

PROPOSTA DE UTILIZAÇÃO DE UM ALGORITMO DE PROGRAMAÇÃO INTEIRA PARA A OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE NOVILHOS JOVENS EM UMA PROPRIEDADE RURAL DO RIO GRANDE DO SUL

Andre Andrade Longaray (FURG)
longaray@yahoo.com.br
Thiago Damas (FURG)
tdamas@gmail.com



O presente trabalho apresenta as etapas da aplicação de um algoritmo de programação inteira para a otimização da área destinada à criação de animais do tipo novilho jovem para a pecuária de corte de uma propriedade rural familiar localizada na região sul do Rio Grande do Sul. O problema balizador da pesquisa se relaciona à determinação da produção ótima de carne oriunda da pecuária de corte extensiva, levando em consideração as restrições de área de campo disponível, lotação de gado por hectare e a raça dos animais a serem criados. Para tanto, foi procedida a formulação de um modelo que contemplasse todas as restrições identificadas, para um ciclo produtivo de quatro anos, com a discriminação da quantidade de terneiros comprados, bem como o seu peso de venda. Foi possível determinar a melhor utilização possível para a área total disponível e o ganho médio mensal por faixa etária de novilhos.

Palavras-chaves: Programação linear, Programação Inteira, Pecuária, LP Solve.

1. Introdução

A agroindústria do Brasil sempre teve um papel importante no desenvolvimento do país. Em especial, a região sul especializou-se na produção de carne e arroz. A economia no setor primário da metade sul do estado do Rio Grande do Sul é fortemente baseada na pecuária.

Um estudo da Fundação Getúlio Vargas realizado entre outubro de 1994 e fevereiro de 2002, demonstra que os produtores agropecuários brasileiros sofreram uma descapitalização de 44,4% (MACHADO, 2010).

Em particular, a agropecuária gaúcha vem passando por uma forte mudança de cenário a partir do início dos anos 2000. A cotação da arroba de gado tem se mantido constante, enquanto os preços dos insumos sofreram uma alta considerável. Em decorrência, vários frigoríficos decretaram falência, e o rebanho do estado diminuiu sensivelmente.

A administração familiar, predominante na maioria das propriedades rurais da região Sul também contribuiu para o agravamento desse panorama. A falta de profissionalização na tarefa de planejamento e definição de estratégias de médio e longo prazo são exemplos de tal situação.

Diante de tal perspectiva, o emprego de ferramentas de análise fundamentadas em métodos quantitativos pode ser de grande utilidade no processo de instrumentalização da gestão das operações em pequenas propriedades com atividades voltadas ao setor agropecuário. Dentre as diversas possibilidades, os modelos de programação matemática têm sido aplicados com êxito (CAIXETA-FILHO, 2001).

Inserido neste contexto, o presente trabalho tem por objetivo descrever as etapas do desenvolvimento de um algoritmo de programação inteira para a otimização da área destinada à criação de animais do tipo novilho jovem para a pecuária de corte de uma propriedade rural familiar localizada na região sul do Rio Grande do Sul.

Este artigo está dividido em cinco seções. Após a contextualização inicial, a seção 2 discorre a fundamentação teórica que alicerça a pesquisa. Na seção 3 tem-se os procedimentos metodológicos do trabalho. A seção 4 apresenta a descrição do problema, a formulação matemática, a execução do algoritmo, a análise dos resultados e de sensibilidade do modelo proposto. Por fim, a seção 5 expõe as considerações finais a respeito do trabalho.

2. Fundamentação teórica

Um problema de programação matemática é um algoritmo de otimização no qual o objetivo e as restrições são expressas como funções matemáticas e relações funcionais (BRONSON, 1985).

A programação linear é um tipo de problema de programação matemática em que o objetivo é uma função linear do tipo $f(x_1, x_2, \dots, x_n) = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$, sendo c_1, c_2, \dots, c_n valores constantes (HILLIER E LIEBERMAN, 2008).

No concerne às restrições, para um número qualquer b e uma função linear $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, define-se uma inequação linear como as inequações do tipo $f(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq b$ e $f(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq b$.

A programação inteira é uma variação da programação linear adequada para solução de problemas que envolvam escolhas que possam ser representadas por variáveis do tipo zero-um, bem como para problemas de estrutura linear com características inteira e não-inteira (CAIXETA-FILHO, 2001).

Conforme Rehfeldt (2001), a programação inteira ocorre quando um modelo de otimização constitui um problema de programação linear inteira e qualquer variável não puder assumir valores contínuos, ficando condicionada a assumir valores discretos. Normalmente, isso implica maior complexidade computacional do que a oriunda de situações de não-linearidade de funções.

De acordo com Bondy & Murty (1976), os problemas de programação linear inteira podem ser divididos em duas classes: programas inteiros puros, nos quais todas as variáveis de decisão no problema estão restritas a assumir somente valores inteiros, e programas inteiros mixados, nos quais há algumas variáveis de decisão contínua e algumas variáveis de decisão inteira. Em cada uma dessas classes, há duas subclasses: programas inteiros, nos quais todas as variáveis de decisão inteira estão restritas a serem 0 ou 1; problemas gerais de variáveis de decisão inteira não-negativa.

A potencialidade do uso dos modelos de programação inteira origina-se no fato de muitos problemas práticos, atividades e recursos, como máquinas, navios e operadores serem indivisíveis. Algumas decisões requerem a determinação das decisões sim-não, que podem ser consideradas como os valores 0-1 de variáveis inteiras assim restritas. Além disso, a maioria dos problemas de otimização de natureza combinatória podem ser formulados como programas inteiros.

3. procedimentos metodológicos

O presente trabalho possui caráter exploratório, à medida que procura identificar e sistematizar aspectos em um determinado contexto a fim de melhor entender o objeto de pesquisa. No caso específico, procurou-se delinear o problema e suas variáveis a fim de proceder à elaboração de um algoritmo de otimização para a produção de novinhos jovens de uma propriedade rural.

A forma de intervenção adotada foi o estudo de caso, realizado em uma propriedade rural localizada no sul do Estado do Rio Grande do Sul. Possui área total de 1.500 hectares divididos em três campos. Aproximadamente 500 hectares estão localizados em áreas de preservação permanente (APP). Administrada diretamente pelos proprietários tem as atividades direcionadas quase exclusivamente à atividade pecuária.

Os dados levantados foram predominantemente quantitativos. Os dados primários foram obtidos por meio de estudo de campo (medições *in loco*). Os dados secundários da pesquisa foram extraídos de fontes bibliográficas (relatórios estatísticos e regulatórios de órgãos governamentais).

O tratamento matemático dos dados viabilizou a construção do algoritmo de programação linear, composto determinação da função objetivo para a maximização do uso produtivo da área dos campos e da elaboração de suas restrições.

4. Modelo proposto

Esta seção discorre sobre o modelo de programação linear proposto para a resolução do problema de pesquisa. Nesse sentido, apresenta-se, na sequência, a descrição do processo de formulação do problema, de execução do algoritmo, de análise de resultados e análise de sensibilidade.

4.1 Formulação do problema

O problema balizador da pesquisa se relaciona à determinação da produção ótima de carne de novilho jovem oriunda da pecuária de corte extensiva em uma pequena propriedade rural localizada na cidade do Rio Grande, sul do estado do Rio Grande do Sul, levando em consideração as restrições de área de campo disponível, lotação de gado por hectare e a raça dos animais a serem criados.

A pecuária pode ser entendida como extensiva quando o animal é criado solto no pasto, não havendo qualquer tipo de confinamento.

No que tange a criação de novilhos jovens, estes são animais que estão prontos para o abate ao completar por volta de 24-30 meses ou peso de 450 kg. Para fins de comparação, tradicionalmente o bovino chegaria a este peso, que também é o equivalente a uma unidade animal, por volta dos quatro anos de idade. Desta forma, é esperado um maior giro de capital para o criador, além de carnes mais nobres e macias.

Embora a propriedade possua 1498,09 ha (hectare) de área em sua totalidade, uma significativa parcela não pode ser utilizada por restrições ambientais. Especificamente, 367,35 hectares estão localizados em Área de Preservação Permanente (APP). Tem-se, então, 1130,74 hectares de área útil, divididos em três campos: o campo de Caiúba (412,03 ha), o campo de Albardão (344,42 ha) e o campo de Figueira (374,29 ha).

Outra condicionante diz respeito ao número de animais que podem ocupar um hectare de campo na atividade de engorda para corte. O cálculo de lotação leva em conta o índice de lotação, o peso metabólico, e o fator de conversão animal. Esses dados são estabelecidos pelo INCRA (Instrução Normativa nº 11, de 04 de abril de 2003), que ainda os classifica segundo regiões de zonas pecuárias. A propriedade em estudo se enquadra na Zona 03.

Deve, ainda, ser tomado em conta, a raça de gado a ser criada na propriedade. Fatores como eficiência e melhoramento genético são preponderantes no procedimento da escolha. No estudo em questão, o gado é da raça Alberdeen Angus.

Com base no exposto, é necessário a formulação de um modelo que contemple todos estes requisitos. Em especial, deve ser criado um algoritmo, com uma duração de quatro anos, que discrimine a quantidade de terneiros comprados, bem como o seu peso de venda, que não necessariamente seja pronto para o abate, e sim para otimização da área produtiva.

Cabe salientar que em períodos de baixos índices de lotação, poderão ser tomadas duas decisões, se necessário:

- 1) Descartar (vender) os animais necessários para a manutenção da meta de engordar os animais; ou
- 2) Utilizar rações para continuar a engorda dos animais.

Para o estabelecimento das restrições, no cálculo do regime de engorda com rações, são utilizados os fatores de conversão para unidades de animais, estabelecidos pelo INCRA, conforme apresentado na Tabela 1:

Fatores de conversão de cabeças do rebanho para unidades animais – UA , segundo a categoria animal	
Categoria Animal	Fator de Conversão
Bovinos	
Touros (reprodutor)	1,39
Vacas com 3 anos e mais	1,00
Bois com 3 anos e mais	1,00
Bois de 2 a menos de 3 anos	0,75
Novilhas de 2 a menos de 3 anos	0,75
Bovinos de 1 a menos de 2 anos	0,50
Bovinos menores de 1 ano	0,31
Novilhos precoces	
Novilhos precoces de 2 anos e mais	1,00
Novilhas precoces de 2 anos e mais	1,00
Novilhos precoces de 1 a menos de 2 anos	0,87
Novilhas precoces de 1 a menos de 2 anos	0,87

Fonte: INCRA, 2003.

Tabela 1 – fatores de conversão aplicados no estado do Rio Grande do Sul

Além disso, deve-se levar em consideração os índices de lotação de campo também fornecidos pelo INCRA, conforme expõe a Tabela 2:

Mês	Índice de Lotação (UA/ha)
Janeiro	0,46
Fevereiro	0,44
Março	0,42
Abril	0,40
Maio	0,39
Junho	0,37
Julho	0,35
Agosto	0,33
Setembro	0,36
Outubro	0,38
Novembro	0,41
Dezembro	0,43
Janeiro	0,46
Fevereiro	0,44
Março	0,42

Fonte: INCRA, 2003.

Tabela 2 – Índice de lotação por época do ano aplicados no estado do Rio Grande do Sul

Por fim, a avaliação do algoritmo e área de estudo tem como unidade o quilograma de carne produzida no período (kg/ha/ano).

As características elencadas permitem a formulação de um modelo de programação linear, onde a função objetivo é maximizar o ganho de peso total, levando em consideração o número de cabeças de gado de determinada idade ocupando o campo.

Temos então o seguinte modelo de programação linear:

Função Objetivo:

$$\text{Max}(G) = GMM_1 * N_1 + GMM_2 * N_2$$

Onde:

GMM_1 = ganho médio mensal para animais de 1 a 2 anos

GMM_2 = ganho médio mensal para animais com mais de 2 anos

N_1 = somatório mensal do número de animais entre 1 e 2 anos

N_2 = somatório mensal do número de animais com mais de 2 anos

Durante o período estudado, somente são realizadas compras de forma anual, iniciando o ciclo no mês de setembro.

Restrições:

a) limitação mensal do número de cabeças ($N_1 + N_2$) na área A, por ano, baseado no fator de conversão para unidades animais (Tabela 1), no índice de lotação do campo (Tabela 2) e na área total do campo, observando-se início do período no mês setembro.

tem-se então:

$$\frac{fcN1}{IL\ i} \cdot N_{1i} + \frac{fcN2}{IL\ i} \cdot N_{2i} < A$$

Onde:

fcN_1 = fator de conversão para novilhos e novilhas precoces até 2 anos.

fcN_2 = fator de conversão para novilhos e novilhas com mais de 2 anos.

N_{1i} = nº animais entre 1 e 2 anos no mês i , $i = 1, \dots, 48$.

N_{2i} = nº animais com mais de 2 anos no mês i , $i = 1, \dots, 48$.

IL = índice de lotação de campo no mês i , sendo $i = 1, \dots, 48$.

A = área útil total de campo (\sum área útil Caiúba + Albardão + Figueira)

b) para o modelo apresentado, uma vez comprados os animais, no mês de setembro de cada ano, eles podem ser vendidos a qualquer momento, mas somente haverá outra compra no próximo ano.

tem-se, assim, para cada ano:

$$N_{1(1+i)} \leq N_{1i} \quad \text{e} \quad N_{2(1+i)} \leq N_{2i}$$

Onde:

$i = 1, \dots, 12$, para o primeiro ano; $i = 13, \dots, 24$, para o segundo ano; $i = 25, \dots, 36$, para o terceiro ano; e, $i = 37, \dots, 48$, para o quarto ano.

c) o número de animais com mais de dois anos de um determinado ano não pode ser maior do que o número de animais entre um e dois anos do ano anterior.

tem-se:

$$N_{213} \leq N_{112}$$

$$N_{225} \leq N_{124}$$

$$N_{237} \leq N_{136}$$

d) limitação do tamanho (em hectares) disponível na pesquisa:

$$A \leq 1.130,74$$

e) número total de animais de um a dois anos, e dois ou mais anos, contabilizados mensalmente, para efeito do cálculo da função objetivo:

$$N_1 = \sum_{i=1}^{48} N_{1i}$$

$$N_2 = \sum_{i=1}^{48} N_{2i}$$

f) restrições de não negatividade:

$$N_{ij} \geq 0$$

Onde:

$i = 1,2$

$j = 1, \dots, 48.$

4.2 Resolução do algoritmo

Para a execução do algoritmo foi utilizada a ferramenta LP SOLVE (<http://lpsolve.sourceforge.net>), de distribuição livre, recomendada para a resolução de problemas de programação inteira linear mista.

Entre as características da ferramenta, além da possibilidade da leitura dos algoritmos na linguagem LP, LINGO, MPS, não possui limites de tamanho dos modelos. Também provê suporte para a análise de sensibilidade.

O programa funciona em linha de comando. Foi utilizado o sistema operacional Ubuntu Linux 10.04.1 LTS. A versão do LP SOLVE empregada foi a 5.5.

4.3 Análise dos resultados

Com base nos dados oriundos da execução do algoritmo foi observado que os resultados não recomendam a permanência no campo de animais com mais de 02 anos, priorizando absolutamente os animais com idade entre 01 e 02 anos. Ainda, com o valor da função objetivo, calculado em 256787 quilos de carne no período de 04 anos, há de se avaliar a eficiência do modelo.

$$\text{Rendimento} = \frac{256787 \text{ kg}}{1.130,74\text{ha} * 4\text{anos}} = 56,77\text{kg vivo/ha/ano}$$

O rendimento de 56,77 kg vivo/ha/ano é considerado satisfatório, visto que a média nacional é de 30 kg/ha/ano de carne (de carcaça fria, com um rendimento médio em torno de 53% carcaça/peso vivo). A Tabela 3 apresenta o cronograma de compras e vendas baseado na resolução do algoritmo.

	Período	Compras	Vendas
1º ciclo	setembro	462	0
	outubro	0	0
	novembro	0	0
	dezembro	0	0
	janeiro	0	0
	fevereiro	0	0
	março	0	0
	abril	0	0
	maio	0	0
	junho	0	0
	julho	0	9
	agosto	0	25
2º ciclo	setembro	462	428
	outubro	0	0
	novembro	0	0
	dezembro	0	0
	janeiro	0	0
	fevereiro	0	0
	março	0	0
	abril	0	0
	maio	0	0
	junho	0	0
	julho	0	9
	agosto	0	25
3º ciclo	setembro	462	428
	outubro	0	0
	novembro	0	0
	dezembro	0	0
	janeiro	0	0
	fevereiro	0	0
	março	0	0
	abril	0	0
	maio	0	0
	junho	0	0
	julho	0	9
	agosto	0	25
4º ciclo	setembro	462	428
	outubro	0	0
	novembro	0	0
	dezembro	0	0
	janeiro	0	0
	fevereiro	0	0
	março	0	0
	abril	0	0
	maio	0	0
	junho	0	0
	julho	0	9
	agosto	0	25

Fonte: elaborada pelos autores

Tabela 3 - Cronograma de compras e vendas

Analisando-se a Tabela 3 é possível verificar que, na solução ótima encontrada, as compras deverão ocorrer sempre em lotes de 462 animais, ocorrendo o descarte (venda) de nove cabeças de gado em julho e 25 cabeças de gado em agosto (inverno). Em setembro, ocorrerá a venda das 428 cabeças restantes, sendo esta com dois anos recém completos, e a compra de mais um lote de 462 cabeças de gado de animais com 01 ano. Este comportamento repete-se indefinidamente.

4.4 Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade foi procedida com a alimentação dos parâmetros do modelo no software LP SOLVE.

Em uma perspectiva conceitual, a adição de 1 unidade ao RHS (*right hand size*) de uma restrição que tem folga não afeta a solução ótima de um algoritmo de programação linear. Além disso, qualquer alteração na solução a partir da mudança no RHS observa um comportamento contínuo.

Para a análise de sensibilidade do problema de pesquisa, foram examinados dois aspectos: 1) Ganhos médios mensais por faixa etária; e 2) Área total disponível.

Na primeira das análises, fazendo uso do LP SOLVE, foram obtidos os limites da função objetivo do modelo, conforme a figura 1:

Objective function limits:		
	From	Till
FromValue		
N1	6.09174	1e+30
-1e+30		
N2	-1e+30	22.35632
-1e+30		

Figura 1 – limites da função objetivo do problema de pesquisa

Observando a figura 1, verifica-se que os coeficientes de N_1 e N_2 na função objetivo, mas especificamente, os valores de ganho médio mensal de peso, exercem um papel importante na análise. Isso por que, mantendo-se os ganhos médios mensais de animais entre 1 e 2 anos no valor acima de 6,09 kg/mês, ou os valores de ganhos médios mensais de animais com mais de 2 anos abaixo de 22,35 kg/mês, é obtida a mesma resposta do problema (não confundir com o valor da função objetivo).

Na segunda análise, a da restrição condicionante da área total disponível, o LP SOLVE apresentou os resultados descritos na figura 2:

Actual values of the constraints:		
R142	1130.74	
Dual values with from - till limits:		
	Dual value	From
Till		
R142	227.4213	5.229595e-12
1e+30		

Figura 2: limites da restrição área disponível do modelo

Por meio da figura 02, verifica-se que, sendo R_{142} a restrição referente à área total disponível para o modelo, um incremento de 01 hectare na área disponível aumenta em 227,42kg a

produção de carne no período de 4 anos, valor este condizente com o rendimento por hectare detectado anteriormente. O decréscimo também é válido, desde que o valor da área disponível fique entre os valores *From* e *Till*.

Conclusivamente, utilizou-se o módulo de análise de sensibilidade do LP SOLVER para determinar em que épocas do ano existem áreas disponíveis, sem uso. Isto pode ser observado pelo valor das variáveis de folga das restrições citadas nos itens (a), (b), (c) e (d) da seção 4.1 deste trabalho, detalhadas conforme figura 03:

Actual values of the constraints:

R1	0
R2	-76.9614
R3	-144.114
R4	-203.221
R5	-255.646
R6	-218.829
R7	-178.779
R8	-135.05
R9	-87.1089
R10	-34.3182
R11	0
R12	0
R13	0
R14	-76.9614
R15	-144.114
R16	-203.221
R17	-255.646
R18	-218.829
R19	-178.779
R20	-135.05
R21	-87.1089
R22	-34.3182
R23	0
R24	0
R25	0
R26	-76.9614

R27	-144.114
R28	-203.221
R29	-255.646
R30	-218.829
R31	-178.779
R32	-135.05
R33	-87.1089
R34	-34.3182
R35	0
R36	0
R37	0
R38	-76.9614
R39	-144.114
R40	-203.221
R41	-255.646
R42	-218.829
R43	-178.779
R44	-135.05
R45	-87.1089
R46	-34.3182
R47	0
R48	0

Figura 03: análise das áreas disponíveis por período

Os valores apresentados na figura 03 indicam a quantidade em hectares “disponíveis” para uso em determinado período. Como é possível visualizar, existem meses onde as restrições possuem expressiva quantidade de folga, não tendo um grau de utilização de 100% em nenhum dos períodos.

5. Considerações Finais

O presente trabalho teve por objetivo descrever as etapas da aplicação de um algoritmo de programação linear para a otimização da área destinada à criação de animais do tipo novilho jovem para a pecuária de corte de uma propriedade rural familiar localizada na região sul do Rio Grande do Sul.

O problema balizador da pesquisa se relaciona à determinação da produção ótima de carne oriunda da pecuária de corte extensiva, levando em consideração as restrições de área de campo disponível, lotação de gado por hectare e a raça dos animais a serem criados.

Os dados apresentados neste trabalho foram fornecidos pelos órgãos nacionais que realizam pesquisa no setor agropecuário, a citar EMBRAPA - Pecuária de Corte, INCRA – Ministério do Desenvolvimento Agrário e também obtidos através de levantamentos de campo, como medições e rastreamento via GPS da área, já que não há uma totalidade de mapas atualizados da região.

Os modelos propostos são alguns dos inúmeros possíveis, dentro do universo da pesquisa operacional. Dependendo do grau de aprofundamento, novas soluções são possíveis.

A escolha da ferramenta computacional para tratamentos dos dados se deu por processo de adequação ao modelo formulado. A princípio foi utilizado o SOLVER, passando pelo PREMIUM, ambos da *Frontline Systems*, sendo o primeiro fornecido como uma extensão gratuita do Microsoft Excel. Posteriormente, foram analisados outros softwares, com mais recursos, culminando na escolha do LP SOLVE.

A preferência dos algoritmos nos dois modelos em utilizar somente bois com menos de dois anos pode ser explicada pelo fator de conversão menor para esta categoria (em relação a bois com mais de 02 anos); talvez, com a utilização de fatores de correção melhor detalhados, o resultado fosse outro.

O ganho de peso mensal, no modelo apresentado como uma constante, também pode sofrer variações conforme a idade do bovino, mas estes dados não são facilmente encontrados pelo fato das inúmeras características e da dinamicidade presentes na situação em estudo.

Em função da quantidade significativa de variáveis envolvidas, a análise de sensibilidade foi focada nos quesitos tamanho da área disponível e ganhos médios de quilos/mês, em função da faixa etária.

Por fim, o rendimento encontrado na resolução do algoritmo foi condizente com o cenário brasileiro. Mas cabe salientar que, mesmo com os campos de qualidade inferior na região (em comparação com outros tipos de vegetação), o resultado foi considerado satisfatório.

Como uma das limitações deste trabalho pode-se considerar o fato de ser analisada somente a produção em quilos de carne, e não levar em conta aspectos econômicos, políticos e ambientais, que fazem com que os preços tenham oscilações sazonais, o que implica em nem sempre alcançar o melhor resultado financeiro do algoritmo.

Referências

- BONDY, J. A, MURTY, U. S. R.** *Graph Theory with Applications*. North-Holland, 1976.
- BRONSON, R.** *Pesquisa Operacional*, São Paulo, McGraw Hill, 1985.
- CAIXETA-FILHO, J. V.** *Pesquisa Operacional: Técnicas de Otimização Aplicadas a Sistemas Agroindustriais*. 2ª ed. São Paulo: Atlas, 2004.
- COLIN, E. C.** *Pesquisa Operacional: 170 Aplicações em Estratégia, Finanças, Logística, Produção, Marketing e Vendas*, Rio de Janeiro: LTC, 2007.

HILLIER, F. E LIEBERMAN, G. *Introdução à Pesquisa Operacional*, São Paulo, Campus, 2008.

INCRA. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. *Instrução Normativa n. 11, de 04 de abril de 2003*. Disponível em: <http://www.incra.gov.br/portal/images/arquivos/IN11_040403.pdf>. Acesso em maio/2012.

LP SOLVE. *Mixed Integer Linear Programming (MILP) Solver*. Disponível em: <[:http://lpsolve.sourceforge.net/](http://lpsolve.sourceforge.net/)>. Acesso em novembro/2011.

MACHADO, L. P. *Pastoreio Racional Voisin*. Porto Alegre. Expressão Popular, 2010.

REHFELDT, M. J. *Uma heurística aplicada a um problema de escalonamento na indústria calçadista*. Universidade Federal do Rio Grande Sul. Mestrado em Administração (Dissertação). Porto Alegre, RS, 2001.