 12 – Determinação da porcentagem de NDT na dieta a partir da energia líquida.	72
Equação 13 – Determinação da porcentagem de NDT na dieta a partir da energia metabolizável.....	72
Equação 14 – Determinação da quantia de NDT na dieta (kg).	72
Equação 15 – Energia líquida de lactação total (NE _L _Total, Mcal).....	73
Equação 16 – Energia metabolizável para bezerras em aleitamento (Mcal/dia).	73
Equação 17 – Energia metabolizável para bezerras que recebem leite ou sucedâneo e concentrado inicial (Mcal/dia).....	73
Equação 18 – Energia metabolizável para bezerras que recebem concentrado inicial (Mcal/dia).	73
Equação 19 – Energia metabolizável de manutenção para bezerras (ME _M , Mcal/dia).	73
Equação 20 – Energia líquida de manutenção para bezerras (NE _M , Mcal/dia).	73
Equação 21 – Energia líquida para o crescimento (NE _G , Mcal/dia).	73
Equação 22 – Energia metabolizável para o crescimento (ME _G , Mcal/dia).....	73
Equação 23 – Consumo de matéria seca por bezerras (DMI _{CALF} , kg/dia).	73
Equação 24 – Proteína aparentemente digestível (ADP, g/dia).....	73
Equação 25 – Proteína bruta (CP, g/dia).	73

Equação 26 – Energia líquida de manutenção para novilhas em pastejo (NE_{MACT} , Mcal/dia).....	73
Equação 27 – Energia líquida de crescimento total da dieta (NE_{G_Total}).....	73
Equação 28 – Energia líquida de crescimento da dieta em condições sem stress ($NEGrowthDietNS$).....	74
Equação 29 – Energia líquida para produção (NE_{FP} , Mcal/dia).	74
Equação 30 – Insolação total (INS , Mcal/m ² /°C/dia).....	74
Equação 31 – Energia líquida de manutenção total (NE_{M_Total} , Mcal).....	74
Equação 32 – Concentração de energia líquida na dieta para novilhas ($NE_{DietConc}$, kg DM/dia).	74
Equação 33 – Concentração de energia líquida na dieta para vacas ($NE_{DietConc}$, kg DM/dia).	74
Equação 34 – Energia metabolizável total consumida (ME_{Eng_Total} , Mcal/dia).....	74
Equação 35 – Fator de estresse por frio para a determinação de energia líquida de manutenção com o estresse ($ColdStr$, Mcal/dia/ $BW^{0,75}$).....	74
Equação 36 – Energia metabolizável (ME_{CS} , Mcal/dia).	74
Equação 37 – Eficiência na utilização da energia metabolizável para manutenção (k_m , %).	74
Equação 38 – Energia líquida de manutenção (NE_{MCS} , Mcal/dia).....	74
Equação 39 – Insolação externa (EI , Mcal/m ² /°C/dia).....	74
Equação 40 – Temperatura mínima crítica (LCT , °C).	74
Equação 41 – Ajuste para os efeitos da temperatura sobre a manutenção para novilhas (a_2 , Mcal/kg/dia $SBW^{0,75}$).....	74
Equação 42 – Efeito de ajuste de plano de nutrição para a dieta anterior, utilizado somente para novilhas ($COMP$).	75
Equação 43 – Área de superfície (AS , m ²).....	75
Equação 44 – Produção de calor (HP , Mcal/m ² /dia).	75
Equação 45 – Energia líquida de manutenção sem estresse para novilhas (NE_{MNS} , Mcal/dia).....	75
Equação 46 – Energia líquida de manutenção para novilhas (NE_M , Mcal/dia).....	75
Equação 47 – Energia retida (RE , Mcal/dia).....	75
Equação 48 – Energia metabolizável para gestação em Mcal/dia (ME_{PREG} , Mcal/dia). 75	
Equação 49 – Energia líquida para gestação em Mcal/dia (NE_{PREG} , Mcal/dia).....	75
Equação 50 – Energia líquida para gestação (NE_L , Mcal/dia).	75

Equação 51 – Consumo de matéria seca por novilhas (DMI _{RH} , kg/dia).....	75
Equação 52 – Fator de correção para gestação (DMI _{Factor}).	75
Equação 53 – Consumo de matéria seca por novilhas após os 259 dias de gestação (DMI _{RH} , kg/dia).	75
Equação 54 – Proteína bruta endógena (EndCP, g/dia).....	75
Equação 55 – Proteína metabolizável endógena (MP _{Endo} , g/dia).	76
Equação 56 – Quantidade de proteína na dieta que fornece proteína endógena (MP _{EndoReq} , g/dia).	76
Equação 57 – Proteína metabolizável suprida pela proteína bacteriana (MP _{BACT} , g/dia).	76
Equação 58 – Proteína metabolizável fecal requerida (MFPR, g/dia).	76
Equação 59 – Proteína metabolizável para manutenção (MP _{MAINT} , g/dia).	76
Equação 60 – Proteína líquida para crescimento (NP _G , g/dia).	76
Equação 61 – Eficiência da proteína metabolizável para energia líquida de crescimento (EffMP _{NP_G}).....	76
Equação 62 – Proteína metabolizável de crescimento (MP _G , g/dia).	76
Equação 63 – Proteína metabolizável para gestação (MP _{PREG} , g/dia).....	76
Equação 64 – Energia líquida de manutenção (NE _{MAINT} , Mcal/dia).....	76
Equação 65 – Energia líquida de manutenção de atividades para vacas em terrenos planos (NE _{MACT} , Mcal/dia).	76
Equação 66 – Energia líquida de manutenção de atividades para vacas em terrenos acidentados (NE _{MACT} , Mcal/dia).	76
Equação 67 – Energia líquida contida por kg de leite produzido (MilkEn, Mcal).....	76
Equação 68 – Energia líquida para lactação (NE _{LACT} , Mcal/dia).	77
Equação 69 – Produção de leite corrigida para gordura em 4% (FCM, kg/dia).....	77
Equação 70 – Consumo de matéria seca por vacas em lactação (DMI _{LACT} , kg/dia).....	77
Equação 71 – Consumo de matéria seca por vacas secas (DMI _{DRY} , kg/dia).....	77
Equação 72 – Rendimento de proteína do leite diariamente (Y _{protn} , kg/dia).	77
Equação 73 – Proteína metabolizável para lactação (MP _{LACT} , g/dia).	77
Equação 74 – Cálcio fecal para vacas que estão em lactação (g/dia).....	77
Equação 75 – Cálcio fecal para animais que não estão em lactação (g/dia).	77
Equação 76 – Cálcio urinário (g/dia).....	77
Equação 77 – Cálcio fetal (g/dia).	77
Equação 78 – Cálcio para produção de leite raça Holandesa (g/dia).	77

Equação 79 – Cálcio para produção de leite raça Jersey (g/dia).	77
Equação 80 – Cálcio para produção de leite demais raças (g/dia).	77
Equação 81 – Cálcio para o crescimento (g/dia).	77
Equação 82 – Fósforo fecal (g/dia).....	78
Equação 83 – Fósforo urinário (g/dia).....	78
Equação 84 – Fósforo fetal (g/dia).	78
Equação 85 – Fósforo para produção de leite (g/dia).....	78
Equação 86 – Fósforo para o crescimento (g/dia).	78

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Gráfico de desenvolvimento e crescimento de novilhas leiteiras.	19
Figura 2 – Escore de condição corporal para novilhas leiteiras em crescimento.	19
Figura 3 – Fluxo das informações do controle zootécnico dos animais.	44
Figura 4 – Fluxo dos dados do banco de dados para a elaboração de dietas dos animais.	46
Figura 5 – Relações entre entidades do banco de dados.	48
Figura 6 – Fluxograma para determinação das necessidades diárias de energia líquida de manutenção para novilhas.	79
Figura 7 – Fluxograma para determinação das necessidades diárias de energia retida no crescimento.	79
Figura 8 – Fluxograma para determinação das necessidades diárias de energia líquida para gestação.	80
Figura 9 – Fluxograma para determinação da estimativa de consumo de matéria seca para novilhas.	80
Figura 10 – Fluxograma para determinação das necessidades diárias de proteína metabolizável para a manutenção.	80
Figura 11 – Fluxograma para determinação das necessidades diárias de proteína metabolizável para o crescimento.	81
Figura 12 – Fluxograma para determinação das necessidades diárias de proteína metabolizável para gestação.	81
Figura 13 – Fluxograma para determinação das necessidades diárias de cálcio.	81
Figura 14 – Fluxograma para determinação das necessidades diárias de fósforo.	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Fósforo presente no leite.....	33
Tabela 2 – Necessidades nutricionais para bezerras em aleitamento.	49
Tabela 3 – Necessidades nutricionais de bezerras com dieta líquida e sólida.....	50
Tabela 4 – Necessidades nutricionais de bezerras em dieta sólida.....	51
Tabela 5 – Necessidades nutricionais de novilhas de raças pequenas (450 kg/PC) não cobertas alimentadas com dieta de 69,96% NDT.....	52
Tabela 6 – Necessidades nutricionais de novilhas de raças grandes (650 kg/PC) não cobertas alimentadas com dieta de 69,96% NDT.....	53
Tabela 7 – Necessidade nutricionais para vacas de raças pequenas (454 kg) em início de lactação (28 dias de lactação).	54
Tabela 8 – Necessidades nutricionais para vacas de raças pequenas (454 kg) aos 90 dias de lactação.	55
Tabela 9 – Necessidades nutricionais de vacas secas de raças grandes (680 kg) aos 240, 270 e 279 dias de gestação.	55
Tabela 10 – Necessidades nutricionais de vacas secas de raças pequenas (454 kg) aos 240, 270 e 279 dias de gestação.	55
Tabela 11 – Simulações para bezerras que são alimentadas somente com leite.	57
Tabela 12 – Simulações para bezerras que consomem dietas a base de leite e concentrado inicial.....	57
Tabela 13 – Simulações para bezerras com dietas sólidas.	58
Tabela 14 – Simulações para vacas em início de lactação (14 dias).	61
Tabela 15 – Simulações para vacas no terço médio da lactação (91 dias).	62
Tabela 16 – Simulações para vacas em período seco.....	63
Tabela 17 – Fator da temperatura do ambiente sobre a necessidade energética de bezerras.....	70
Tabela 18 – Fator de temperatura para consumo de matéria seca (TempFact).	70
Tabela 19 – Fatores de ajuste para insolação externa (Coat) e fator de ajuste de previsão do consumo de matéria seca por novilhas de reposição (CCFact).	70
Tabela 20 – Stress térmico por calor (StrHeat).	71
Tabela 21 – Insolação do tecido (TI, °C/Mcal/m ² /dia).....	71
Tabela 22 – Alimentos utilizados para a formulação das dietas, com seus respectivos valores bromatológicos e valor.....	83

Tabela 23 – Necessidades nutricionais para vacas de raças grandes (680 kg) em início de lactação (11 dias de lactação).	83
Tabela 24 – Necessidades nutricionais para vacas de raças grandes (680 kg) aos 90 dias de lactação.	84

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	OBJETIVOS GERAIS.....	16
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	ESCRITURAÇÃO ZOOTÉCNICA	17
2.1.1	Coleta e gerenciamento de dados zootécnicos.....	18
2.1.2	Obtenção de indicadores zootécnicos	19
2.2	NUTRIÇÃO DE BOVINOS DE LEITE	20
2.2.1	Aspectos gerais	20
2.2.2	Energia	21
2.2.3	Consumo de matéria seca	27
2.2.4	Proteína.....	29
2.2.5	Minerais	31
2.3	OTIMIZAÇÃO APLICADA À NUTRIÇÃO ANIMAL	33
2.3.1	Aspectos gerais	33
2.3.2	Método Simplex.....	34
2.3.3	Gradientes Reduzidos Generalizados	35
3	DESENVOLVIMENTO	36
3.1	ESTRUTURAÇÃO DE UM BANCO DE DADOS DE CONTROLE ZOOTÉCNICO.....	36
3.1.1	Modulo identificação	37
3.1.2	Modulo rebanho.....	37
3.1.3	Módulo manejo.....	39
3.1.4	Módulo alimentação	40
3.1.5	Módulo nutrição.....	40

3.2	IMPLEMENTAÇÃO DOS ALGORITMOS DE OTIMIZAÇÃO APLICADA À NUTRIÇÃO ANIMAL	40
3.3	PROJETO DE UM SOFTWARE DE CONTROLE ZOOTÉCNICO INTEGRADO COM A NUTRIÇÃO	42
3.3.1	Controle zootécnico	43
3.3.2	Nutrição	45
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
4.1	BANCO DE DADOS	47
4.2	COMPARAÇÃO COM DADOS EXISTENTES	48
4.3	SOLUÇÕES NUTRICIONAIS ÓTIMAS	56
5	CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS.....	64
	REFERENCIAS	65
	ANEXOS	69
	ANEXO A – Fatores utilizados para a determinação de necessidades nutricionais dos animais.....	70
	ANEXO B – Equações adotadas para a determinação das necessidades nutricionais dos animais, extraídas do NRC (2001).	72
	ANEXO C – Fluxogramas das equações empregadas para novilhas de reposição.	79
	ANEXO D – Tabela de alimentos e tabelas de exigências nutricionais de vacas obtidas através de simulações comparativas.	83

1 INTRODUÇÃO

Nos sistemas de criação de ruminantes, a alimentação corresponde a valores correspondentes de 60 a 70% dos custos totais (MARTINS et al., 2000; CARVALHO et al., 2009). A criação de novilhas resulta no aumento dos custos, por estas serem animais que não possuem retorno imediato, culminando em aumento de custos no sistema de produção leiteiro (SALLES et al., 2001). Como o preço bruto recebido pelo leite não é controlado pelo produtor, é necessário que ele controle as variáveis que estão ao seu alcance, reduzindo, assim, o custo de produção (REIS et al., 2001). Dessa forma, como em qualquer outra atividade, o resultado econômico da atividade leiteira está relacionado aos custos de produção e a escala de produção (CARVALHO et al., 2009).

Dentre os fatores que influenciam o custo de produção nas categorias juvenis, destaca-se a alimentação, em especial a fase de aleitamento, sendo buscadas alternativas para reduzir os custos, como a desmama precoce (NUSSIO et al., 2003). O custo dos alimentos concentrados para bezerras, na maioria das vezes, é inferior ao custo dos sucedâneos, ou do próprio leite, possibilitando a substituição destes últimos (ALMEIDA JÚNIOR et al., 2008).

Entretanto, para que o desaleitamento precoce possa ser realizado, é necessário um período de adaptação e transição, adaptando o rúmen e a microbiota, para que estes animais possam adotar uma dieta de ruminante (QUIGLEY apud NRC, 2001; ANDERSON apud NRC, 2001). No momento em que as bezerras realizam consumo satisfatório de concentrados, a dieta líquida passa a possuir menor importância sobre a ingestão de matéria seca (MS), como também no desempenho do próprio animal, possibilitando o desaleitamento e a redução dos custos de criação dos animais de reposição nos sistemas de produção de leite (ALMEIDA JÚNIOR et al., 2008).

Com a possibilidade de o produtor formular a própria ração no estabelecimento rural, há uma redução de custos, já que o uso do alimento concentrado adquirido no comércio ou fabricado na propriedade, não apresenta diferenças significativas na qualidade nutricional (PARIS et al., 2012). Através desta estratégia, há a possibilidade de reduzir o custo de produção da atividade, tornando-a economicamente mais atrativa.

1.1 OBJETIVOS GERAIS

Visando permitir a redução dos custos na alimentação em rebanhos leiteiros, além de proporcionar uma dieta equilibrada para os animais das categorias iniciais, surge o interesse na aplicação de um método de otimização de dietas que proporcione atenção aos animais jovens, permitindo adequado desenvolvimento, atendendo as demandas nutricionais ao custo mínimo.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Buscar equações de determinação de exigências nutricionais de bovinos leiteiros;

Aplicar métodos de otimização para obtenção de dietas equilibradas a custo mínimo;

Elaborar modelo de um banco de dados de alimentos, dados zootécnicos e dietas formuladas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A produção mundial de leite bovino está concentrada na União Europeia, onde são produzidos anualmente 144,7 bilhões de litros, sendo seguido pela Índia, EUA, China e, por fim, Brasil. Entre os anos de 2013 e 2014, o crescimento da atividade leiteira foi de aproximadamente 2,64% (PARANÁ, 2012).

Em 2014, a produção de leite no Brasil foi de 35,17 bilhões de litros, sendo que a aquisição por estabelecimentos industriais fiscalizados foi de 24,75 bilhões de litros (INSTITUTO..., 2014). A projeção de produção para 2016 é de 38,72 bilhões de litros. Até o ano de 2025, o Brasil projeta uma produção de 47,47 bilhões de litros de leite (BRASIL, 2015).

Desde o ano de 2000, a aquisição de leite no Brasil apresentou crescimento contínuo. Porém, houve um decréscimo na produção de leite no cenário nacional em 2015, onde a aquisição foi de 24,05 bilhões de litros, significando redução de 2,8% em relação à 2014. A redução na produção de leite no território nacional deu-se em virtude da valorização do dólar, que culminou com o aumento dos custos de produção. Associado ao aumento dos custos, houve fatores climáticos adversos, que prejudicaram a produção e escoamento do leite na região Sul, além do atraso das chuvas no Centro-Oeste e Sudeste nacional (INSTITUTO..., 2015).

Entre os anos de 2009 e 2014, o Rio Grande do Sul, Paraná e Santa Catarina figuravam entre os Estados de maior crescimento em produção, superior a 5,5% ao ano. A região Sul, em 2014, aumentou sua produção em 426 milhões de litros (ZOCCAL, 2015), tornando-se a primeira colocada em produção de leite no cenário nacional, corresponde a 34,7% do total produzido. O Paraná figurava na 3ª posição dos Estados com maior produção, ficando atrás de Minas Gerais e Rio Grande do Sul, respectivamente (INSTITUTO..., 2014). O Sudoeste Paranaense tornou-se nos últimos anos uma região importante na captação e industrialização de leite (CAMILO, 2012).

2.1 ESCRITURAÇÃO ZOOTÉCNICA

Na busca pelo aumento da produtividade, rentabilidade e organização, é necessário que seja realizada a escrituração zootécnica da atividade leiteira de forma consistente (MION et al., 2012). Os dados zootécnicos, quando coletados e armazenados de forma adequada, fornecem informações importantes no sistema

produtivo, auxiliando os produtores e técnicos no planejamento futuro do empreendimento pecuário, mensurando a eficiência e identificando erros, podendo, assim, ser utilizado nas tomadas de decisão (BORGES et al., 2004; MION et al., 2012).

As informações obtidas através da correta escrituração zootécnica poderão, além de proporcionar melhor gestão e tomadas de decisões no planejamento da atividade, agregar valor na venda de animais. Em eventuais trocas de técnico na propriedade, há uma maior agilidade e acurácia na identificação do cenário em que se encontra a atividade, antecipando tomadas de decisões, como em intervenções necessárias para o aperfeiçoamento do sistema produtivo (BORGES et al., 2004). A utilização de ferramentas, que auxiliam na gestão da atividade leiteira permite tornar a atividade rentável em propriedades familiares de pequeno porte (TUPY et al., 2006).

O controle zootécnico permite avaliar, na atividade pecuária, informações de desenvolvimento dos animais, produção, reprodução, sanidade e alimentação. O uso do controle zootécnico, é possibilitada a realização do acompanhamento econômico da atividade, analisando receitas, custos de produção, depreciações, margem bruta, margem líquida, que posteriormente poderão ser utilizadas para a identificação de gargalos na atividade, como também auxiliar nas tomadas de decisões futuras (MION et al., 2012) (FAUSTO et al., s.d.). O uso deste controle também viabiliza na produção de leite com redução de custos, proporcionada pela gestão eficiente do empreendimento (FASSIO et al., 2006).

2.1.1 Coleta e gerenciamento de dados zootécnicos

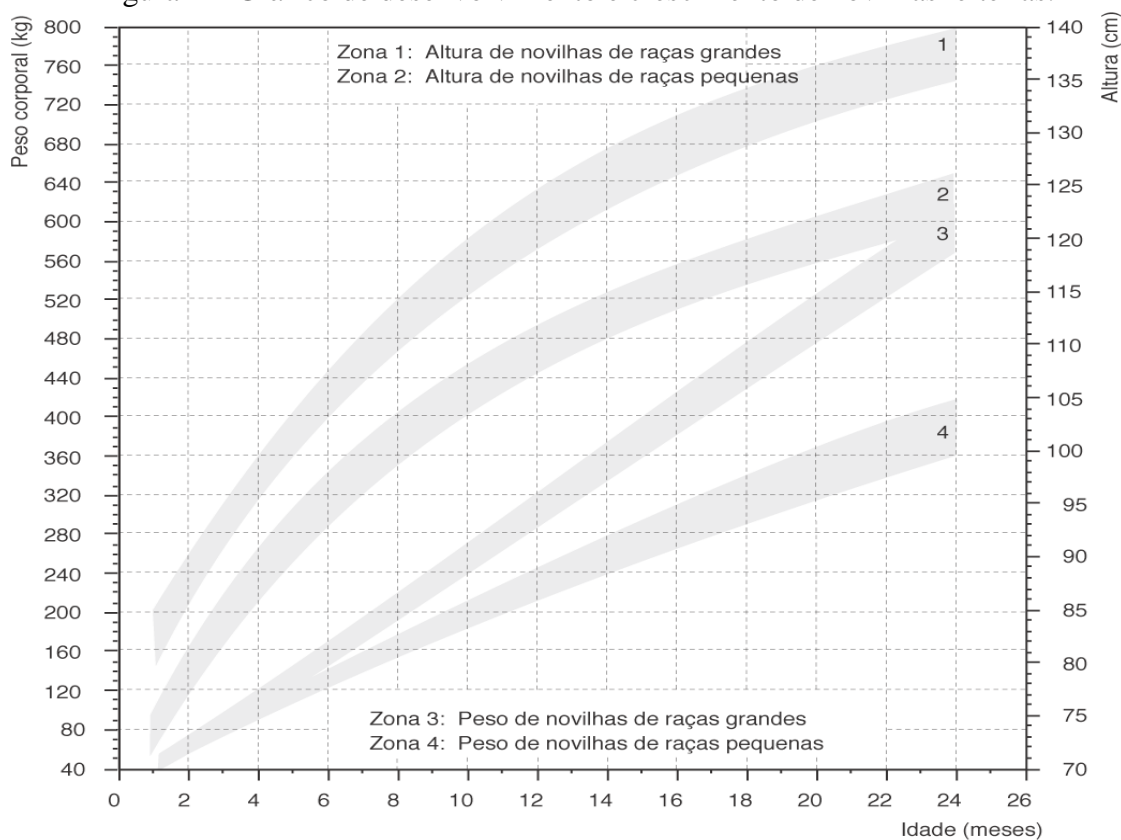
Para o início de um trabalho de escrituração zootécnica, é necessário que seja realizada rotina de coleta de dados, através da identificação dos animais, nascimentos, coberturas, controle leiteiro, encerramento de lactação das vacas, peso dos animais em crescimento, entrada e saída de animais (CAMARGO E RIBEIRO apud CREVELIN et al., 2007).

Entre as informações zootécnicas importantes na coleta rotineira em uma propriedade, estão o peso dos animais, exames reprodutivos, qualidade do sêmen, vacinações, controles de parasitas, tratamentos curativos e ocorrências gerais (CAMARGO E RIBEIRO apud CREVELIN et al., 2007).

2.1.2 Obtenção de indicadores zootécnicos

Os indicadores zootécnicos obtidos através da escrituração zootécnica do rebanho para as bezerras e novilhas consiste nos dados de desenvolvimento do animal, como o ganho médio diário, ganho de peso em um determinado período, altura na cernelha e escore de condição corporal. Estes dados possibilitam ao produtor acompanhar se o desenvolvimento do animal está de acordo com o desejado para se conseguir um animal produtivo na idade adulta (WATTIAUX, s.d.).

Figura 1 – Gráfico de desenvolvimento e crescimento de novilhas leiteiras.



FONTE: WATTIAUX, s.d.

Figura 2 – Escore de condição corporal para novilhas leiteiras em crescimento.



FONTE: WATTIAUX, s.d

Os indicadores zootécnicos, que podem ser obtidos através da escrituração zootécnica para os animais adultos, são a produtividade diária e mensal de leite por propriedade; produtividade diária e mensal por vaca em lactação; produtividade diária e mensal por total de vacas do rebanho; relação de vacas em lactação ou secas pelo total de vacas; período de lactação ou persistência de lactação; intervalo entre partos; período de serviço; idade à primeira cobertura; idade ao primeiro parto e o índice de mastite. Ainda é possível obter indicadores que são empregados a todo o rebanho, sendo taxa de mortalidade (MION et al., 2012).

2.2 NUTRIÇÃO DE BOVINOS DE LEITE

Os animais destinados à produção leiteira necessitam que suas exigências sejam totalmente atendidas, para que seu organismo funcione de forma eficiente, mantendo-os em boas condições físicas e sanitárias. Quando o animal possui seu organismo em bom estado de funcionamento, culminará em uma maior produção leiteira, que por sua vez acarretará em aumento da lucratividade na atividade exercida (LUCCI, 2000).

O presente trabalho adotou como base o NRC (2001) - *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*, para que, através da sintetização do conteúdo, fosse possível obter as equações de determinação de exigências nutricionais para bovinos leiteiros. Durante o trabalho de tradução dos termos e siglas, constatou-se que algumas siglas tornariam a repetir-se para termos distintos. Dessa forma, optou-se pela manutenção de terminologias e siglas originais, na língua inglesa. As exigências nutricionais obtidas junto ao NRC (2001) serviram de base para a construção do *software*.

2.2.1 Aspectos gerais

O termo peso corporal em jejum (SBW) é designado para determinar o peso do animal após uma noite sem ingerir algum alimento ou água. O SBW corresponde a 96% do peso do animal. O valor do SBW é utilizado para mensurar a necessidade de energia líquida de manutença bem como também a produção de calor pelo animal. Ainda, poderá ser usado para determinar o montante de energia líquida para o crescimento do animal e o ganho de peso em jejum (SWG) (NRC, 2001).

O peso corporal vazio (EBW) corresponde a 85,5% do peso corporal do animal, sendo usado para a equação de predição da energia líquida necessária para SWG, pois

os requerimentos de energia líquida são proporcionais para a gordura e proteína no ganho de peso de corpo vazio (EBG) (GARRET et al. apud NRC, 2001), sendo que este corresponde a 96% do SWG.

O peso do bezerro ao nascimento (CBW) é determinado pelo peso corporal adulto da mãe, através do emprego da equação CBW. Já o peso do concepto (CW) é determinado pela Equação 7, que leva em consideração o período de gestação da fêmea e o peso do bezerro ao nascimento (NRC, 2001).

O peso adulto em jejum (MSBW) é originado pela multiplicação do peso adulto pelo fator de 0,96, descrito anteriormente. O peso de referência para a obtenção do peso corporal adulto em jejum (SRW_to_MSBW) é obtido através da divisão do valor de 478, pelo MSBW. A equivalência do peso corporal jejum (EQSBW) é obtida através do conhecimento do SBW, CW e SRW_to_MSBW, sendo descrita como apresentada pela Equação 8 (NRC, 2001).

O equivalente ao peso do corpo vazio (EQEBW, Equação 9) corresponde a 89,1 por cento do EQSBW. Já o ganho equivalente ao peso do corpo vazio (EQEBG), corresponde a 95,6 por cento do ganho de peso (WG, Equação 10) (NRC, 2001).

2.2.2 Energia

A energia é um nutriente essencial na manutenção dos processos vitais do organismo, em que se incluem a respiração, circulação, manutenção de temperatura, atividades corporais e físicas, processos metabólicos, dentre tantas outras atividades envolvidas (GUIMARÃES et al., 2012). Em condições normais de alimentação, a energia é o nutriente que mais limita o desempenho de animais, sendo necessário atribuir maior atenção a este nutriente na dieta entre os macronutrientes, na determinação das exigências do animal (GUIMARÃES et al., 2012; JÚNIOR et al., 2003).

2.2.2.1 Necessidades energéticas para manutenção

A mensuração dos níveis energéticos necessários para a manutenção dos animais jovens é realizada através da dieta que os mesmos consomem. As dietas podem ser líquidas, mistas ou sólidas. A dieta líquida é constituída pelo leite ou sucedâneo, enquanto que a dieta mista possui na sua composição o leite ou sucedâneo e

concentrado inicial. Por fim, a dieta sólida é constituída já pelo concentrado inicial somente (NRC, 2001).

Animais que ingerem somente dieta líquida, em uma faixa de peso corporal entre 25 e 50 kg, possuem uma exigência diária de energia líquida para manutenção de 0,086 Mcal/kg^{0,75} (NRC, 1989 apud NRC, 2001). A Equação 20 é empregada para determinar a estimativa de energia líquida para a manutenção dos animais (NRC, 2001).

A temperatura possui influência sobre a necessidade energética de manutenção das bezerras, afetando assim a demanda por fontes de energia. Segundo o NRC (2001), as bezerras devem ser divididas em dois grupos: com menos de dois meses de idade; com idade superior a dois meses. A expressão matemática que estima a necessidade energética é descrita como apresentada pela Equação 20.

O fator para temperatura denominado de *TempFactor* é determinado pela idade do animal, além da temperatura do ambiente. Por tal modo, é necessário o conhecimento da temperatura para que se possa alcançar uma estimativa mais precisa da exigência nutricional do animal para seu bom desenvolvimento. A Tabela 17 – Fator da temperatura do ambiente sobre a necessidade energética de bezerras é uma adaptação do NRC (2001), a qual apresenta o fator atribuído à temperatura e à idade do animal.

Os alimentos empregados na dieta dos animais possuem eficiência distinta de aproveitamento. Dessa forma, é necessário realizar uma correção da eficiência da energia metabolizável, para que a dieta fornecida alcance os níveis desejáveis de energia líquida e que supram as necessidades energéticas de manutenção dos animais. Os alimentos líquidos possuem eficiência de 86%, enquanto que as dietas sólidas, mais especificamente os concentrados iniciais, possuem eficiência de 75%. No caso das dietas mistas, o NRC (2001) adotou proporção de 60% para dieta líquida e 40% para dieta sólida, culminando assim numa eficiência de 82,5%. A variável *km* é correspondente à eficiência do aproveitamento da energia metabolizável.

Para novilhas em fase de crescimento, a determinação da necessidade energética de manutenção, necessita da observação de fatores ambientais, como a temperatura do ar, previsão do plano de nutrição, efeitos do estresse por frio e estresse pelo calor. Ainda, é necessário que seja realizado desconto do peso do conceito quando a fêmea se encontra em gestação, como pode ser visto na Equação 31.

A variável *a1* utilizada na determinação da necessidade energética, faz menção a um coeficiente com valor de 0,086, baseado em dados calorimétricos (HAALAND et al, 1980 apud NRC, 2001; HAALAND et al, 1981 apud NRC, 2001) e estudos

comparativos (FOX e BLACK, 1984). Nesse coeficiente, aproximadamente 10% são necessidades energéticas para a realização de atividades (FOX e TYLUTKI, 1998).

A temperatura possui impacto sobre a necessidade energética de manutenção do animal (NRC, 1981). O animal encontra-se em condições de temperatura ideal, quando está em 20°C, não afetando o metabolismo basal. Para determinar o efeito da temperatura sobre os requerimentos energéticos do animal, na dieta a ser formulada, deverá ser levada em consideração a previsão de temperatura (*PrevTemp*) para o período de vigência da dieta (NRC, 2001). A influência da temperatura prevista é computada na equação de energia para manutenção, através da variável *a2*.

O ajuste do plano nutricional leva em consideração o estado corporal do animal. O valor do ajuste do plano nutricional determina o período que o animal necessita para ganhar ou perder um ponto na condição corporal (NRC, 2001).

Para mensurar os efeitos do frio sobre a necessidade energética de manutenção, para que o animal possa manter uma temperatura corporal normal, é necessária a execução de uma série de equações. Dentre as variáveis que devem ser calculadas, está a área de superfície do animal (*SA*), produção de calor (*HP*), insolação externa (*EI*), insolação total (*INS*), temperatura mínima crítica para o animal (*LCT*), energia metabolizável necessária para o estresse por frio (*ME_{CS}*) (NRC, 2001).

A área de superfície do animal é obtida através da multiplicação do coeficiente 0,09 pelo *SBW* do animal (NRC, 2001), sendo representada pela Equação 43.

A produção de calor é obtida através do conhecimento do consumo de energia metabolizável do animal (*MEI*) e da energia avaliada para produção (*NEFP*). O valor da *NEFP* é o mesmo que a energia líquida destinada para o crescimento em condições sem estresse (*NEGrowthDietNS*) (NRC, 2001).

Para a obtenção do valor da insolação externa (*EI*, °C/Mcal/m²/d), são necessários na equação os valores da velocidade do vento (*WindSpeed*, Km/h), o comprimento do pelo (*HairDepth*, cm) e o ajuste do fator de insolação externa (*Coat*). Este último é descrito em quatro condições, como expostas na Tabela 19 (NRC, 2001).

A insolação total (*INS*, °C/Mcal/m²/d) sofrida pelo animal é determinada através da soma dos valores obtidos do *EI* e o valor da insolação tecidual (*TI*, °C/Mcal/m²/d). O valor da *TI* é variado conforme a idade do animal. Animais jovens, com até 30 dias de idade, possuem um fator de 2,5, já os animais com até 183 dias, possuem um fator de 6,5. Animais de 184 até 362 dias de idades têm o seu *TI* determinado através da

resolução da equação $5,1875 + (0,3125 \times BCS)$. Por fim, animais com 363 dias ou mais têm seu TI igual ao resultado da equação $5,25 + (0,75 \times BCS)$ (NRC, 2001).

Os dados provenientes das equações de produção de calor, insolação total e área de superfície culminam na determinação da temperatura mínima crítica (LCT, °C) que o animal poderá suportar, sem sofrer alterações na exigência de energia para a manutenção, como apresentada pela Equação 40 (NRC, 2001).

A LCT é utilizada para determinar a necessidade de energia metabolizável para a manutenção da vida do animal, juntamente com os valores da área de superfície do animal, temperatura ambiente e valor total de insolação. A energia líquida de manutenção é determinada através da divisão da ME_{CS} pelo coeficiente de eficiência da energia, que é obtida através da energia líquida de manutenção da dieta (NE_M) pela energia metabolizável (ME) da dieta. As equações estão apresentadas a seguir (NRC, 2001).

O estresse por calor também afeta a exigência energética de manutenção. Conforme aumenta a temperatura do ambiente, há um incremento na necessidade energética, para que ocorra a termo regulação, através da dissipação do calor produzido (NRC, 1996). Devido à complexidade para determinar a temperatura máxima para que não ocorram alterações nas exigências energéticas, foi determinado um coeficiente, com valor dependente para as demonstrações de estresse por calor que o animal apresenta, que é multiplicado pela energia líquida de manutenção (NE_M) (NRC, 2001). Os coeficientes empregados para a variável StrHeat estão descritos na

Tabela 20 – Stress térmico por calor (StrHeat)..

A variável NE_{MNS} é referente à energia líquida de manutenção, em condições sem nenhum estresse, enquanto que o StrCold recebe o valor de NE_{MCS} . O StrHeat corresponde ao coeficiente do estresse por calor, e por fim, o NE_{MACT} é o valor da energia líquida de manutenção para as atividades dos animais. Através do conhecimento dos valores atribuídos as variáveis descritas anteriormente, é possível determinar a necessidade energética de manutenção dos animais, como é apresentado pela Equação 46 – Energia líquida de manutenção para novilhas (NE_M , Mcal/dia)..

Em estudo realizado com vacas não gestantes, estabuladas em sistema de *free-stall*, foi analisado que a produção de calor foi de $0,073 \text{ Mcal/kg BW}^{0,75}$ (FLATT et al.,

1965 apud NRC, 2001). Com base nesses valores, foram atribuídos 10% de necessidade energética para atividades voluntárias para vacas estabuladas em sistemas de *free-stall*. Com este pressuposto, atribui-se que a demanda NE_L para a manutenção de vacas estabuladas é de $0,080 \text{ Mcal/kg BW}^{0,75}$ (NRC, 2001).

2.2.2.2 Necessidades energéticas para manutenção para atividades

A equação da necessidade de energia para a manutenção de vacas em lactação já se encontra incluído um acréscimo de 10%, para os gastos com as atividades diárias para animais que são criados em sistemas estabulados. Porém, para as vacas em lactação que se encontram em sistemas a pasto, é necessário realizar as estimativas de necessidade energética, já que estas necessitam de maior percurso diário, necessitando realizar a movimentação em terrenos íngremes, além de gastarem maior tempo com a apreensão e ingestão de alimentos, quando comparados com os animais estabulados (NRC, 2001).

Com vistas à realização de estimativa mais apurada da necessidade energética para a realização das atividades, é considerada a distância percorrida diariamente, a topografia do terreno do pastejo e o peso do animal. A cada quilometro percorrido pelo animal, em terreno plano, estima-se a necessidade de $0,00045 \text{ Mcal/kg}$ de peso corporal (COULON et al, 1997; BELLOWS et al, 1994; *Agricultural Research Council*, 1980 apud NRC, 2001). Para vacas em lactação em pastejo, admitiu-se a necessidade de $0,00012 \text{ Mcal}$ de NE_L por kg de peso corporal, para as atividades de apreensão e ingestão de alimento (NRC, 2001).

Os animais que estão em sistema de pastejo, para se deslocarem até a pastagem, necessitando locomover-se em terrenos íngremes, possuem custo energético estimado de $0,03 \text{ Mcal}$ (NE_L) por kg de peso corporal (*Agricultural Research Council*, 1980 apud NRC, 2001). Para isto, foi adotado que os animais deslocam aproximadamente 50 metros em média em relação ao nível do mar, realizando quatro trajetos diários, totalizando 200 metros. Com base nestes dados, foram estipulados os valores de $0,006 \text{ Mcal}$ de energia líquida por kg de peso corporal (NRC, 2001).

Quando as vacas se encontram em pastagens em terrenos planos, a energia líquida de manutenção para atividades (NE_{MACT}) é determinada pela Equação 65. Quando elas se encontram em terrenos acidentados, é empregada a Equação 66.

Para o caso das novilhas de reposição, criadas a campo, foi adotado que os animais permanecem no local da pastagem e que os mesmos percorrem

aproximadamente dois quilômetros diariamente em busca de alimento (NRC, 2001). Assim, adota-se a premissa de que para cada quilômetro percorrido, há o gasto energético equivalente a 0,00045 Mcal/kg de peso corporal, sendo necessária a ingestão de 0,0009 Mcal/kg de peso corporal por dia, para atender a demanda das atividades. Para as atividades de apreensão e ingestão de alimentos, como pastejo em terrenos íngremes, foram mantidos os mesmos valores aos aplicados às vacas em lactação. A expressão que determina a necessidade energética de manutenção para as atividades das novilhas é descrita pela Equação 26.

2.2.2.3 Necessidade energética para lactação

Para os animais que se encontram em lactação, a energia líquida requerida para a lactação (NE_L) é definida através da energia contida no leite. A concentração da NE_L é equivalente à soma da produção de calor de cada componente contido no leite, como a gordura, proteínas e lactose. A gordura do leite possui 9,29 Mcal/kg de energia líquida, enquanto que a proteína e lactose possuem 5,71 e 3,95 Mcal/kg, cada uma, respectivamente (NRC, 2001).

Para a determinação da necessidade energética da produção de leite, é possível empregar duas equações. Uma delas utiliza os valores da lactose presente no leite, enquanto que a Equação 67 possibilita a determinação da necessidade energética por kg de leite produzido, sem o conhecimento do teor da lactose (NRC, 2001).

2.2.2.4 Necessidade energética para gestação

O período máximo para a gestação considerado para a determinação da energia necessária para a manutenção da prenhez é de 279 dias. A necessidade energética para a gestação é considerada nula antes dos 190 dias de prenhez (BELL et al., 1995). A necessidade de energia para a gestação é dependente do peso ao nascimento do bezerro, para isso, foi integrado um ajuste na equação proposta por BELL et al. (1995), onde assumiu-se que a média do peso vivo de bezerros da raça Holandesa é de 45 kg (NRC, 2001). A eficiência do uso da energia metabolizável pelos úteros gravídicos foi de 0,14, conforme estudo realizado por Ferrel et al. (1976). O NRC (2001) adotou para a conversão da ME em NE_L , o fator de eficiência de 0,64, estabelecendo assim a necessidade energética em NE_L (Mcal/d).

Assume-se que a variável *Days*, corresponde aos dias de gestação, devendo esta encontrar-se entre os valores de 190 e 279. A variável CBW é adotada para determinar o peso corporal do bezerro ao nascimento, sendo expresso em quilogramas (NRC, 2001).

2.2.2.5 Necessidade energética para ganho de peso

Para os animais jovens, a estimativa da necessidade energética para o ganho de peso, segue a mesma linha da energia de manutenção do animal, dependendo da dieta que este recebe. A expressão matemática adotada pelo NRC (2001) para a estimativa da energia líquida do ganho de peso, leva em conta o peso corporal do animal (BW, kg) e o ganho médio diário (LWG, kg), sendo representado pela Equação 21.

A eficiência do uso da energia metabolizável pelos animais para o ganho de peso é variável à constituição da dieta. Quando dietas líquidas, a eficiência do aproveitamento é de 69%, enquanto que dietas sólidas possui eficiência de 57%. As dietas mistas possuem eficiência de 62,5% (NRC, 2001). A variável *kg* na Equação 22 corresponde à eficiência na utilização da energia metabolizável na transformação para energia líquida pelo animal.

Para novilhas e vacas que ainda se encontram em estado de crescimento, a necessidade energética é calculada através da energia retida pelo animal, em que é considerado o EQEBW e EQEBG. A expressão matemática que determina a energia retida (Mcal/dia) pelo animal é expressa conforme a Equação 47.

2.2.3 Consumo de matéria seca

O consumo de matéria seca é influenciado por inúmeros fatores, relacionados com o animal, o alimento ou o ambiente. Quando a dieta possuir alta concentração energética, contendo baixo teor de fibra, comparada as exigências do animal, o consumo será limitado pela demanda energética. Porém, quando a dieta possuir baixa concentração energética, conciliada a um alto teor de fibra, o consumo será limitado pela capacidade de ingestão do animal.

Animais alimentados com dietas contendo altas taxas de fibra em detergente neutro (FDN) necessitarão de maior período de ruminação e conseqüentemente, o volume de alimentos consumidos pelo animal será reduzido. Sabendo desta informação,

para aumentar a eficiência produtiva dos animais, deve-se buscar dietas que contenham taxas ideais de FDN (BÜRGER et al., 2000).

O conhecimento do volume de matéria seca consumido pelo animal é um fator determinante para o estabelecimento da dieta. Através deste valor, será possível determinar a ingestão de nutrientes, que proporcionarão saúde à produção do animal. Conhecendo-se o consumo de matéria seca (DMI), é possível realizar o fornecimento adequado dos nutrientes, possibilitando uso eficiente dos mesmos, além de evitar a restrição ou perda nas fezes, pela sua não absorção (NRC, 2001). Associado ao fornecimento adequado é possível minimizar o custo da dieta, e conseqüentemente, diminuir os custos de produção da atividade.

2.2.3.1 Bezerras

A determinação do consumo de matéria seca para as bezerras é estimada através da necessidade de ingestão da energia metabolizável. Conhecendo-se a necessidade energética do animal, é possível determinar o DMI através da divisão da necessidade, pela concentração de energia na matéria seca do alimento, fazendo uso da Equação 23.

A variável NE_M , corresponde à energia metabolizável de manutenção para o animal, enquanto que a variável b remete à concentração energética do alimento. Quando a dieta é composta exclusivamente de leite ou sucedâneo, admite-se que a concentração seja de 4,75 Mcal/Kg de matéria seca. Quando a dieta for composta pelo fornecimento de concentrado e alimento líquido, em uma proporção de 40% e 60% respectivamente, é adotada a concentração de 4,16 Mcal/Kg, sendo que a concentração do alimento sólido é de 3,28 Mcal/kg de MS e do alimento líquido de 4,75 Mcal/kg de MS. Para os animais jovens que atingiram a fase de ruminantes completos, para a estimativa da DMI, é adotado o valor de 3,10 Mcal/kg de MS para animais com peso na casa dos 60, 70 e 80 kg, e de 2,90 Mcal/kg de MS para animais com peso corporal de 90 e 100 kg (NRC, 2001).

2.2.3.2 Novilhas

Para as novilhas de reposição, a DMI é estimada com base no peso corporal do animal (PC, kg) e necessidade de energia líquida de manutenção (NE_M , Mcal/kg), conforme apresentado na Equação 51. Para os casos novilhas gestantes, é aplicado um

fator de correção para o consumo de matéria seca. Esta correção é aplicada quando a gestação se encontra entre os 210 e 259 dias. A DMI é multiplicada por este fator, ficando, expresso o consumo de matéria seca para este período. Para novilhas que estão com a gestação acima dos 259 dias, a determinação do consumo de matéria seca é dada pela Equação 53 (NRC, 2001) Equação 52.

2.2.3.3 Vacas em lactação

A DMI das vacas em lactação da raça Holandesa é determinada pela produção de leite diária corrigida para 4% de gordura (FCM), peso corporal em kg (BW), semana de lactação (WOL), através de a Equação 70 (NRC, 2001).

2.2.3.4 Vacas secas

Para as vacas secas, com a gestação superior a 259 dias, adota-se a Equação 71. A necessidade do consumo de matéria seca é estimada através do peso do animal (BW, kg), multiplicado pelo fator de correção do consumo nos 21 dias precedentes ao parto (NRC, 2001).

2.2.4 Proteína

Para as bezerras, a necessidade de proteína é estimada conforme a dieta consumida, pois cada dieta fornecida, conforme apresentada na seção de energia, possui um valor biológico de proteína, influenciando assim o aproveitamento da mesma. As equações empregadas para a determinação de proteína são a proteína aparente digestível (*ADP*) e a proteína bruta (*CP*), ambas apresentadas em gramas por dia (NRC, 2001).

Para a *ADP*, a expressão empregada é a descrita pela Equação 24, onde cada variável possui um coeficiente específico, dependendo da dieta que o animal consome. O valor biológico (*BV*) é de 0,8 para dietas líquidas, 0,764 para dietas mistas e 0,70 para dietas sólidas. A variável *E* corresponde ao nitrogênio urinário endógeno, sendo utilizado o coeficiente $0,2 LW^{0,75}$. É atribuído o valor de 30 para *G*, que se refere ao nitrogênio contido no ganho de peso. A variável *M* é o nitrogênio metabólico fecal, sendo atribuído os valores de 1,9, 2,46 e 3,3 para as dietas líquidas, mistas e sólidas,

respectivamente. A variável D é utilizada para atribuir o valor do consumo de matéria seca (DMI) por dia (NRC, 2001).

A proteína bruta é determinada pelo valor obtido da proteína aparente digestível, dividida pelo coeficiente de digestibilidade da proteína (p). Quando a dieta é líquida, o coeficiente é de 0,93, pelo fato da proteína do leite possuir digestibilidade assumida de 93%. Quando a dieta for mista, o coeficiente é de 0,8645. Por fim, quando a dieta for totalmente sólida, a digestibilidade é de 75% ou 0,75 (NRC, 2001).

2.2.4.1 Manutença

A necessidade de proteína para a manutenção do animal é obtida através da soma das variáveis de proteína metabolizável fecal requerida (MPFR), requerimento urinário, *scurf requirement* e requerimento de proteína metabolizável endógena (MPEndReq). A proteína metabólica fecal requerida é determinada através da Equação 58, que leva em consideração o total de matéria seca da alimentação (TotalDMFed) e a proteína metabolizável bacteriana (MPBact) (NRC, 2001).

2.2.4.2 Crescimento

A estimativa das exigências proteicas para o crescimento é determinada através dos valores de energia retida (RE), bem como o ganho médio diário (LWG) e equivalente ao peso corporal vazio (EQSBW). A determinação da proteína líquida necessária para o crescimento do animal é estimada pela Equação 60. A conversão de proteína líquida para proteína metabolizável (MP) é realizada pelos fatores de correção, que são obtidos através das condições, em que o valor de EQSBW for inferior ou igual a 478 kg, então a eficiência do uso da proteína metabolizável é expressa pela Equação 61. Caso o valor de EQSBW for maior que 478 Kg, então é adotado o valor de 0,28908 para a variável EMP_NPG. A determinação da necessidade de proteína metabolizável na dieta é realizada através da Equação 62 (NRC, 2001).

2.2.4.3 Gestação

Segundo descrito por Bell et al. (1995), as exigências de nutrientes para a gestação antes dos 190 dias são pequenas, não sendo necessária a sua determinação,

sendo calculadas somente a partir dos 190 dias. A eficiência de uso da proteína metabolizável durante a gestação (EMP_{PREG}) é assumida como de 0,33. Para a determinação da exigência proteica para a gestação, é necessário conhecer o período de gestação, o peso provável do bezerro ao nascimento (CBW), além da eficiência de aproveitamento da proteína metabolizável (EMP_{PREG}). Para os animais que se encontram em período de gestação superior a 279 dias, é assumido que a exigência proteica seja igual à do dia 279 (NRC, 2001).

2.2.4.4 Lactação

A determinação do consumo de proteína, para a produção de leite é baseada na excreção de proteína no leite. A equação para a determinação da proteína excretada pelo leite é representada pela Equação 72, onde *MilkProd* corresponde à produção diária de leite (kg/d) e a proteína verdadeira presente no leite (*MilkTrueProtein*) (NRC, 2001).

A eficiência do uso da proteína metabolizável na lactação é assumida o valor de 0,67. A Equação 73, estima a proteína metabolizável requerida para a lactação, que é expressa em gramas por dia (NRC, 2001).

2.2.5 Minerais

É necessária a suplementação mineral dos animais, visando a manutenção da sanidade destes, como possibilitar que possam demonstrar o seu potencial genético. A deficiência mineral, limita o desempenho reprodutivo e produtivo dos animais (PEIXOTO et al., 2005).

2.2.5.1 Cálcio

As necessidades de cálcio absorvível para a manutenção de animais não lactantes são de 0,0154 gramas por quilograma de peso corporal. Já para os animais em lactação, a necessidade de cálcio para a manutenção é incrementada em 0,031 g/kg de peso corporal (NRC, 2001). Os requerimentos diários de cálcio para o crescimento são determinados pela Equação 81, que foi desenvolvida pelo *Agricultural and Food Research Council* (NRC, 2001). A variável MW corresponde ao peso adulto, BW ao peso corporal e WG o ganho de peso (NRC, 2001).

Para o desenvolvimento fetal durante a gestação, as necessidades de cálcio são calculadas somente no terço final da gestação, após os 190 dias de gestação, período que se inicia a calcificação esquelética do concepto. A necessidade de cálcio absorvido é descrita por uma equação exponencial (NRC, 2001). A variável t corresponde ao período de gestação do animal.

Os requerimentos de cálcio para a lactação são influenciados pela concentração de proteína contida no leite nas variadas raças. A necessidade de cálcio é de 1,22 g/kg de leite produzido para animais da raça Holandesa, enquanto que para a raça Jersey os requisitos são de 1,45 g/kg. Para as demais raças, a necessidade de cálcio é de 1,37 g/kg. Para animais em início de lactação, na qual existe produção de colostro, a exigência é de 2,1 g/kg de colostro produzido. O coeficiente de absorção de cálcio adotado pelo é de 0,38 (NRC, 2001).

2.2.5.2 Fósforo

A necessidade de fósforo para a manutenção das vacas, é de 1 g para cada kg de matéria seca consumida pelo animal, enquanto que para as demais categorias, a necessidade é de 0,8 g para cada kg de matéria seca consumida (NRC, 2001).

O crescimento dos animais é determinado pelo fósforo absorvido e depositado nos tecidos adicionais e esqueleto (NRC, 2001). Há a estimativa de incremento de 1,2 gramas de fósforo para cada quilograma de tecido ganho (*Agricultural Research Council*, 1980 apud NRC, 2001; GRACE, 1983). A variável MW corresponde ao peso adulto dos animais da raça, enquanto que BW se refere ao peso corporal no momento, e a variável WG ao ganho de peso do animal.

Para a gestação, as exigências de fósforo são computadas somente no terço final, a partir dos 190 dias, quando o fósforo é agregado ao concepto (HOUSE e BELL, 1993). A Equação 84 computa o fósforo absorvido pelo animal que será destinado ao concepto. Antes dos 190 dias de gestação, a exigência do concepto é mínima, sendo ajustado para o valor zero (NRC, 2001). A variável t corresponde ao período de gestação do animal.

Para a lactação, a necessidade de fosforo absorvido é igual ao resultado da multiplicação da produção diária de leite pela porcentagem de fósforo contido no leite. Em alguns trabalhos apresentados no NRC (2001), os valores variaram de 0,083% até 0,100%, sendo que para o modelo adotou-se o valor de 0,090.

Tabela 1 – Fósforo presente no leite

Teor de fósforo contido no leite	Referência
0,083 – 0,085	Wu et al., 2000
0,087 – 0,089	Spiekers et al., 1993
0,090 – 0,100	Flynn and Power, 1985

FONTE: Adaptado de NRC, 2001.

Para a determinação da necessidade de fósforo para a lactação será adotada a Equação 85 a seguir, onde *MilkProd* corresponde à produção diária de leite.

2.3 OTIMIZAÇÃO APLICADA À NUTRIÇÃO ANIMAL

Para a formulação de dietas viáveis, tanto no aspecto nutricional do animal, como também economicamente, evitando desperdícios ou falta de nutrientes, é necessário que se possua estimativas acuradas da disponibilidade nos alimentos (COSTA et al., 2005).

Os alimentos concentrados têm importância significativa dentro da atividade, por representarem entre 30 e 40% do montante total dos custos operacionais totais, enquanto que os volumosos correspondem de 17 a 30% dos custos operacionais totais em propriedades com sistemas de média e alta tecnologia de produção. A nutrição de um rebanho leiteiro pode representar até 65% dos custos totais dentro da empresa rural (RENNÓ et al., 2008; NOGUEIRA, 2004 apud RENNO et al, 2008; BATH & SOSNIK, 1992 apud RENNO et al, 2008; FERREIRA, 2002 apud RENNO et al, 2008).

A avaliação econômica e nutricional dos alimentos é necessária, em virtude da busca na maximização da margem líquida da atividade (RENNÓ et al., 2008). Através do emprego dos métodos de otimização, é possível reduzir os custos de produção, com a formulação de dietas ótimas, que atendam às exigências dos animais à um custo reduzido.

2.3.1 Aspectos gerais

A formulação de dietas, as variáveis admissíveis no método empregado, que correspondem ao volume dos alimentos utilizados, deverão ser de caráter nulo ou positivo para suprir as exigências nutricionais dos animais para os quais as dietas serão elaboradas. Desta forma, visando variáveis não-negativas, é necessária a implantação de

restrições, que impeçam que o método adotado faça uso de valores que possuam tais características.

Os métodos empregados na otimização das dietas devem atender as necessidades nutricionais dos animais, visando proporcionar índices satisfatórios para a categoria, nas diferentes fases do ciclo (RENNÓ et al., 2008).

Para o processo da formulação de dietas, o método de otimização adotado não poderá ser demorado, proporcionando que o usuário efetue a atividade em curto espaço de tempo para que possa realizar outras atividades em sua rotina. O sistema deverá ser leve, não requerendo que o usuário necessite de equipamento (*hardware*) de alto custo, possibilitando o emprego em qualquer máquina que possuir a disposição para a execução da tarefa.

As equações de determinação de exigências nutricionais possuem características lineares, exceto as novilhas, que apresentam equações de determinação de necessidades energéticas não-lineares. O sistema RLM Leite demandou o uso de métodos não-lineares para a formulação da dieta ao custo mínimo (UNIVERSIDADE..., 2014). Desta forma, foi necessária a utilização de método de otimização não-linear para esta categoria animal, adotando o Gradiente Reduzido Generalizado (GRG) para a realização da otimização da dieta dos animais. Para as demais categorias, por possuírem características lineares, pode-se fazer o emprego do método Simplex, que é utilizado para problemas lineares de programação.

2.3.2 Método Simplex

O método Simplex consiste em um algoritmo, de solução eficiente de sistemas lineares, que se adapta perfeitamente a cálculos computacionais. É baseado na álgebra linear para, através de um método iterativo, que através da utilização de algoritmos, visa otimizar uma função objetivo de um modelo matemático, denominados de problemas de programação linear (PPL) (GOLDBARG e LUNA, 2005; DOS PASSOS, 2008).

O algoritmo utiliza-se de uma solução viável de um sistema de equações, que formam as restrições do PPL e estará localizada nas extremidades do sistema, denominados vértices. Conhecendo estas soluções, o método inicia a identificação de novos pontos de soluções, que deverão ser viáveis para o sistema implantado. Através deste método, o Simplex permite que sejam localizados valores novos e melhores

vértices, podendo finalizar com a determinação se o valor encontrado é de um vértice ótimo ou não (GOLDBARG e LUNA, 2005).

2.3.3 Gradientes Reduzidos Generalizados

O método de Gradientes Reduzidos Generalizados (GRG), proposto por Abadie e Carpentier em 1969, adaptado do método de Gradiente Reduzido, que foi desenvolvido por Wolfe em 1963. A generalização do método permitiu que pudesse ser utilizado em problemas com restrições lineares e não-lineares. O GRG utiliza os mesmos princípios adotados pelo método Simplex, para a otimização de um problema de programação não linear (STERN et al., 2007; FRITSCH, 1978 apud RIZZO FILHO, 2011).

O algoritmo GRG, cria um vetor de busca, através da transformação de um problema restrito, em outro irrestrito, visando facilitar o processo de encontro de um ponto de otimização de problemas em interesse. O GRG é um método numérico, que visa à localização de um ponto de máximo ou mínimo, a partir de valores iniciais, que atendam às restrições do problema a ser resolvido (RIZZO FILHO, 2011).

3 DESENVOLVIMENTO

Esta seção do trabalho, tratará da definição dos assuntos e componentes que integrarão o modelo do banco de dados. A implementação dos algoritmos será representada por pseudocódigos dos modelos linear do Simplex e não-linear do Gradiente Reduzido Generalizado. Ainda será descrito um projeto de um sistema informatizado para a realização do controle zootécnico do rebanho e elaboração de dietas.

A elaboração do modelo de um banco de dados para o controle zootécnico dos animais, adotará a ferramenta Access. Para a aplicação dos métodos de otimização, simulações das exigências nutricionais e formulações de dietas, será feito o uso da ferramenta Excel. Ambas as ferramentas utilizadas fazem parte do pacote da Microsoft Office 365¹.

O sistema informatizado para a nutrição, utilizará os dados obtidos através do controle zootécnico para a determinação das exigências nutricionais, adotando as equações descritas pelo NRC (2001). Após a determinação das exigências, o sistema fará uso dos algoritmos de otimização, para a obtenção da melhor dieta para a situação, buscando atender as demandas nutricionais, com base no custo mínimo.

3.1 ESTRUTURAÇÃO DE UM MODELO DE BANCO DE DADOS DE CONTROLE ZOOTÉCNICO

O armazenamento de dados referente aos manejos realizados no rebanho, possibilitará o controle zootécnico, podendo ser realizado através da utilização de uma ferramenta de banco de dados. A primeira etapa para a elaboração do banco de dados é a definição dos dados que serão armazenados. Para tal, será realizado previamente um levantamento do que será necessário para cada relação utilizada.

Para melhor compreensão, o banco de dados será dividido em classes, em que cada classe contará com o registro de um determinado conjunto de informações. As classes serão divididas em identificação, rebanho, manejo, alimentação e nutrição.

¹ Product Key Microsoft Office 365 Home (G7C7Q-NF87R-R7K2P-VH23H-G6J7R)

3.1.1 Classes identificação

Esta classe contará com o registro de informações que possibilitam a identificação, tais como o proprietário, a propriedade e os colaboradores/prestadores de serviço. O primeiro conjunto de registros, obrigatoriamente, são os dados do proprietário do estabelecimento rural. Para isso, é necessário o registro do nome, endereço, cidade, telefones para contato e e-mail, além do registro de algum comentário.

Após o registro do proprietário, segue-se para o registro do estabelecimento rural, em que será realizado o registro do nome e proprietário do estabelecimento, endereço, cidade, contatos como telefone, celular, fax, e-mail, web site, e outras informações de interesse do estabelecimento.

Para os colaboradores e prestadores de serviço, os dados que deverão ser armazenados são similares aos do proprietário, sendo o nome, endereço, cidade, telefones, e-mail, comentário. Porém, será necessário adicionar informações ao registro, tais como a função que desempenha e vínculo com o estabelecimento, se este atua somente na propriedade ou se atua em vários estabelecimentos, independente de proprietário.

3.1.2 Classe rebanho

Na classe rebanho, são realizados registros como os valores de decisão, registro de rebanhos, lotes, animais, atualização de categoria e saída de animais.

Os valores de decisão são informações pertinentes ao manejo do rebanho, que são utilizados como base para o processamento de dados pelo sistema, levando informações referentes aos animais do usuário. Estes valores são relativos ao rebanho, raças, reprodução, produção e crescimento dos animais.

Para os valores de decisão do rebanho, há a necessidade de se registrar a idade para que uma bezerra seja considerada novilha, como também a idade para que os bezerros sejam considerados garrotes, e garrotes sejam considerados touro. Ainda para o rebanho, será realizado o registro da raça predominante na constituição do mesmo.

Para as raças que serão utilizadas para o registro individual dos animais, será realizado o registro de raças com aptidão leiteira, bem como o peso adulto dos animais da raça e o período médio de gestação.

A tabela dos valores de decisão reprodutivos contará com os dados referentes à idade para a verificação do primeiro estro, intervalo entre estros, dias após a cobertura para o diagnóstico de prenhes, dias após o parto para verificação de estro, dias após o parto para controle reprodutivo, idade para o primeiro controle reprodutivo e intervalo entre controles reprodutivos. Também contará com o registro do período da ovulação da doadora de embriões até a transferência dos mesmos. Todos os dados contarão com a opção de utilização ou não no sistema de gerenciamento do rebanho. Ainda, haverá a possibilidade de realizar ou não o controle de sêmen para o rebanho.

Para a produção, os valores de decisão são o intervalo entre controles leiteiros, dias antes do parto para a secagem dos animais, período de gestação para que um aborto seja considerado uma nova lactação, bem como o período em lactação para que o aborto seja considerado uma nova lactação. Todos os valores também contarão com a opção de serem utilizados ou não no gerenciamento do rebanho.

Os valores de decisão para o acompanhamento de crescimento dos animais consistem na definição do intervalo entre as pesagens de animais jovens, animais em crescimento e animais adultos. Todos os valores poderão contar com a opção de serem utilizados ou não no gerenciamento do rebanho.

O registro de um novo rebanho receberá as informações do estabelecimento rural, como também os valores de decisão que serão utilizados para este. Os registros dos animais, será realizado com a identificação do animal pelo brinco, data de nascimento, nome, raça (s) e sua composição, categoria que se encontram, como a genealogia, e possíveis comentários referentes a ele.

O rebanho poderá conter vários lotes aos quais os animais pertencem, que possibilita uma facilidade no manejo da propriedade. Para isto, haverá a possibilidade do registro dos lotes no sistema, em que será cadastrado o lote com a sua descrição. Após o registro do lote, poderá ser prosseguida a inclusão dos animais.

Conforme o desenvolvimento do animal, através dos valores de decisão, o usuário poderá realizar a atualização de categoria, sendo necessário o cadastro da data em que ocorreu a alteração de categoria, selecionando o animal, a seleção da nova categoria e comentário.

O usuário poderá realizar a exclusão de animais do rebanho, através do cadastro da saída destes, sendo necessário o registro da saída do rebanho, com a seleção do animal, a data que ocorreu, o motivo do descarte como a sua natureza.

3.1.3 Classe manejo

Na classe manejo, estão contidos todos os registros que ocorrem de forma rotineira no rebanho, como eventos reprodutivos, produtivos, acompanhamento de crescimento.

O controle reprodutivo inicia-se através do registro de verificação de estros das fêmeas, sendo que, para o cadastro do estro, é necessário que se registre a data de ocorrência, motivo do cio, bem como se foi aproveitado ou não.

Para as coberturas, estas poderão ser por monta natural, inseminação artificial, ou por transferência de embrião. Para todos os eventos, será necessário realizar o registro da data da cobertura, o animal, reprodutor e comentário. No caso de inseminação artificial poderá ser acrescido do número de doses de sêmen utilizadas e o responsável. No caso da transferência de embrião acrescenta-se a informação da doadora, e remove-se as informações das doses de sêmen utilizadas.

Para o diagnóstico de prenhes, deve se registrar a data do diagnóstico, animal examinado, resultado. Para o controle reprodutivo, é registrada a data, animal, resultado, tratamento quando houver e comentário.

Os registros de parto serão realizados com a inserção da data, identificação do animal, a facilidade de parto, peso da matriz, sexo da (s) cria (s), se nasceram vivas ou não, identificação da (s) cria (s) e o respectivo peso, além do comentário. Cada cria poderá ter o registro de descarte ou não realizado. Por fim, para o registro de abortos nas atividades reprodutivas, realiza-se o registro da data, animal e o motivo do aborto.

Nas informações de produção, serão realizadas o registro do controle leiteiro, em que ocorre o armazenamento da data do controle leiteiro, o animal controlado, a produção diária, com possibilidade de inserção de até 3 ordenhas. O usuário poderá realizar o registro das análises laboratoriais, como teor de gordura, proteína e contagem de células somáticas. Ao término da lactação do animal, deverá ser realizado o registro de encerramento de produção, com a data do encerramento, animal e motivo.

No acompanhamento do desenvolvimento dos animais será realizado o registro da data da pesagem, o animal, seu peso e escore de condição corporal.

3.1.4 Classe alimentação

Na classe alimentação, serão armazenados os alimentos disponíveis na propriedade ou na região para aquisição. No registro dos alimentos, será registrado o nome do alimento e a sua categoria. Para cada alimento, será necessário registrar o seu respectivo preço.

É necessário o registro da composição bromatológica dos alimentos, sendo que, para cada alimento, é necessário registrar o teor de matéria seca, concentração de NDT, proteína bruta e minerais.

3.1.5 Classe nutrição

Nesta classe, será realizada uma conexão entre as classes alimentação e animal. Na nutrição, será realizado o registro dos valores mais recentes de cada informação necessária, como o animal, reprodução, produção, crescimento, além dos alimentos utilizados para a formulação de uma dieta para o animal ou lote.

3.2 IMPLEMENTAÇÃO DOS ALGORITMOS DE OTIMIZAÇÃO APLICADA À NUTRIÇÃO ANIMAL

Os algoritmos de otimização serão aplicados em dois grupos, sendo os de problemas lineares e não-lineares. Para os problemas de programação lineares, enquadram-se as exigências para as categorias de bezerras, vacas em lactação e vacas secas. Já as novilhas, pela conformação de suas restrições, necessitam aplicação do método de gradiente reduzido generalizado, por apresentar estrutura de problema não-linear. As exigências nutricionais dos animais, serão determinadas através das informações contidas em um banco de dados utilizado para a realização do controle zootécnico do rebanho leiteiro.

A seguir é apresentado o pseudocódigo para a minimização do custo das dietas fornecidas para rebanhos bovinos, através do emprego do algoritmo Simplex.

Algoritmo Menor preço

Variáveis

ali₁, ali₂, ali₃, ali₄, ali₅, ali₆, ali₇, ali₈: não negativo;

cms ← CMS

ndt \leftarrow NDT

pb \leftarrow PB

ca \leftarrow Ca

p \leftarrow P

enquanto optimal = false **fazer**

Início

z \leftarrow menor preço;

minimizar z;

ali₁, ali₂, ali₃, ali₄, ali₅, ali₆, ali₇, ali₈: não negativo;

se

ms.dieta \geq cms;

ndt.dieta \neq ndt;

pb.dieta \neq pb;

ca.dieta \neq ca;

p.dieta \neq p;

optimal = false;

enquanto optimal = false **fazer**

se

ms.dieta \leq cms;

ndt.dieta = ndt;

pb.dieta = pb;

ca.dieta = ca;

p.dieta = p;

optimal = true;

então PARAR (necessidades atendidas)

fimse

fimse

Fim

O método do gradiente reduzido generalizado, adotado para a minimização do custo da dieta de novilhas, é demonstrado pelo pseudocódigo descrito abaixo.

Algoritmo Preço Mínimo

Variáveis

ali₁, ali₂, ali₃, ali₄, ali₅, ali₆, ali₇, ali₈ \geq 0;

cms \leftarrow CMS

ndt \leftarrow NDT

pb \leftarrow PB

ca \leftarrow Ca

p \leftarrow P

enquanto optimal = false **fazer**

Início

z \leftarrow preço mínimo;

minimizar z;

ali₁, ali₂, ali₃, ali₄, ali₅, ali₆, ali₇, ali₈ \geq 0;

se

ms.dieta \geq cms;

ndt.dieta \neq ndt;

pb.dieta \neq pb;

ca.dieta \neq ca;

p.dieta \neq p;

optimal = false;

enquanto optimal = false **fazer**

se

ms.dieta \leq cms;

ndt.dieta = ndt;

pb.dieta = pb;

ca.dieta = ca;

p.dieta = p;

optimal = true;

então PARAR (necessidades atendidas)

fimse

fimse

Fim

3.3 PROJETO DE UM SOFTWARE DE CONTROLE ZOOTÉCNICO INTEGRADO COM A NUTRIÇÃO

Visando a elaboração de um *software* para a elaboração de dietas para rebanhos bovinos que atenda desde as categorias jovens até os animais adultos, que não

necessitassem da rotina de inserir todos dados dos animais, adotou-se o controle zootécnico integrado. Para isso, há a necessidade de projetar previamente o funcionamento do aplicativo. A seguir, encontra-se descrito uma prévia do funcionamento de um *software* que integre estas duas classes.

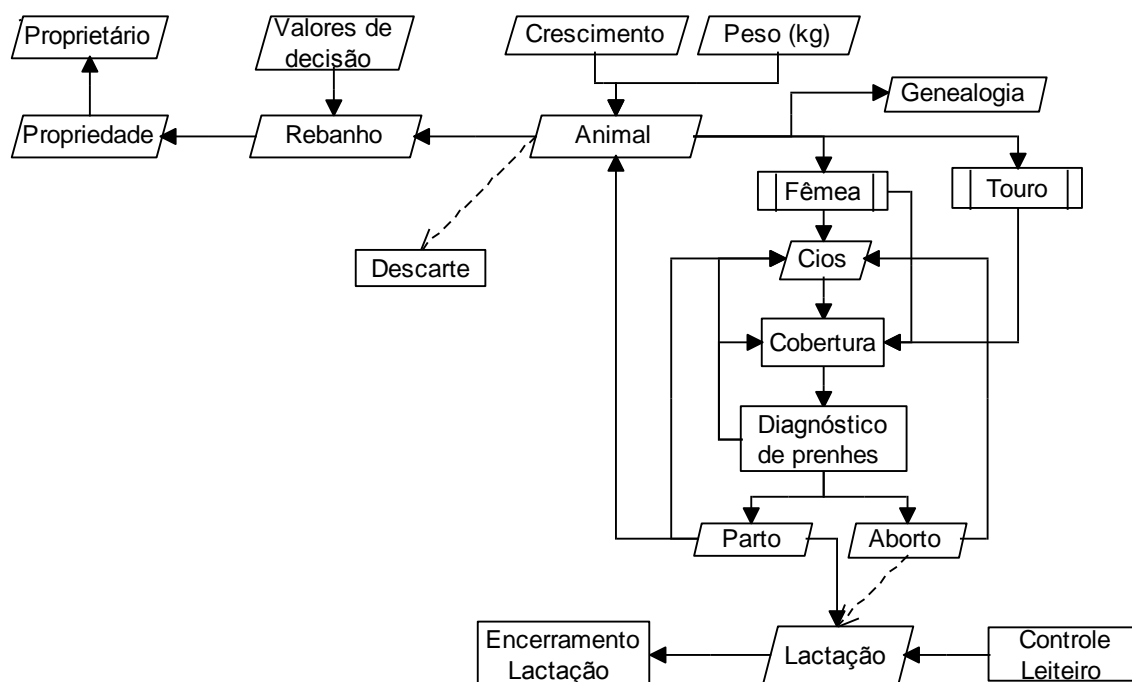
3.3.1 Controle zootécnico

No sistema de gerenciamento dos animais, os eventos terão um fluxo similar ao que ocorre em uma propriedade leiteira. Os registros dos animais terão uma ligação com uma propriedade cadastrada no sistema, que por sua vez terá de possuir um proprietário pré-determinado. Os eventos ligados aos animais poderão ser de três ordens, sendo o desenvolvimento animal, reprodutivo ou produtivo.

Para o acompanhamento do desenvolvimento animal, este será somente em dois eventos, que poderão ser registrados no *software*. O primeiro consiste em um acompanhamento no crescimento do animal, quanto à sua altura, se o usuário do sistema tiver interesse em realizar, estando à disposição para tal. O segundo evento, que será necessário também para o processo de elaboração das dietas, é o acompanhamento do peso do animal, o qual será registrado conforme o período entre eventos estipulado nos valores de decisão pelo usuário. No controle do peso do animal, também estará inserido a possibilidade de se acompanhar a condição corporal do animal, na escala empregada na pecuária leiteira, que varia de 1 a 5.

O acompanhamento reprodutivo, possuirá várias possibilidades do fluxo dos dados, conforme apresentado na imagem anterior. Quando o animal for uma fêmea, haverá a possibilidade de realizar o registro da verificação de estro, seguindo para o registro de uma cobertura. Caso o usuário opte em não registrar os estros, poderá cadastrar a cobertura do animal sem nenhum pré-requisito. Após o cadastro da cobertura, o sistema determinará uma data para a realização do diagnóstico de prenhes do animal, conforme estipulado nos valores de decisão.

Figura 3 – Diagrama das informações do controle zootécnico dos animais.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2016.

Em condições em que o evento do diagnóstico de prenhes for registrado como positivo, o fluxo das informações seguirá para a determinação da data provável do parto. O registro de um parto, automaticamente iniciará uma nova lactação para o animal. Porém, a prenhes, poderá resultar e um aborto, que conforme os valores de decisão adotados pelo usuário, poderão abrir uma nova lactação, ou retornar para uma nova verificação de cio e cobertura. No registro do parto, se a cria não for cadastrada no formulário em questão como descartada, será efetuado um registro prévio de novo animal, através do registro do sexo, raça e identificação da mãe e pai deste.

No bloco de informações de ordem produtiva, com a abertura de uma nova lactação, possibilitará o registro do controle leiteiro do animal, que consistirá no registro da produção de leite diária, com possibilidade do registro dos componentes do leite, sendo a gordura, proteína e CCS. Ao se aproximar de um novo parto, a lactação poderá ser encerrada para a abertura de um novo evento no próximo parto a ser registrado.

Os machos registrados no sistema, na funcionalidade reprodução, quando utilizados para a cobertura de uma fêmea, terão o registro efetuado para tal, podendo ser por monta natural ou inseminação artificial.

3.3.2 Nutrição

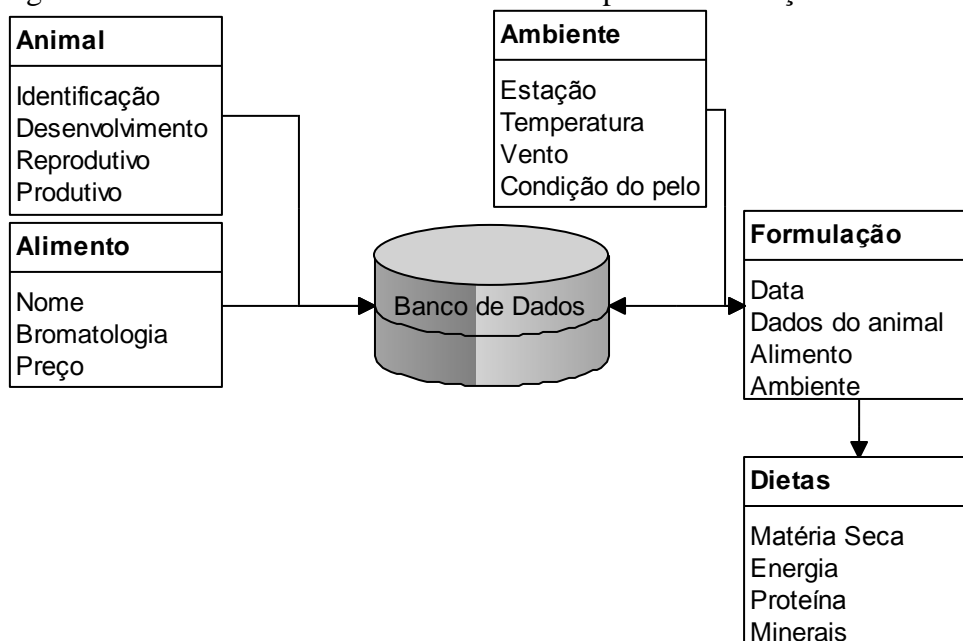
Ao iniciar formulação, o usuário será indagado sobre qual a categoria que deseja realizar a formulação da dieta. Ao selecionar a categoria desejada, poderá inserir as informações referentes ao ambiente, tais como a estação do ano, temperatura e previsão para os próximos dias, velocidade do vento, relevo, trajetos e distância percorrida por trajeto.

Após o preenchimento destas informações, será iniciada a janela de formulação das dietas, em que o usuário selecionará os animais a terem sua dieta formulada, bem como os alimentos que serão fornecidos a estes. Quando a categoria animal selecionada for bezerra, na janela conterà a opção de fornecimento de dieta líquida, que poderá ser de leite ou sucedâneo. Ao selecionar os animais, quando estes estiverem cadastrados no banco de dados, as informações necessárias serão preenchidas automaticamente, quando existirem nos registros. Casos em que o animal não esteja ainda cadastrado no sistema, o usuário necessitará realizar a inserção das informações manualmente, tais como identificação, idade, peso, ganho de peso, escore de condição corporal, informações reprodutivas e produtivas, sendo estas informações dependentes da categoria animal selecionada para a formulação da dieta.

Ao concluir esta etapa, o usuário poderá efetuar o comando para que o sistema realize a formulação da dieta para os animais, seguindo para uma próxima janela, em que conterão todas as informações pertinentes à dieta elaborada, tais como o consumo de matéria seca pelo animal, energia e proteína necessária e fornecida a ele, além da disponibilidade de minerais. Após as informações de exigências e oferecimento de nutrientes, será apresentada a quantidade de cada alimento da dieta e seus respectivos valores, em matéria natural, matéria seca, e contribuições no NDT, PB, Ca, P.

As formulações serão armazenadas no banco de dados, além da possibilidade de armazenar em formato digital como PDF. As dietas ainda poderão ser impressas, para o armazenamento em meio físico.

Figura 4 – Fluxo dos dados do banco de dados para a elaboração de dietas dos animais.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2016.

Quando a dieta for armazenada somente no banco de dados, os dados utilizados para a formulação da dieta serão armazenados no banco de dados, na tabela destinada a eles. No momento em que o usuário pretender consultar alguma dieta específica, basta selecionar a dieta desejada, que o sistema abrirá automaticamente a janela com o relatório da dieta em questão. Armazenando as formulações no banco de dados, possibilitará a reimpressão da dieta formulada, em casos de perda de relatórios em meio digital ou virtual. Assim, não haverá a necessidade de refazer todo o processo de formulação de dieta, economizando este tempo por parte do usuário.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na equação da determinação de consumo de matéria seca por novilhas com período de gestação inferior a 210 dias, os resultados obtidos foram negativos. Após avaliação da equação, obteve-se que o sinal de subtração anteriormente ao coeficiente *SubFact* estava causando o problema. Após a troca de sinal, os resultados obtidos foram de caráter positivo, assemelhando-se aos valores apresentados nas tabelas do NRC (2001). A equação a seguir apresenta a alteração realizada, que resultou em valores semelhantes aos descritos nas tabelas do NRC (2001).

Equação 1 – Consumo de matéria seca por novilhas (*DMI_RH*, kg/dia) após correção.

$$DMI_RH = ((BW^{0,75}) \times (((0,2435 \times NEDietConc) - (0,0466 \times (NEDietConc^2)) + SubFact) / DivFact)) \times TempFact \times CCFact$$

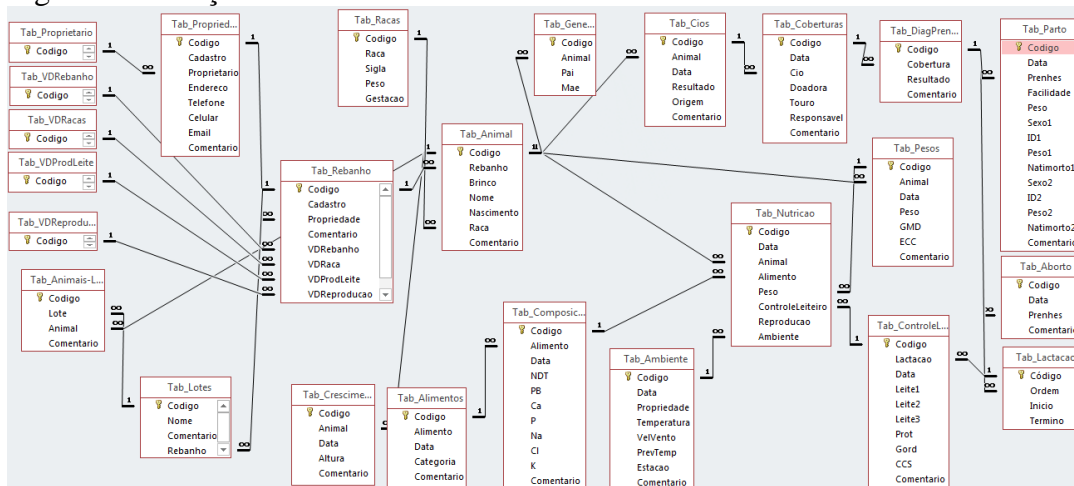
4.1 BANCO DE DADOS

O banco de dados, foi elaborado com base no modelo relacional, ao qual é baseado o Access (GOLDSCHMIDT e SARRIÉS, s.d.), contando com tabelas, as quais recebem informações referentes a um determinado assunto. Para a elaboração do banco de dados, foi visado seguir a lógica dos eventos, apresentada na seção do projeto de um *software* de controle zootécnico integrado com a nutrição animal (Figura 3).

O banco de dados, foi elaborado no intuito de armazenar dados de identificação de proprietário e propriedade, como dos animais do rebanho. Conta com o armazenamento de eventos de desenvolvimento dos animais, reprodução e produção. Além das informações pertinentes aos animais, permite o armazenamento de alimentos, suas composições bromatológicas e preços praticados no comércio local. Por fim, após o processo de formulação das dietas, é realizado o armazenamento das informações das dietas, como as condições ambientais, animais que receberam a formulação e informações pertinentes ao momento, alimentos empregados, para que ao passar do tempo, se possa reavaliar a dieta elaborada, sem a necessidade da busca dos arquivos da dieta formulada.

A seguir são apresentadas as relações existentes entre as entidades (Figura 5), com os atributos que foram utilizados para a realização das ligações entre elas. Pode-se verificar, que a maioria das informações, são diretamente dependentes do cadastro de animais.

Figura 5 – Relações entre entidades do banco de dados.



FONTE: Elaborado pelo autor, 2016.

4.2 COMPARAÇÃO COM DADOS EXISTENTES

Para a verificação e análise do emprego das equações, foram realizadas simulações, para comparar os valores obtidos, com os apresentados pelo NRC (2001). Para a verificação das equações, os fatores inerentes ao ambiente foram mantidos em condições normais, quando o animal não apresenta nenhum estresse. Os dados bromatológicos dos alimentos adotados para a formulação, foram obtidos da plataforma CQBAL 3.0 (<http://cqbal.agropecuaria.ws/>).

Na análise dos resultados obtidos para bezerras, nas diversas fases (aleitamento, aleitamento associado ao concentrado e somente concentrado) os valores obtidos foram os mesmos apresentados pelo NRC (2001). Para fins de comparação (Tabela 2), tomou-se por base animal com 30 kg de peso corporal, com ganho diário de 200g, em que nas duas situações, a energia líquida total, é de 1,22 Mcal/dia, sendo obtida através da soma da energia líquida de manutenção e de crescimento. A proteína bruta para este animal é de 70 g por dia.

Tabela 2 – Necessidades nutricionais para bezerras em aleitamento.

PC (kg)	GMD (kg/d)	CMS (kg/d)	EL (Mcal/d)	PAD (g/d)	PB (g/d)	PB (%)
25	0,0	0,24	0,96	18	20	8,3
	0,2	0,32	1,22	65	70	22,2
	0,4	0,42	1,57	112	121	28,8
30	0,0	0,27	1,10	21	22	8,3
	0,2	0,36	1,38	68	73	20,5
	0,4	0,47	1,75	115	124	26,5
40	0,0	0,33	1,37	26	28	8,3
	0,2	0,43	1,68	73	78	18,3
	0,4	0,55	2,08	120	129	23,4
	0,6	0,69	2,53	168	180	26,1
45	0,0	0,37	1,49	28	30	8,3
	0,2	0,46	1,82	75	81	17,4
	0,4	0,59	2,24	123	132	22,2
	0,6	0,74	2,71	170	183	24,8
50	0,0	0,40	1,62	31	33	8,3
	0,2	0,50	1,95	78	84	16,8
	0,4	0,63	2,39	125	134	21,3
	0,6	0,78	2,88	172	185	23,8

FONTE: Elaborado pelo autor, 2016.

Conferindo os valores obtidos para as bezerras que se encontram em dieta mista, baseada em 60% de leite ou sucedâneo e 40% concentrado, os valores obtidos são iguais aos apresentados no NRC (2001). Para isto, podemos comparar um animal com 40 kg de peso corporal e 600 g de ganho médio diário, em que a necessidade de energia é de 2,53 Mcal/dia, enquanto que a proteína bruta é de 205 g/dia e consumo de matéria seca de 0,83 kg/dia.

Tabela 3 – Necessidades nutricionais de bezerras com dieta líquida e sólida.

PC (kg)	GMD (kg/d)	CMS (kg/d)	EL (Mcal/d)	PAD (g/d)	PB (g/d)	PB (%)
30	0,0	0,32	1,10	22	26	8,1
	0,2	0,42	1,38	72	83	19,6
	0,4	0,56	1,75	122	141	25,2
35	0,0	0,36	1,24	25	29	8,1
	0,2	0,47	1,53	75	87	18,4
	0,4	0,61	1,92	125	144	23,6
40	0,0	0,40	1,37	28	32	8,1
	0,2	0,51	1,68	78	90	17,5
	0,4	0,66	2,08	127	147	22,2
	0,6	0,83	2,53	177	205	24,8
45	0,0	0,44	1,49	30	35	8,1
	0,2	0,56	1,82	80	93	16,7
	0,4	0,71	2,24	130	150	21,2
	0,6	0,88	2,71	180	208	23,6
50	0,0	0,47	1,62	33	38	8,1
	0,2	0,60	1,95	83	96	16,1
	0,4	0,76	2,39	133	153	20,3
	0,6	0,94	2,88	182	211	22,6
	0,8	1,13	3,40	232	269	23,9
55	0,0	0,51	1,74	35	41	8,1
	0,2	0,63	2,09	85	98	15,5
	0,4	0,80	2,54	135	156	19,5
	0,6	0,99	3,04	185	214	21,7
	0,8	1,18	3,58	235	272	23,0
60	0,0	0,54	1,85	38	44	8,1
	0,2	0,67	2,21	88	101	15,1
	0,4	0,84	2,68	137	159	18,8
	0,6	1,04	3,20	187	217	20,9
	0,8	1,24	3,75	237	275	22,2

FONTE: Elaborado pelo autor, 2016.

Para os animais em recria (Tabela 5 e Tabela 6), que não se encontram em dietas da fase inicial, a determinação das exigências nutricionais não apresentou valores iguais aos demonstrados pelo NRC (2001), sendo que os animais apresentaram idade equivalente a 363 dias ou mais, as exigências de DMI, TDN e CP, não foram semelhantes. Quando as simulações corresponderam a animais com idade igual ou superior a 363 dias, as exigências de consumo, energia e proteína ainda não foram iguais às apresentadas pelo NRC (2001), porém se aproximaram. Para isto, compara-se um exemplo da simulação com o apresentado pelo NRC (2001). Um animal de 200 kg de peso corporal e ganho médio diário de 500 g, na simulação, apresentou consumo estimado em 5,1 kg de matéria seca, exigência de 60,7% de NDT e 12% de PB,

enquanto que o mesmo animal no NRC apresenta exigências de 5,1 kg de consumo de matéria seca, 60,7% de NDT e 11,8% de PB.

Tabela 4 – Necessidades nutricionais de bezerras em dieta sólida

PC (kg)	GMD (kg/d)	CMS (kg/d)	EL (Mcal/d)	PAD (g/d)	PB (g/d)	PB (%)
50	0,0	0,70	1,62	40	53	7,6
	0,4	1,13	2,39	151	201	17,7
	0,5	1,27	2,63	179	238	18,8
	0,6	1,41	2,88	207	276	19,6
	0,0	0,80	1,85	46	61	7,6
60	0,4	1,26	2,68	157	209	16,5
	0,5	1,41	2,93	185	246	17,5
	0,6	1,56	3,20	213	284	18,2
	0,7	1,71	3,47	241	322	18,8
	0,8	1,87	3,75	269	359	19,2
70	0,0	0,90	2,08	51	68	7,6
	0,4	1,39	2,95	163	217	15,6
	0,5	1,54	3,22	191	254	16,5
	0,6	1,70	3,50	219	292	17,2
	0,7	1,86	3,79	247	330	17,7
80	0,8	2,03	4,09	275	367	18,1
	0,0	0,99	2,30	57	75	7,6
	0,4	1,51	3,21	168	224	14,9
	0,5	1,67	3,50	196	262	15,7
	0,6	1,83	3,79	225	300	16,4
90	0,7	2,00	4,09	253	337	16,8
	0,8	2,18	4,40	281	375	17,2
	0,0	1,16	2,51	62	83	7,2
	0,6	2,09	4,06	231	309	14,7
	0,7	2,28	4,38	260	346	15,2
100	0,8	2,48	4,70	288	385	15,5
	0,9	2,68	5,04	317	423	15,8
	0,0	1,25	2,72	68	90	7,2
	0,6	2,22	4,33	237	316	14,2
	0,7	2,42	4,66	265	354	14,6
	0,8	2,63	4,99	294	392	14,9
	0,9	2,84	5,34	323	430	15,2

Fonte: Elaborado pelo autor, 2016.

Tabela 5 – Necessidades nutricionais de novilhas de raças pequenas (450 kg/PC) não cobertas alimentadas com dieta de 69,96% NDT².

PC (kg)	GMD (kg/d)	CMS (kg/d)	NDT (kg/d)	NDT (%)	EL (Mcal/d)	PDR (g/d)	PNDR (g/d)	PB (%)	
100	0,3	3,9	1,69	43,12	3,67	225	185	10,5	
	0,4	3,9	1,76	45,01	3,85	235	213	11,4	
	0,5	3,9	1,84	46,95	4,04	245	241	12,4	
	0,6	3,9	1,92	48,93	4,23	255	269	13,4	
	0,7	3,9	2,00	50,94	4,42	266	296	14,3	
	0,8	3,9	2,08	52,98	4,62	276	323	15,3	
	150	0,3	5,3	2,30	43,23	4,99	306	205	9,6
		0,4	5,3	2,40	45,12	5,23	319	230	10,3
0,5		5,3	2,50	47,06	5,49	333	255	11,1	
0,6		5,3	2,60	49,04	5,74	347	280	11,8	
0,7		5,3	2,71	51,05	6,00	361	304	12,5	
0,8		5,3	2,82	53,08	6,27	376	328	13,2	
200	0,3	5,1	2,87	55,78	6,41	382	153	10,4	
	0,4	5,1	2,99	58,21	6,71	399	176	11,2	
	0,5	5,1	3,12	60,70	7,03	416	199	12,0	
	0,6	5,1	3,25	63,23	7,35	433	220	12,7	
	0,7	5,1	3,38	65,81	7,67	451	242	13,5	
	0,8	5,1	3,52	68,42	8,00	468	263	14,2	
250	0,3	6,1	3,53	58,10	7,29	470	148	10,2	
	0,4	6,1	3,68	60,53	8,28	490	169	10,8	
	0,5	6,1	3,83	63,01	8,65	510	189	11,5	
	0,6	6,1	3,98	65,55	9,03	531	209	12,2	
	0,7	6,1	4,14	68,13	9,41	551	227	12,8	
	0,8	6,1	4,30	70,74	9,80	573	245	13,5	
300	0,3	7,0	4,02	57,75	9,02	536	155	9,9	
	0,4	7,0	4,19	60,17	9,43	558	174	10,5	
	0,5	7,0	4,37	62,66	9,86	581	192	11,1	
	0,6	7,0	4,54	65,19	10,29	605	210	11,7	
	0,7	7,0	4,72	67,77	10,73	629	226	12,3	
	0,8	7,0	4,90	70,38	11,18	653	242	12,8	

Fonte: Elaborado pelo autor, 2016.

² A dieta usada para esta tabela consiste de 34% de silagem de milho, 27% de quirera de milho, 13% de farelo de soja 48% PB e 26% de feno de Tifton 85.

Tabela 6 – Necessidades nutricionais de novilhas de raças grandes (650 kg/PC) não cobertas alimentadas com dieta de 69,96% NDT³.

PC (kg)	GMD (kg/d)	CMS (kg/d)	NDT (kg/d)	NDT (%)	EL (Mcal/d)	PDR (g/d)	PNDR (g/d)	PB (%)
150	0,5	5,3	2,30	43,34	5,00	307	275	10,9
	0,6	5,3	2,38	44,84	5,20	317	302	11,7
	0,7	5,3	2,46	46,37	5,40	328	329	12,4
	0,8	5,3	2,54	47,91	5,60	339	356	13,1
	0,9	5,3	2,63	49,48	5,80	350	383	13,8
	1,0	5,3	2,71	51,06	6,01	361	409	14,5
	1,1	5,3	2,80	52,66	6,21	373	435	15,2
200	0,5	6,6	3,03	46,03	6,64	404	275	10,3
	0,6	6,6	3,13	47,53	6,88	417	300	10,9
	0,7	6,6	3,23	49,06	7,13	431	325	11,5
	0,8	6,6	3,33	50,60	7,38	350	350	12,0
	0,9	6,6	3,44	52,17	7,63	458	374	12,6
	1,0	6,6	3,54	53,75	7,89	472	398	13,2
	1,1	6,6	3,65	55,35	8,15	486	422	13,8
250	0,5	7,8	3,59	46,05	7,86	478	288	9,8
	0,6	7,8	3,70	47,55	8,14	493	311	10,3
	0,7	7,8	3,82	49,08	8,43	509	334	10,8
	0,8	7,8	3,92	50,63	8,73	525	356	11,3
	0,9	7,8	4,07	52,19	9,03	542	378	11,8
	1,0	7,8	4,19	53,78	9,33	558	400	12,3
	1,1	7,8	4,31	55,37	9,63	575	421	12,8
300	0,5	7,0	4,05	58,18	9,09	540	216	10,8
	0,6	7,0	4,19	60,10	9,42	558	237	11,4
	0,7	7,0	4,32	62,06	9,76	576	258	12,0
	0,8	7,0	4,46	64,04	10,09	594	279	12,5
	0,9	7,0	4,60	66,05	10,44	613	299	13,1
	1,0	7,0	4,74	68,08	10,78	632	318	13,6
	1,1	7,0	4,89	70,12	11,13	651	337	14,2
350	0,5	7,8	4,57	58,48	10,27	609	213	10,5
	0,6	7,8	4,72	60,41	10,64	629	233	11,0
	0,7	7,8	4,88	62,36	11,01	650	352	11,5
	0,8	7,8	5,03	64,34	11,39	670	270	12,0
	0,9	7,8	5,19	66,35	11,77	691	288	12,5
	1,0	7,8	5,35	68,38	12,16	712	306	13,0
	1,1	7,8	5,51	70,43	12,56	734	323	13,5
400	0,5	8,6	5,08	58,82	11,42	677	211	10,3
	0,6	8,6	5,25	60,74	11,83	699	229	10,7
	0,7	8,6	5,42	62,70	12,24	722	247	11,2
	0,8	8,6	5,59	64,68	12,66	745	264	11,7
	0,9	8,6	5,76	66,69	13,09	768	280	12,1
	1,0	8,6	5,94	68,72	13,52	791	295	12,6
	1,1	8,6	6,12	70,77	13,95	815	311	13,0

FONTE: Elaborado pelo autor, 2016.

³ A dieta usada para esta tabela consiste de 34% de silagem de milho, 27% de quirera de milho, 13% de farelo de soja 48% PB e 26% de feno de Tifton 85.

As exigências nutricionais de vacas em início de lactação, de raças grandes, foram similares às apresentadas no NRC (2001). Um animal de 680 kg de peso corporal, com 11 dias de lactação, com 20 kg de leite por dia, com gordura de 3,0 e proteína de 2,5, apresentou necessidade energética de 23,82 Mcal por dia, enquanto o valor apresentado pelos autores foi de 23,0 e o consumo de matéria seca estimado foi de 12,6 kg/d e 12,0 kg/d, respectivamente. As necessidades de proteína bruta também foram similares, sendo de 15,1 e 15,5%, respectivamente, para a simulação e o apresentado pelos autores.

Tabela 7 – Necessidade nutricionais para vacas de raças pequenas (454 kg) em início de lactação (28 dias de lactação).

Leite (kg)	Gordura (%)	Proteína (%)	CMS (kg/d)	NDT (kg/d)	EL (Mcal/d)	PDR (g/d)	PNDR (g/d)	PB (%)
15	3,5	3,0	9,5	8,15	18,82	1085	611	17,7
15	3,5	3,5	9,5	8,33	19,26	1109	733	19,3
15	3,5	4,0	9,5	8,51	19,70	1133	856	20,8
15	4,0	3,0	9,8	8,45	19,51	1125	582	17,4
15	4,0	3,5	9,8	8,63	19,96	1149	705	18,9
15	4,0	4,0	9,8	8,81	20,40	1173	827	20,4
30	3,5	3,0	13,0	12,56	29,22	1673	1026	20,8
30	3,5	3,5	13,0	12,92	30,10	1721	1272	23,1
30	3,5	4,0	13,0	13,28	30,99	1769	1517	25,3
30	4,0	3,0	13,5	13,16	30,61	1753	969	20,1
30	4,0	3,5	13,5	13,52	31,50	1801	1215	22,3
30	4,0	4,0	13,5	13,88	32,38	1849	1460	24,5

FONTE: Elaborado pelo autor, 2016.

Tabela 8 – Necessidades nutricionais para vacas de raças pequenas (454 kg) aos 90 dias de lactação.

Leite (kg)	Gordura (%)	Proteína (%)	CMS (kg/d)	NDT (kg/d)	EL (Mcal/d)	PDR (g/d)	PNDR (g/d)	PB (%)
20	4,0	3,0	16,0	10,26	23,21	1366	688	12,8
20	4,0	3,5	16,0	10,50	23,80	1398	851	14,1
20	4,0	4,0	16,0	10,74	24,39	1430	1015	15,3
20	4,5	3,0	16,5	10,66	24,14	1420	649	12,5
20	4,5	3,5	16,5	10,90	24,73	1452	813	13,7
20	4,5	4,0	16,5	11,14	25,32	1484	976	14,9
20	5,0	3,0	17,1	11,07	25,07	1474	610	12,2
20	5,0	3,5	17,1	11,31	25,66	1506	774	13,4
20	5,0	4,0	17,1	11,55	26,25	1538	937	14,5
30	4,0	3,0	19,6	13,45	30,61	1792	941	14,0
30	4,0	3,5	19,6	13,81	31,50	1840	1186	15,5
30	4,0	4,0	19,6	14,17	32,38	1888	1431	17,0
30	4,5	3,0	20,4	14,06	32,01	1873	883	13,5
30	4,5	3,5	20,4	14,42	32,89	1921	1128	15,0
30	4,5	4,0	20,4	14,78	33,77	1969	1373	16,4
30	5,0	3,0	21,2	14,67	33,40	1954	824	13,1
30	5,0	3,5	21,2	15,03	34,28	2002	1069	14,5
30	5,0	4,0	21,2	15,39	35,17	2050	1315	15,9

FONTE: Elaborado pelo autor, 2016.

Para vacas em período seco, os valores obtidos para a exigência de um animal de 680 kg e 240 dias de gestação foram de 13,4 kg/d de DMI, 14,05 Mcal/d de energia líquida e 8,0% de PB, resultados similares aos descritos pelo NRC (2001), onde as exigências foram de 14,4 kg/d de DMI, 14,0 Mcal/d de energia e 9,9% de CP.

Tabela 9 – Necessidades nutricionais de vacas secas de raças grandes (680 kg) aos 240, 270 e 279 dias de gestação.

Dias	CMS (kg/d)	NDT (kg/d)	EL (Mcal/d)	PDR (g/d)	PNDR (kg/d)	PB (%)
240	13,4	6,39	14,05	851	216	8,0
270	12,4	6,42	14,23	855	286	9,2
279	9,1	6,28	14,29	836	321	12,8

FONTE: Elaborado pelo autor, 2016.

Tabela 10 – Necessidades nutricionais de vacas secas de raças pequenas (454 kg) aos 240, 270 e 279 dias de gestação.

Dias	CMS (kg/d)	NDT (kg/d)	EL (Mcal/d)	PDR (g/d)	PNDR (kg/d)	PB (%)
240	8,9	4,55	10,08	606	248	9,6
270	8,3	4,56	10,19	608	295	10,3
279	6,0	4,47	10,22	595	318	15,1

FONTE: Elaborado pelo autor, 2016.

4.3 SOLUÇÕES NUTRICIONAIS ÓTIMAS

A Tabela 11 demonstra a simulação da formulação de uma dieta para um animal de 50 kg de peso corporal, com ganho médio diário de 400 gramas, com a formulação de uma dieta a base de milho e farelo de soja. Neste caso, o animal foi alimentado somente com leite de vaca, sendo atendida a sua demanda de nutrientes com um custo total de R\$ 7,56. No caso dos animais alimentados com uma dieta a base de um único alimento, o custo não possui variação, como é o caso de bezerras aleitadas.

Quando a dieta possui mais de um alimento, como é apresentado na Tabela 12, já é possível buscar uma dieta com um custo mínimo, através do barateamento no fornecimento de suplementos concentrados, como milho e farelos. Neste caso, podemos perceber que o volume de leite fornecido é de 2 kg, que foi determinado como o limite mínimo do alimento. Através desta premissa, o sistema buscou uma combinação de alimentos que atendessem a demanda nutricional do animal, cumprindo com o quesito de preço mínimo para a dieta formulada, que foi possível através do fornecimento dos alimentos concentrados, como é demonstrado nos dois exemplos expostos na tabela.

Tabela 11 – Simulações para bezerras que são alimentadas somente com leite.

Alimento	Qtde		CMS			NDT		PB		FDN (%)	R\$ Total	R\$/kg (MS)
	MN (kg)	MS (kg)	EST (kg)	OF (kg)	%	EST (kg)	OF (kg)	EST (kg)	OF (kg)			
						25 kg/PC e 0,200 kg/GMD						
Leite de vaca	2,51	0,32	0,32	0,25	1,26	0,52	0,41	0,07	0,09	0,00	3,76	11,90
						50 kg/PC e 0,400 kg/GMD						
Leite de vaca	5,02	0,63	0,63	0,63	1,26	1,01	0,81	0,13	0,18	0,00	7,52	11,90

FONTE: Elaborado pelo autor, 2016.

Tabela 12 – Simulações para bezerras que consomem dietas a base de leite e concentrado inicial.

Alimento	Qtde		CMS			NDT		PB		FDN (%)	R\$ Total	R\$/kg (MS)
	MN (kg)	MS (kg)	EST (kg)	OF (kg)	%	EST (kg)	OF (kg)	EST (kg)	OF (kg)			
						35 kg/PC e 0,200 kg/GMD						
Leite de vaca	2,00	0,25										
Milho, quirera	0,25	0,22										
Trigo, farelo	0,00	0,00	0,47	0,47	1,34	0,65	0,51	0,09	0,09	9,16	3,25	6,91
Soja, farelo 48%	0,00	0,00										
						55 kg/PC e 0,600 kg/GMD						
Leite de vaca	2,00	0,25										
Milho, quirera	0,61	0,54										
Trigo, farelo	0,00	0,00	0,99	0,99	1,79	1,29	0,93	0,21	0,21	13,80	3,88	3,94
Soja, farelo 48%	0,22	0,20										

FONTE: Elaborado pelo autor, 2016.

Tabela 13 – Simulações para bezerras com dietas sólidas.

Alimento	Qtde		CMS		%	NDT		PB		FDN (%)	R\$ Total	R\$/kg (MS)
	MN (kg)	MS (kg)	EST (kg)	OF (kg)		EST (kg)	OF (kg)	EST (kg)	OF (kg)			
50 kg/PC e 0,600 kg/GMD												
Milho, quirera	1,17	1,03										
Trigo, farelo	0,00	0,00	1,41	1,41	2,82	1,24	1,16	0,28	0,28	18,55	1,69	1,20
Soja, farelo 48%	0,42	0,37										
100 kg/PC e 0,600 kg/GMD												
Milho, quirera	2,18	1,93										
Trigo, farelo	0,00	0,00	2,22	2,22	2,22	1,88	1,84	0,32	0,32	19,15	2,59	1,16
Soja, farelo 48%	0,33	0,29										

FONTE: Elaborado pelo autor, 2016.

Na Tabela 14 podemos verificar formulações realizadas pelo método aplicado, em que contemos 2 possibilidades de animais em início de lactação. A primeira simulação, de um animal de raça pequena, com peso de 454 kg, produção média de 25 kg/dia, com teor de 3,5% para gordura e 3,0% para proteína. Foram fixados limites para a formulação da dieta, em que a silagem de milho poderia possuir um fornecimento mínimo de 10 kg e máximo de 25 kg de matéria natural. As pastagens de aveia consorciada com azevém e azevém solteiro foram fixadas com volume máximo de 20 kg de matéria natural, visando simular a disponibilidade do alimento por animal em um piquete. A partir destas limitações, o sistema encontrou uma formulação, a qual atendia as necessidades de proteína, cálcio e fósforo, porém ficando limitado no fornecimento de energia. O custo desta dieta foi de R\$ 0,82 por kg de matéria seca, com um custo total de R\$ 9,65.

No período de transição após o parto, as necessidades energéticas praticamente dobram, em relação ao período anterior ao parto, porém um baixo consumo de matéria seca (RABELO e CAMPOS, 2009). No início da lactação as vacas mobilizam suas reservas energéticas para atenderem a demanda (SILVA et al., 2001). Porém, a maximização do fornecimento de energia no início da lactação é essencial, visando a redução na mobilização de reservas corporais, que podem trazer prejuízos a saúde do animal, como influenciar no pico de lactação e persistência da lactação (EIFERT et al., 2005).

Para as vacas em terço médio da lactação, aos 91 dias (Tabela 15), o caso de uma vaca de raça grande, com produção de 35 kg de leite, com 3,0% de gordura e 2,5% de proteínas as exigências puderam ser atingidas, sem o fornecimento da capacidade total de ingestão de alimentos dos animais para atender as demandas nutricionais.

Para a formulação das dietas, foram fixados os valores de alguns alimentos, como a silagem de milho entre 10 e 25 kg de matéria natural, e das pastagens de azevém e aveia consorciada com azevém com valores máximos de 20 kg de matéria natural. Nesse exemplo, a dieta possui um valor de 42,21% de FND. O custo total desta dieta foi de R\$ 12,60, com um custo por kg de MS de R\$ 0,60.

Para as vacas em período seco (Tabela 16), todas as necessidades nutricionais foram atendidas sem a necessidade de fornecer o total de matéria seca estimada pelas equações. Para a dieta nesta categoria animal, foram utilizados para a formulação da dieta os fenos de azevém e feno, além da silagem de milho. O feno de Tifton 85 foi fixado no valor mínimo de 4 kg de matéria seca, enquanto que a silagem de milho foi

fixada em no máximo 15 kg de matéria natural. Para alimentos concentrados, foram fornecidos os farelos de soja e trigo, além da quirera de milho.

No caso da vaca com peso de 454 kg de peso corporal, com ganho de peso de 100 gramas por dia, e 240 dias de gestação, as demandas nutricionais atendidas, com um custo de R\$ 2,38 e R\$ 0,31 por kg de matéria seca. Neste período, o animal demanda somente de nutrientes para atender as exigências de manutenção, gestação e crescimento, quando esta existir.

LANNA et al (1999) já haviam adotado modelos de otimização para a formulação de dietas para bovinos de corte, onde utilizaram metodologias de maximização de lucros e de minimização de custos, apontados por Hertzler et al (1988, apud LANNA et al, 1999). A otimização na formulação de dietas, foi empregada também para vacas leiteiras através do método não-linear por Kölln et al (2012). A otimização foi aplicada para animais em período seco (BATISTUS et al, 2015).

O emprego dos métodos de otimização na formulação de dietas, mostrou-se viável, podendo ser empregado na rotina, além de proporcionar dietas com custos inferiores às elaboradas por especialistas na área de nutrição animal (KÖLLN et al, 2012; BATISTUS et al, 2015).

Tabela 14 – Simulações para vacas em início de lactação (14 dias).

Alimento	Qtde		CMS		%	NDT		PB		FDN (%)	Ca		P		R\$ Total	R\$/kg (MS)
	MN (kg)	MS (kg)	EST (kg)	OF (kg)		EST (kg)	OF (kg)	EST (kg)	OF (kg)		EST (g)	OF (g)	EST (g)	OF (g)		
454 kg/PC, 25 kg/d, 3,5% gord, 3,0% prot																
Milho, silagem	10,00	2,94														
Aveia+Azevém (61-90 dias)	18,35	3,46														
Azevém	0,00	0,00	11,83	11,83	2,61	11,09	8,71	2,48	2,48	32,83	48,69	48,69	35,24	35,24	9,65	0,82
Milho, quirera	2,95	2,62														
Trigo, farelo	0,00	0,00														
Soja, farelo 48%	3,00	2,66														
Mineral	0,150	0,150														
680 kg/PC, 35 kg/d, 3,0% gord, 2,5% prot																
Milho, silagem	10,00	2,94														
Aveia+Azevém (61-90 dias)	20,00	3,77														
Azevém	3,38	0,66	15,70	15,70	2,31	14,27	11,71	3,04	3,04	31,20	69,57	69,57	48,56	48,56	13,48	0,86
Milho, quirera	5,81	5,16														
Trigo, farelo	0,00	0,00														
Soja, farelo 48%	3,33	2,95														
Mineral	0,223	0,223														

FONTE: Elaborado pelo autor, 2016.

Tabela 15 – Simulações para vacas no terço médio da lactação (91 dias).

Alimento	Qtde		CMS		%	NDT		PB		FDN (%)	Ca		P		R\$ Total	R\$/kg (MS)
	MN (kg)	MS (kg)	EST (kg)	OF (kg)		EST (kg)	OF (kg)	EST (kg)	OF (kg)		EST (g)	OF (g)	EST (g)	OF (g)		
454 kg/PC, 25 kg/d, 3,5% gord, 3,0% prot																
Milho, silagem	25,00	7,36														
Aveia+Azevém (61-90 dias)	20,00	3,77														
Azevém	20,00	3,89	17,10	16,85	3,71	11,35	11,35	2,73	2,73	48,14	48,69	48,69	40,26	40,26	7,77	0,46
Milho, quirera	0,00	0,00														
Trigo, farelo	0,83	0,73														
Soja, farelo 48%	1,23	1,09														
Mineral	0,020	0,020														
680 kg/PC, 35 kg/d, 3,0% gord, 2,5% prot																
Milho, silagem	25,00	7,36														
Aveia+Azevém (61-90 dias)	20,00	3,77														
Azevém	20,00	3,89	22,70	20,85	3,07	14,62	14,62	3,29	3,29	42,21	69,57	69,57	53,71	53,71	12,60	0,60
Milho, quirera	4,02	3,57														
Trigo, farelo	0,54	0,48														
Soja, farelo 48%	1,90	1,68														
Mineral	0,104	0,104														

FONTE: Elaborado pelo autor, 2016.

Tabela 16 – Simulações para vacas em período seco.

Alimento	Qtde		CMS			NDT		PB		FDN (%)	R\$ Total	R\$/kg (MS)
	MN (kg)	MS (kg)	EST (kg)	OF (kg)	%	EST (kg)	OF (kg)	EST (kg)	OF (kg)			
454 kg/PC; 0,100 kg/GMD; 240 dias de gestação												
Tifton 85 (46-60 dias), feno	4,00	3,36										
Milho, silagem	13,07	3,85										
Azevém, feno	0,00	0,00	8,94	7,71	1,70	4,73	4,73	0,92	0,92	64,68	2,38	0,31
Milho, quirera	0,00	0,00										
Soja, farelo 48%	0,57	0,50										
Trigo, farelo	0,00	0,00										
680 kg/PC; 0,200 kg/GMD; 250 dias de gestação												
Tifton 85 (46-60 dias), feno	4,00	3,36										
Milho, silagem	15,00	4,41										
Azevém, feno	0,00	0,00	13,35	10,71	1,58	6,78	6,78	1,21	1,21	60,37	5,36	0,50
Milho, quirera	0,15	0,13										
Soja, farelo 48%	0,00	0,00										
Trigo, farelo	3,20	2,81										
680 kg/PC; 0,100 kg/GMD; 270 dias de gestação												
Tifton 85 (46-60 dias), feno	4,00	3,36										
Milho, silagem	15,00	4,41										
Azevém, feno	0,00	0,00	12,37	10,44	1,54	6,59	6,59	1,20	1,20	60,87	5,07	0,49
Milho, quirera	0,00	0,00										
Soja, farelo 48%	0,10	0,09										
Trigo, farelo	2,94	2,58										

FONTE: Elaborado pelo autor, 2016.

5 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

O emprego dos métodos algébricos de otimização possibilitou a formulação de dietas que atendem total ou parcialmente as demandas nutricionais, visando a minimização do custo das dietas. Com a utilização destes métodos, é possível tornar a atividade leiteira dentro da propriedade mais competitiva, favorecendo a permanência do agricultor na atividade e no campo.

Com o sistema de banco de dados dos animais, que poderá ser associado a um sistema informatizado de nutrição, o usuário poderá agilizar as suas tarefas, pela não necessidade de realizar a inserção das informações de animal por animal no ato da formulação da dieta, bastando somente selecionar os animais que terão as suas dietas elaboradas.

Através do emprego das equações de exigências nutricionais para bovinos, é possível tornar a atividade mais rentável economicamente, como também sustentável econômica e ambientalmente, através da redução dos nutrientes perdidos nos dejetos dos animais. Com o conhecimento destas informações e aperfeiçoamento das equações, poderá ser realizado um trabalho, que vise tornar a propriedade autossustentável para a produção de alimentos e animal, com a utilização do conhecimento das exigências nutricionais e rendimento de cada alimento que é produzido no empreendimento rural.

A partir das informações e conhecimento obtidos no presente trabalho, pretende-se elaborar um sistema de gestão de propriedades leiteiras, desde a produção dos alimentos para os animais até a obtenção de indicadores econômicos da atividade exercida.

REFERENCIAS

- ALMEIDA JÚNIOR, G. A. de et al. Desempenho de bezerros holandeses alimentados até o desaleitamento com silagem de grãos úmidos ou grãos secos de milho ou sorgo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, [s.l.], v. 37, n. 1, p. 140-147, 2008.
- BATISTUS, D. R. et al. Formulação de dieta de mínimo custo para a bovinocultura de leite: animais nos dois últimos meses de gestação. In: **XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Fortaleza, 2015.
- BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Projeções do Agronegócio**. Brasília, 2015. p. 133.
- BELL, A. W.; SLEPETIS, R.; EHRHARDT, R. A. Growth and Accretion of Energy and Protein in the Gravid Uterus During Late Pregnancy in Holstein Cows. **Journal Of Dairy Science**, [s.l.], v. 78, n. 9, p. 1954-1961, 1995.
- BELLOWS, R. A.; SHORT, R. E.; STAIGMILLER, R. B. Exercise and induced-parturition effects on dystocia and rebreeding in beef cattle. **Journal of animal science**, v. 72, n. 7, p. 1667-1674, 1994.
- BORGES, I.; SILVA, A. G. M.; ALBUQUERQUE, F.H.M.A.R. Escritação zootécnica e sua importância no gerenciamento da caprinocultura. **Reunião Técnica Científica em Ovinocaprinocultura**, p. 1-17, 2004.
- BÜRGER, P. J. et al. Consumo e Digestibilidade Aparente Total e Parcial em Bezerros Holandeses Alimentados com Dietas Contendo Diferentes Níveis de Concentrado. **Revista Brasileira de Zootecnia**, [s.l.], v. 29, n. 1, p. 206-214, 2000.
- CAMILO, P. J. Expansão do Agronegócio do leite no Sudoeste do Paraná: as tecnologias aplicadas a produção. In: **XXI Encontro Nacional de Geografia Agrária**. Uberlândia – MG, 18 p., 2012.
- CARVALHO, F. de M.; RAMOS, É. O.; LOPES, M. A. Análise comparativa dos custos de produção de duas propriedades leiteiras, no município de Unaí-MG, no período de 2003 e 2004. **Ciência Agrotec.**, Lavras, v. 33, p.1705-1711, 2009.
- COSTA, M. A. et al. Validação das Equações do NRC (2001) para Predição do Valor Energético de Alimentos nas Condições Brasileiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, [s.l.], v. 34, n. 1, p. 280-287, 2005.
- CREVELIN, S. A.; SCALCO, A. R. Projeto Agricultura familiar gado de leite: melhorias ocorridas em uma propriedade familiar no município de Tupã”. In: **CONGRESSO DA SOBER: CONHECIMENTOS PARA A AGRICULTURA DO FUTURO**. 2007.
- COULON, J. B. et al. Effect of extreme walking conditions for dairy cows on milk yield, chemical composition, and somatic cell count. **Journal of dairy science**, v. 81, n. 4, p. 994-1003, 1998.

- DOS PASSOS, E. J. P. F. **Programação linear como instrumento da pesquisa operacional**. São Paulo: Editora Atlas, 2008.
- EIFERT, E. da C. et al. Efeitos do Fornecimento da Monensina e Óleo de Soja na Dieta sobre o Desempenho de Vacas Leiteiras na Fase Inicial da Lactação. **Revista Brasileira de Zootecnia**. [s.l.], v. 34, n. 1, p. 2123-2132, 2005.
- FASSIO, L. H.; REIS, R. P.; GERALDO, L. G. Desempenho Técnico e Economico da Atividade Leiteira em Minas Gerais. **Ciênc. Agrotec.**, Lavras, v. 30, n. 6, p. 1154-1161, 2006.
- FAUSTO, D. A. et al. Avaliação dos Índices Zootécnicos de Pequenas Propriedades Leiteiras. In: VI Seminário de Iniciação Científica 2008, 12, 2008, Anápolis. **Resumos...** Anápolis: UEG, p. 1-6.
- FERRELL, C. L. et al. Energy utilization by pregnant and non-pregnant heifers. **Journal of animal science**, v. 42, n. 4, p. 937-950, 1976.
- FOX, D. G.; BLACK, J. R. A system for predicting body composition and performance of growing cattle. **Journal of Animal Science**, v. 58, n. 3, p. 725-739, 1984.
- FOX, D. G.; TYLUTKI, T. P. Accounting for the effects of environment on the nutrient requirements of dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 81, n. 11, p. 3085-3095, 1998.
- GOLDBARG, M. C.; LUNA, H. P. L. **Otimização combinatória e programação linear: modelos e algoritmos**. Elsevier, 2005.
- GOLDSCHMIDT, M. H. C.; SARRIÉS, G. A. **Apostila de iniciação ao Microsoft Access**. [201-]. Disponível em: <<http://www.lce.esalq.usp.br/gabriel/Apostila1.pdf>>. Acesso em: 30 ago. 2016.
- GRACE, N. D. Amounts and distribution of mineral elements associated with fleeces-free empty body weight gains in the grazing sheep. **New Zealand journal of agricultural research**, v. 26, n. 1, p. 59-70, 1983.
- GUIMARÃES, T. P. et al. Conceitos e Exigências de Energia para Bovinos de Corte. **Revista Brasileira Agrocência**, Pelotas, v. 18, n. 1-4, p. 54-67, 2012.
- KÖLLN, R. S. et al. Simulações de dietas para vacas leiteiras utilizando um sistema não-linear de otimização de rações. In: Seminário de Extensão e Inovação Da UTFPR, 2012, Francisco Beltrão, 2012. Disponível em: <www.sei.utfpr.edu.br>. Acesso em: 12 set. 2016.
- LANNA, D. P. D.; TEDESCHI, L. O.; BELTRAME FILHO, J. A. Modelos lineares e não-lineares de uso de nutrientes para formulação de dietas de ruminantes. **Sci. Agric**. 1999, v. 56, n. 2, p. 479-488. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90161999000200031>. Acesso em: 12 set. 2016.
- HOUSE, W. A.; BELL, A. W. Mineral Accretion in the Fetus and Adnexa During Late Gestation in Holstein Cows. **Journal Of Dairy Science**, v. 76, p. 2999-3010, 1993.

- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Pecuária Municipal**. Rio de Janeiro, 2014. 36 p.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Indicadores IBGE: Estatística da Produção Pecuária**. [Rio de Janeiro], 2015. 45 p.
- JÚNIOR, V. R. R. et al. Estimativa do valor energético dos alimentos e validação das equações propostas pelo NRC (2001). **R. Bras. Zootec**, v. 32, n. 2, p. 480-490, 2003.
- LUCCI, C. DE S.. Alimentação da vaca leiteira: Bases Técnicas. In: PEIXOTO, A. M.; DE MOURA, J. C.; DE FARIA, V. P. **Bovinocultura Leiteira: Fundamentos da Exploração Racional**. 3. ed. Piracicaba, FEALQ, 2000. p. 135-154.
- MARTINS, A. de S. et al. Digestibilidade Aparente de Dietas Contendo Milho ou Casca de Mandioca Como Fonte Energética e Farelo de Algodão ou Levedura como Fonte Protéica em Novilhas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, n. 29, v. 1, p. 269-277, 2000.
- MION, T. D. et al. Indicadores Zootécnicos e Econômicos para Pequenas Propriedades Leiteiras que Adotam os Princípios do Projeto Balde Cheio. **Informações Econômicas**, v. 42, n. 5, p. 5-19, 2012.
- National Research Council – NRC. Nutrient requirements of dairy cattle. 7. rev. ed. Washinton, D.C.: 2001, 381p.
- National Research Council – NRC. Nutrient requeriment of Beef Cattle. 7. rev. ed. Washinton, D.C.: 1996.
- NUSSIO, C. M. B. et al. Parâmetros de Fermentação e Medidas Morfométricas dos Compartimentos Ruminais de Bezerros Leiteiros Suplementados com Milho Processado (Floculado vs. Laminado a Vapor) e Monensina. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n. 4, p. 1021-1031, 2003.
- PARANÁ (Estado). Secretaria da Agricultura e do Abastecimento. **Análise da Conjuntura Agropecuária: ano 2011/12**. [Curitiba], 2012. 33 p.
- PARIS, M. de. et al. Desenvolvimento de Bezerras Leiteiras Submetidas à Alimentação Sólida Comercial ou Caseira Durante o Aleitamento. II Congresso de Ciência e Tecnologia da UTFPR – Câmpus Dois Vizinhos. Dois Vizinhos, 2012. 411-414.
- PEIXOTO, P. V. et al. Princípios de Suplementação Mineral em Ruminantes. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 25, n. 3, p. 195-200, 2005.
- RABELO, E.; CAMPOS, B. G. Fisiologia do Período de Transição. **Ciência Animal Brasileira**, Suplemento 1, 2009.
- REIS, R. P.; MEDEIROS, A. L.; MONTEIRO, L. A. Custos de Produção da Atividade Leiteira na Região Sul de Minas Gerais. **Organizações Rurais e Agroindustriais**, v. 3, n. 2, p. , 2001.
- RENNÓ, F. P. et al. Eficiência bioeconômica de estratégias de alimentação em sistemas de produção de leite. 1. Produção por animal e por área. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 4, p. 743-753, 2008.

- RIZZO FILHO, H. dos S. A Otimização de Gás Lift na Produção de Petróleo: Avaliação da Curva de Performance do Poço. 2011. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- SALLES, M. S. V. et al. Efeitos da monensina no desempenho de bezerras leiteiras em crescimento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, n. 4, p. 1293-1298, 2001.
- SILVA, R. M. N. da. et al. Ureia para vacas em lactação. 1. Consumo, digestibilidade, produção e composição do leite1. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, n. 5, p. 1639-1649, 2001.
- STERN, J. M. et al. Otimização e Processos Estocásticos Aplicados à Economia e Finanças. [S.l.: s.n.] 2007.
- TUPY, O. et al. Técnicas de Produção Intensiva Aplicadas às Propriedades Familiares Produtoras de Leite. **Avaliação dos Impactos da Pesquisa da Embrapa: Uma Amostra de 12 Tecnologias**, p. 199, 2006.
- UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **RLM Ração Lucro Máximo Leite**. São Paulo: ESALQ, 2014.
- WATTIAUX, M. A. Avaliação da Taxa de Crescimento. In: Babcock Institute. **Criação de Novilhas: desmama ao primeiro parto**. [Madison]: Babcock Institute. [19--]. v. 35. (Série Essenciais em Gado de Leite)
- ZOCCAL, R. A. Região Sul se Fortalece no Leite. In: EMBRAPA. **Panorama do Leite**. n. 75, 2015.

ANEXOS

ANEXO A – Fatores utilizados para a determinação de necessidades nutricionais dos animais.

Tabela 17 – Fator da temperatura do ambiente sobre a necessidade energética de bezerras

Bezerras > 2 meses		Bezerras < 2 meses	
Temperatura (°C)	<i>TempFactor</i>	Temperatura (°C)	<i>TempFactor</i>
> 5	0	> 15	0
0 – 5	0,13	10 – 15	0,13
-5 – 0	0,27	5 – 10	0,27
-10 – -5	0,40	0 – 5	0,40
-15 – -10	0,54	-5 – 0	0,54
-20 – -15	0,68	-10 – -5	0,68
-25 – -20	0,81	-15 – -10	0,86
-30 – -25	0,94	-20 – -15	0,94
< -30	1,07	-25 – -20	1,08
		-30 – -25	1,21
		< - 30	1,34

FONTE: Adaptado de NRC, 2001.

Tabela 18 – Fator de temperatura para consumo de matéria seca (*TempFact*).

Temperatura	<i>TempFact</i>
< -15	1,16
-15 – -5	1,07
-5 – 5	1,05
5 – 15	1,03
15 – 25	1,00
25 – 35	0,90
> 35	0,65
> 35 (noites frias)	0,90

FONTE: Adaptado de NRC, 2001.

Tabela 19 – Fatores de ajuste para insolação externa (*Coat*) e fator de ajuste de previsão do consumo de matéria seca por novilhas de reposição (*CCFact*).

Condição	<i>Coat</i>	<i>CCFact</i>
Limpo e seco	1,0	1,00
Alguma lama no corpo	0,8	1,00
Enlameado e molhado	0,5	0,85
Coberto de lama	0,2	0,70

FONTE: Adaptado de NRC, 2001.

Tabela 20 – Stress térmico por calor (StrHeat).

Condição	Coeficiente
Temperatura < 30°C	1,00
Sem nenhuma alteração na respiração	1,00
Respiração acelerada	1,07
Boca aberta	1,18

FONTE: Adaptado de NRC, 2001.

Tabela 21 – Insoleção do tecido (TI, °C/Mcal/m²/dia).

IDADE	TI
<= 30	2,5
31 – 183	6,5
184 – 362	5,1875 x (0,3125 x CS9)
=> 363	5,25 x (0,75 x CS9)

FONTE: Adaptado de NRC, 2001.

ANEXO B – Equações adotadas para a determinação das necessidades nutricionais dos animais, extraídas do NRC (2001).

Equação 2 – Peso corporal adulto em jejum (MSBW, kg).

$$MSBW = 0,96 \times MW$$

Equação 3 – Peso de referência para peso corporal adulto em jejum (SRW_to_MSBW).

$$SRW_to_MSBW = 478 / MSBW$$

Equação 4 – Peso corporal jejum (SBW, kg).

$$SBW = 0,96 \times BW$$

Equação 5 – Ganho de peso jejum (SWG, kg).

$$SWG = 13,91 \times (NEGrowthDiet^{0,9116}) \times (EQSBW^{0,6837})$$

Equação 6 – Peso do bezerro ao nascimento (CBW, kg).

$$SBW = MW \times 0,06275$$

Equação 7 – Peso do concepto (CW, kg).

$$CW = (18 + ((DaysPreg - 190) \times 0,665)) \times (CBW / 45)$$

Equação 8 – Equivalência do peso corporal jejum (EQSBW, kg).

$$EQSBW = (SBW - CW) \times SRW_to_MSBW$$

Equação 9 – Equivalente ao peso do corpo vazio (EQEBW, kg)

$$EQEBW = 0,891 \times EQSBW$$

Equação 10 – Ganho equivalente ao peso do corpo vazio (EQEBG, kg).

$$EQEBG = 0,956 \times WG$$

Equação 11 – Escore de condição corporal 1 - 9 (BCS(9)).

$$BCS(9) = ((DairyBCS - 1) \times 2) + 1$$

Equação 12 – Determinação da porcentagem de NDT na dieta a partir da energia líquida.

$$TDN(\%) = (NE + 0,12) / 0,0245$$

Equação 13 – Determinação da porcentagem de NDT na dieta a partir da energia metabolizável.

$$TDN(\%) = ME / 0,04409$$

Equação 14 – Determinação da quantia de NDT na dieta (kg).

$$TDN(kg/d) = TDN(\%) / 100 \times DMI$$

Equação 15 – Energia líquida de lactação total (NE_{L_Total} , Mcal).

$$NE_{L_Total} = TotalNE_{L_Conc} \times Total\ Re\ gDMFed$$

Equação 16 – Energia metabolizável para bezerras em aleitamento (Mcal/dia).

$$ME = 0,1 \times LW^{0,75} + ((0,84 \times LW^{0,355}) \times (LWG^{1,2}))$$

Equação 17 – Energia metabolizável para bezerras que recebem leite ou sucedâneo e concentrado inicial (Mcal/dia).

$$ME = (NE_M / 0,825) + (NE_G / 0,652)$$

Equação 18 – Energia metabolizável para bezerras que recebem concentrado inicial (Mcal/dia).

$$ME = (NE_M / 0,75) + (NE_G / 0,57)$$

Equação 19 – Energia metabolizável de manutenção para bezerras (ME_M , Mcal/dia).

$$ME_M = NE_G / km$$

Equação 20 – Energia líquida de manutenção para bezerras (NE_M , Mcal/dia).

$$NE_M = 0,086 \times BW^{0,75} \times (1 + TempFactor)$$

Equação 21 – Energia líquida para o crescimento (NE_G , Mcal/dia).

$$NE_G = (0,84 \times BW^{0,355}) \times (LWG^{1,2}) \times 0,69$$

Equação 22 – Energia metabolizável para o crescimento (ME_G , Mcal/dia).

$$ME_G = NE_G / kg$$

Equação 23 – Consumo de matéria seca por bezerras (DMI_{CALF} , kg/dia).

$$DMI_{CALF} (kg/d) = ME / b$$

Equação 24 – Proteína aparentemente digestível (ADP, g/dia).

$$ADP = 6,25 \times [1 / BW \times (E + G + M \times D) - M \times D]$$

Equação 25 – Proteína bruta (CP, g/dia).

$$CP = ADP / p$$

Equação 26 – Energia líquida de manutenção para novilhas em pastejo (NE_{MACT} , Mcal/dia).

$$NE_{MACT} = (0,0009 \times BW) + (0,0016 \times BW) + (0,006 \times BW)$$

Equação 27 – Energia líquida de crescimento total da dieta (NE_{G_Total}).

$$NE_{G_Total} = TotalNE_{G_Conc} \times Total\ Re\ gDMFed$$

Equação 28 – Energia líquida de crescimento da dieta em condições sem stress (NEGrowthDietNS).

$$NE_{GrowthDietNS} = (TotalDMFed - FeedMaint) \times (NE_{G_Total} / TotalDMFed)$$

Equação 29 – Energia líquida para produção (NEFP, Mcal/dia).

$$NEFP = NEGrowthDietNS$$

Equação 30 – Insolação total (INS, Mcal/m²/°C/dia).

$$INS = TI + EI$$

Equação 31 – Energia líquida de manutenção total (NE_MTotal, Mcal).

$$NE_{M_Total} = TotalNE_{M_Conco} \times TotalRe gDMFed$$

Equação 32 – Concentração de energia líquida na dieta para novilhas (NEDietConc, kg DM/dia).

$$NEDietConc = NE_{M_Total} / TotalDMFed$$

Equação 33 – Concentração de energia líquida na dieta para vacas (NEDietConc, kg DM/dia).

$$NEDietConc = NE_{L_Total} / TotalDMFed$$

Equação 34 – Energia metabolizável total consumida (ME_{Eng}Total, Mcal/dia).

$$ME_{Eng_Total} = TotalME_{Conc} \times TotalRe gDMFed$$

Equação 35 – Fator de estresse por frio para a determinação de energia líquida de manutenção com o estresse (ColdStr, Mcal/dia/BW^{0,75}).

$$ColdStr = ((NEDietConc / ME_{Eng_Total} / TotalDMFed) \times ME_{Cs})$$

Equação 36 – Energia metabolizável (ME_{CS}, Mcal/dia).

$$ME_{CS} = SA \times (LCT - Temp) / INS$$

Equação 37 – Eficiência na utilização da energia metabolizável para manutenção (k_m, %).

$$k_m = NE_{M} / ME$$

Equação 38 – Energia líquida de manutenção (NE_{MCS}, Mcal/dia).

$$NE_{Mcs} = k_m \times ME_{CS}$$

Equação 39 – Insolação externa (EI, Mcal/m²/°C/dia).

$$EI = ((7,36 - (WindSpeed) + (2,55 \times HairDepth)) \times Coat) \times 0,8$$

Equação 40 – Temperatura mínima crítica (LCT, °C).

$$LCT = 39 - (INS \times HP \times 0,85)$$

Equação 41 – Ajuste para os efeitos da temperatura sobre a manutenção para novilhas (a₂, Mcal/kg/dia SBW^{0,75}).

$$a_2 = 0,0007 \times (20 - PrevTemp)$$

Equação 42 – Efeito de ajuste de plano de nutrição para a dieta anterior, utilizado somente para novilhas (COMP).

$$COMP = 0,8 + ((BCS - 1) \times 0,5)$$

Equação 43 – Área de superfície (AS, m²).

$$SA = 0,09 \times SBW^{0,67}$$

Equação 44 – Produção de calor (HP, Mcal/m²/dia).

$$HP = (MEI - NEFP) / SA$$

Equação 45 – Energia líquida de manutenção sem estresse para novilhas (NE_{MNS}, Mcal/dia).

$$NE_{MNS} = (((SBW - CW)^{0,75}) \times (a1 \times COMP) + a2))$$

Equação 46 – Energia líquida de manutenção para novilhas (NE_M, Mcal/dia).

$$NE_M = ((NE_{MNS} - StrCold) \times StrHeat) + NE_{MACT}$$

Equação 47 – Energia retida (RE, Mcal/dia).

$$RE = 0,0635 \times (EQEBW^{0,75}) \times (EQEBG^{1,097})$$

Equação 48 – Energia metabolizável para gestação em Mcal/dia (ME_{PREG}, Mcal/dia).

$$ME_{PREG} = ((2 \times 0,00159 \times Days\ Preg - 0,0352) \times (CBW / 45)) / EffME_{PREG}$$

Equação 49 – Energia líquida para gestação em Mcal/dia (NE_{PREG}, Mcal/dia).

$$NE_{PREG} = ME_{PREG} \times km$$

Equação 50 – Energia líquida para gestação (NE_L, Mcal/dia).

$$NE_L (Mcal / d) = ((0,00318 \times Days\ Preg - 0,0352) \times (CBW / 45)) / 0,218$$

Equação 51 – Consumo de matéria seca por novilhas (DMI_{RH}, kg/dia).

$$DMI_{RH} = ((BW^{0,75}) \times (((0,2435 \times NEDietConc) - (0,0466 \times (NEDietConc^2)) + SubFact) / DivFact)) \times TempFact \times CCFact$$

Equação 52 – Fator de correção para gestação (DMI_{Factor}).

$$DMIRH_Factor = (1 + (210 - Days\ Preg) \times 0,0025)$$

Equação 53 – Consumo de matéria seca por novilhas após os 259 dias de gestação (DMI_{RH}, kg/dia).

$$DMI_{RH} = (1,71 - (0,69e^{(0,35 \times Days\ Preg - 280)})) / 100 \times BW$$

Equação 54 – Proteína bruta endógena (EndCP, g/dia).

$$EndCP = 11,8 \times TotalDMFed$$

Equação 55 – Proteína metabolizável endógena (MP_{Endo}, g/dia).

$$MP_{Endo} = 0,4 \times EndCP$$

Equação 56 – Quantidade de proteína na dieta que fornece proteína endógena (MP_{EndoReq}, g/dia).

$$MP_{EndoReq} = MP_{Endo} / 0,67$$

Equação 57 – Proteína metabolizável suprida pela proteína bacteriana (MP_{BACT}, g/dia).

$$MP_{BACT} = 0,13 \times TDN_Act_Total$$

Equação 58 – Proteína metabolizável fecal requerida (MFPR, g/dia).

$$MFPR = (TotalDMFed \times 1000 \times 0,03 - 0,5 \times ((MP_{BACT} / 0,8) - MP_{BACT}))$$

Equação 59 – Proteína metabolizável para manutenção (MP_{MAINT}, g/dia).

$$MP_{MAINT} (g/d) = (0,3 \times (BW - CW)^{0,6}) + (4,1 \times (BW - CW)^{0,5}) + MFPR + MP_{EndReq}$$

Equação 60 – Proteína líquida para crescimento (NP_G, g/dia).

$$NP_G = LWG \times (268 - 29,4 \times (RE / ADG))$$

Equação 61 – Eficiência da proteína metabolizável para energia líquida de crescimento (EffMP_{NP_G}).

$$EffMP_{NP_G} = (83,4 - (0,114 \times EQSBW)) / 100$$

Equação 62 – Proteína metabolizável de crescimento (MP_G, g/dia).

$$MP_G = NP_G / EffMP_{NP}$$

Equação 63 – Proteína metabolizável para gestação (MP_{PREG}, g/dia).

$$MP_{PREG} = (((0,69 \times DaysPreg) - 69,2) \times (CBW / 45)) / EffMP_{PREG}$$

Equação 64 – Energia líquida de manutenção (NE_{MAINT}, Mcal/dia).

$$NE_{MAINT} = ((BW - CW)^{0,75} \times 0,08) + NE_{MACT}$$

Equação 65 – Energia líquida de manutenção de atividades para vacas em terrenos planos (NE_{MACT}, Mcal/dia).

$$NE_{MACT} = (((Dist / 1000) \times Trips) \times (0,00045 \times BW)) + (0,0012 \times BW)$$

Equação 66 – Energia líquida de manutenção de atividades para vacas em terrenos acidentados (NE_{MACT}, Mcal/dia).

$$NE_{MACT} = (((Dist / 1000) \times Trips) \times (0,00045 \times BW)) + (0,0012 \times BW) + (0,006 \times BW)$$

Equação 67 – Energia líquida contida por kg de leite produzido (MilkEn, Mcal).

$$MilkEn = (0,0929 \times MilkFat) + (0,0547 \times MilkTrueProtein / 0,93) + 0,192$$

Equação 68 – Energia líquida para lactação (NE_{LACT} , Mcal/dia).

$$NE_{LACT} = Milk\ Pr od \times MilkEn$$

Equação 69 – Produção de leite corrigida para gordura em 4% (FCM, kg/dia).

$$FCM = 0,4 \times Milk\ Pr od + 15 \times (MilkFat / 100) \times Milk\ Pr od$$

Equação 70 – Consumo de matéria seca por vacas em lactação (DMI_{LACT} , kg/dia).

$$DMI_{LACT} = ((0,372 \times FCM + 0,0968 \times BW^{0,75}) - 0,293) \times (1 - e^{(-0,192 \times (WOL + 3,67))})$$

Equação 71 – Consumo de matéria seca por vacas secas (DMI_{DRY} , kg/dia).

$$DMI_{DRY} = ((1,97 - (0,75 \times e^{(0,16 \times (Days\ Preg - 280))}) / 100) \times BW$$

Equação 72 – Rendimento de proteína do leite diariamente (Y_{protn} , kg/dia).

$$Y_{Protn} = Milk\ Pr od \times (Milk\ True\ Protein / 100)$$

Equação 73 – Proteína metabolizável para lactação (MP_{LACT} , g/dia).

$$MP_{LACT} = (Y_{Protn} / 0,67) \times 1000$$

Equação 74 – Cálculo fecal para vacas que estão em lactação (g/dia).

$$Fecal = 3,1 \times (BW / 100)$$

Equação 75 – Cálculo fecal para animais que não estão em lactação (g/dia).

$$Fecal = 1,54 \times (BW / 100)$$

Equação 76 – Cálculo urinário (g/dia).

$$Urinary = 0,08 \times (BW / 100)$$

Equação 77 – Cálculo fetal (g/dia).

$$Fetal = 0,02456 \times Exp((0,05581 - (0,00007 \times Days\ Preg)) \times Days\ Preg) - 0,02456 \times Exp((0,05581 - (0,00007 \times Days\ Preg - 1)) \times Days\ Preg - 1)$$

Equação 78 – Cálculo para produção de leite raça Holandesa (g/dia).

$$Milk = 1,22 \times Milk\ Pr od$$

Equação 79 – Cálculo para produção de leite raça Jersey (g/dia).

$$Milk = 1,45 \times Milk\ Pr od$$

Equação 80 – Cálculo para produção de leite demais raças (g/dia).

$$Milk = 1,37 \times Milk\ Pr od$$

Equação 81 – Cálculo para o crescimento (g/dia).

$$Growth = (9,83 \times (MW^{0,22}) \times (BW^{0,22})) \times (WG / 0,96)$$

Equação 82 – Fósforo fecal (g/dia).

$$Fecal = 1 \times TotalDMFed$$

Equação 83 – Fósforo urinário (g/dia).

$$Urinary = 0,002 \times BW$$

Equação 84 – Fósforo fetal (g/dia).

$$Fetal = 0,02743 \times Exp((0,05527 - (0,000075 \times Days\ Pr\ eg)) \times Days\ Pr\ eg) - 0,02743 \times Exp((0,05527 - (0,000075 \times Days\ Pr\ eg - 1)) \times Days\ Pr\ eg - 1)$$

Equação 85 – Fósforo para produção de leite (g/dia).

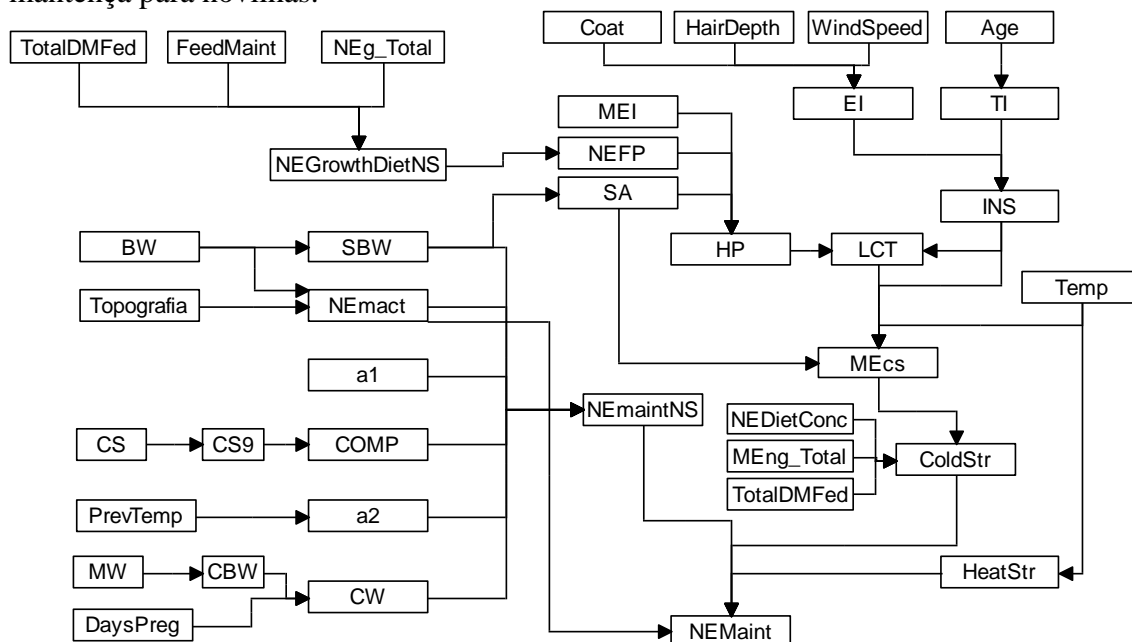
$$Milk = 0,9 \times Milk\ Pr\ od$$

Equação 86 – Fósforo para o crescimento (g/dia).

$$Growth = (1,2 + (4,635 \times (MW^{0,22}) \times (BW^{0,22}))) \times (WG / 0,96)$$

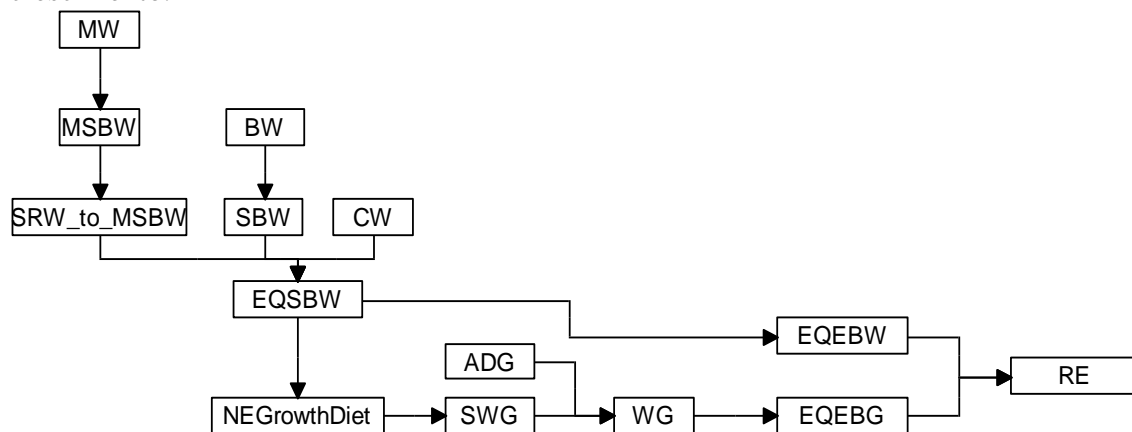
ANEXO C – Fluxogramas das equações empregadas para novilhas de reposição.

Figura 6 – Fluxograma para determinação das necessidades diárias de energia líquida de manutenção para novilhas.



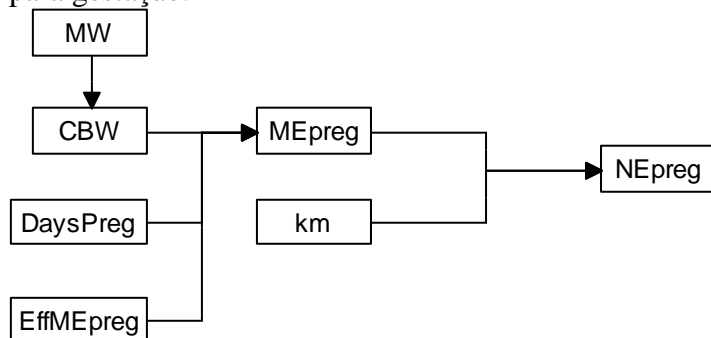
FONTE: Elaborado pelo autor, 2016.

Figura 7 – Fluxograma para determinação das necessidades diárias de energia retida no crescimento.



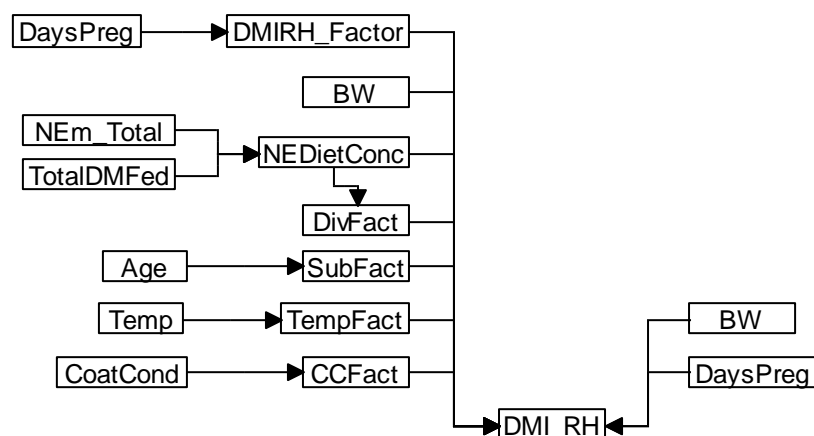
FONTE: Elaborado pelo autor, 2016.

Figura 8 – Fluxograma para determinação das necessidades diárias de energia líquida para gestação.



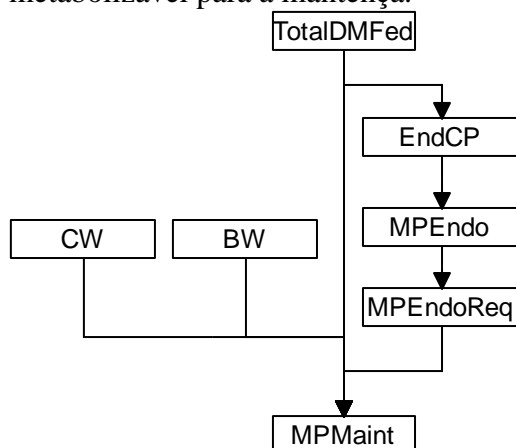
FONTE: Elaborado pelo autor, 2016.

Figura 9 – Fluxograma para determinação da estimativa de consumo de matéria seca para novilhas.



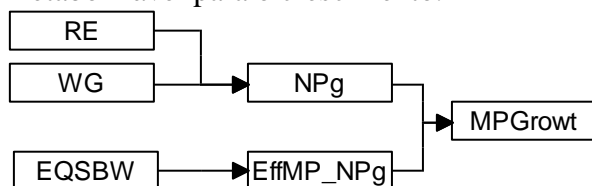
FONTE: Elaborado pelo autor, 2016.

Figura 10 – Fluxograma para determinação das necessidades diárias de proteína metabolizável para a manutenção.



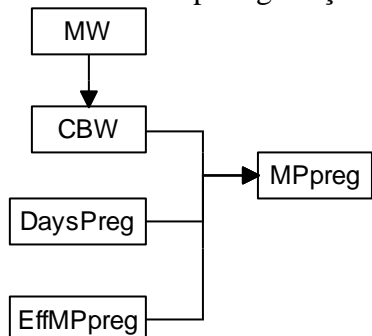
FONTE: Elaborado pelo autor, 2016.

Figura 11 – Fluxograma para determinação das necessidades diárias de proteína metabolizável para o crescimento.



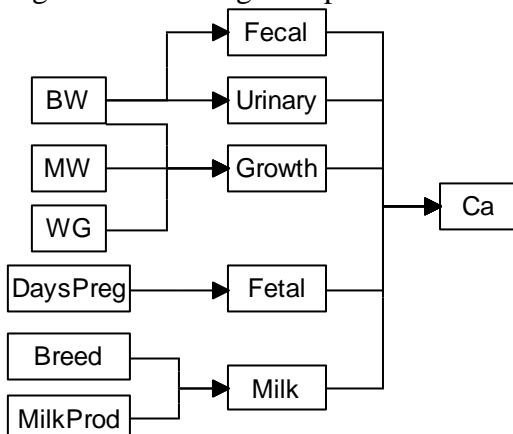
FONTE: Elaborado pelo autor, 2016.

Figura 12 – Fluxograma para determinação das necessidades diárias de proteína metabolizável para gestação.



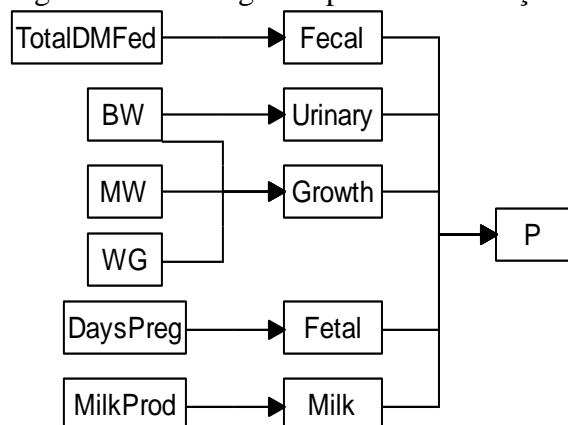
FONTE: Elaborado pelo autor, 2016.

Figura 13 – Fluxograma para determinação das necessidades diárias de cálcio.



FONTE: Elaborado pelo autor, 2016.

Figura 14 – Fluxograma para determinação das necessidades diárias de fósforo.



FONTE: Elaborado pelo autor, 2016.

ANEXO D – Tabela de alimentos e tabelas de exigências nutricionais de vacas obtidas através de simulações comparativas.

Tabela 22 – Alimentos utilizados para a formulação das dietas, com seus respectivos valores bromatológicos e monetários.

Descrição	MS (%)	NDT (%)	FDN (%)	PB (%)	Ca (%)	P (%)	R\$/kg
Aveia e Azevém, 60-90 dias	18,84	72,71	37,91	21,29	0,00	0,00	0,08
Azevém	19,43	65,02	53,43	18,78	0,53	0,30	0,06
Azevém, feno	92,98	50,80	50,19	14,73	0,00	0,00	0,13
Leite de vaca	12,60	128,60	0,00	27,78	0,95	7,14	1,50
Milho, quirera	88,71	83,20	19,74	9,02	0,06	0,21	1,00
Milho, silagem	29,43	63,73	56,08	7,31	0,26	0,19	0,10
Sal mineral	100,00	0,00	0,00	0,00	20,50	6,00	3,17
Soja, farelo 48%	88,75	80,48	15,25	48,71	0,33	0,57	1,25
Tifton 85, feno 46 -60 dias	83,89	55,90	81,96	11,63	0,00	0,00	0,09
Trigo, farelo	87,97	70,61	43,24	17,13	0,17	0,99	1,05

FONTE: Elaborado pelo autor, 2016.

Tabela 23 – Necessidades nutricionais para vacas de raças grandes (680 kg) em início de lactação (11 dias de lactação).

Leite kg	Gordura (%)	Proteína (%)	CMS (kg/d)	NDT (kg/d)	EL (Mcal/d)	PDR (g/d)	PNDR (g/d)	PB (%)
20	3,0	2,5	12,6	10,34	23,82	1377	522	15,1
20	3,0	3,0	12,6	10,58	24,41	1409	686	16,7
20	3,0	3,5	12,6	10,82	25,00	1441	849	18,2
20	3,5	2,5	12,9	10,74	24,75	1430	484	14,8
20	3,5	3,0	12,9	10,98	25,34	1462	648	16,3
20	3,5	3,5	12,9	11,22	25,93	1494	811	17,8
20	4,0	2,5	13,3	11,13	25,68	1483	446	14,5
20	4,0	3,0	13,3	11,37	26,27	1515	609	16,0
20	4,0	3,5	13,3	11,61	26,86	1547	773	17,5
30	3,0	2,5	14,6	12,96	30,00	1727	737	16,8
30	3,0	3,0	14,6	13,32	30,88	1775	982	18,8
30	3,0	3,5	14,6	13,68	31,77	1823	1227	20,8
30	3,5	2,5	15,2	13,56	31,39	1806	679	16,3
30	3,5	3,0	15,2	13,92	32,28	1854	925	18,3
30	3,5	3,5	15,2	14,28	33,16	1902	1170	20,2
30	4,0	2,5	15,8	14,15	32,79	1885	622	15,9
30	4,0	3,0	15,8	14,51	33,67	1933	867	17,8
30	4,0	3,5	15,8	14,88	34,55	1981	1113	19,6

FONTE: Elaborado pelo autor, 2016.

Tabela 24 – Necessidades nutricionais para vacas de raças grandes (680 kg) aos 90 dias de lactação.

Leite kg	Gordura (%)	Proteína (%)	CMS (kg/d)	NDT (kg/d)	EL (Mcal/d)	PDR (g/d)	PNDR (g/d)	PB (%)
35	3,0	2,5	22,7	14,62	33,09	1947	811	12,2
35	3,0	3,0	22,7	15,04	34,12	2003	1097	13,7
35	3,0	3,5	22,7	15,46	35,15	2059	1383	15,5
35	3,5	2,5	23,6	15,33	34,74	2042	743	11,8
35	3,5	3,0	23,6	15,75	35,75	2098	1029	13,2
35	3,5	3,5	23,6	16,17	36,77	2154	1315	14,7
35	4,0	2,5	24,6	16,04	36,34	2136	675	11,4
35	4,0	3,0	24,6	16,46	37,37	2192	961	12,8
35	4,0	3,5	24,6	16,88	38,40	2248	1247	14,2
45	3,0	2,5	25,7	17,29	39,27	2303	1021	12,9
45	3,0	3,0	25,7	17,83	40,59	2375	1389	14,6
45	3,0	3,5	25,7	18,37	41,91	2447	1757	16,3
45	3,5	2,5	26,9	18,20	41,36	2424	933	12,5
45	3,5	3,0	26,9	18,74	42,68	2496	1301	14,1
45	3,5	3,5	26,9	19,28	44,00	2568	1669	15,7
45	4,0	2,5	28,1	19,11	43,45	2546	846	12,1
45	4,0	3,0	28,1	19,65	44,77	2618	1214	13,6
45	4,0	3,5	28,1	20,19	46,09	2690	1582	15,2

FONTE: Elaborado pelo autor, 2016.