

MATEUS MIRANDA DE CASTRO

CUSTO COM ADUBAÇÃO DE PLANTIO DE EUCALIPTO (*Eucalyptus spp*)
UTILIZANDO PROGRAMAÇÃO LINEAR: ESTUDO DE CASO DE UMA
PROPRIEDADE RURAL DO DISTRITO FEDERAL - BR

CURITIBA

2011

MATEUS MIRANDA DE CASTRO

CUSTO COM ADUBAÇÃO DE PLANTIO DE EUCALIPTO (*Eucalyptus spp*)
UTILIZANDO PROGRAMAÇÃO LINEAR: ESTUDO DE CASO DE UMA
PROPRIEDADE RURAL DO DISTRITO FEDERAL - BR

Trabalho apresentado para obtenção parcial do título de Gestão Florestal no curso de Pós-Graduação em Gestão Florestal do Departamento de Economia Rural e Extensão, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Júlio Arce

CURITIBA

2011

SUMÁRIO

RESUMO.....	iv
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 Importancia da madeira.....	3
2.2 A cultura do eucalipto.....	3
2.3 Modelos matemáticos de otimização.....	4
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	7
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	13
5 CONCLUSÃO.....	16
6 REFERÊNCIAS.....	17

RESUMO

O eucalipto é uma boa opção para o produtor rural e é árvore mais plantada do mundo. Sua versatilidade permite utilização em diversos produtos madeireiros. No Distrito Federal a maior comercialização de produtos é para a lenha e escoras, utilizadas na construção civil. A adubação é preponderante na condução da cultura. Uma adubação equilibrada, que supra todas as demandas das plantas e que se viabilize economicamente é o que o produtor rural espera. O objetivo geral deste estudo é dimensionar a quantidade de adubos orgânicos e químicos a serem utilizados com o menor custo possível na adubação de plantio da cultura do Eucalipto em uma área de 10ha de uma propriedade do Distrito Federal, utilizando a ferramenta da Programação Linear (PL) através do software LINDO®. Após os cálculos chegou-se ao menor custo para a adubação de plantio do eucalipto na propriedade em estudo, que foi de R\$727,41/ha, com a quantidade aproximada por hectare de 109,6kg/ha de MAP, 222,3kg/ha de sulfato de amônio, 5,9kg/ha de ácido bórico, 15,4kg/ha de sulfato de cobre, 7,5kg/ha de sulfato de zinco, 861,0kg/ha de cama de frango compostado e 4.139,03kg/ha de esterco de gado compostado. Extrapolando para os 10 hectares o custo total será de R\$7.274,10.

1 INTRODUÇÃO

A madeira é sem dúvida nenhuma, um dos mais importantes materiais a serviço do homem desde os seus primórdios. Ponde (1995) relata que os primeiros homens da história já utilizavam a madeira para a construção de suas habitações, para fazer barcos, fabricar armas e outros tantos usos no seu cotidiano.

No decorrer dessa história, a madeira que era obtida exclusivamente pelo extrativismo, passou a ser explorada através de plantios artificiais das espécies que o homem foi descobrindo serem mais eficientes de acordo com suas necessidades, o que de fato ocorreu em um momento histórico próximo dos dias atuais.

Uma das oportunidades atuais para o produtor rural é o cultivo de espécies florestais para a produção madeireira. Considerando que o mercado da madeira no mundo apresenta demanda crescente por madeiras nobres dentre outras, ao mesmo tempo em que as reservas naturais estão se acabando, a produção de madeira surge como uma excelente alternativa para o produtor no médio e longo prazo (CASTRO, 2010).

O eucalipto é uma boa opção para o produtor rural e é árvore mais plantada do mundo. De acordo com Castro (2010) sua versatilidade permite utilização em diversos produtos madeireiros, tais como: carvão, lenha, tábuas, escoras, postes, óleos essenciais, entre outros, sendo que no Distrito Federal a maior comercialização de produtos é para a lenha e para escoras, utilizadas na construção civil.

Para o plantio da cultura do eucalipto no cerrado, especificamente no Distrito Federal, vários fatores devem ser levados em conta, como espécies adequadas, clima, solos, técnicas de plantio, pragas dentre outros. Segundo Santos (2010), a produtividade de grande parte das plantações de eucalipto está aquém de seu potencial, havendo boas possibilidades de elevá-la. Isso pode ser alcançado com adequada alocação do genótipo ao ambiente e concomitantemente ao uso de práticas corretas de manejo do solo, dentre as quais a adubação tem especial destaque.

Uma adubação equilibrada, que supra todas as demandas das plantas e que se viabilize economicamente é o que o produtor rural espera. Para isso, conta com os serviços de pesquisa e extensão rural que fornecem as informações adequadas

para a melhor forma de produção. O serviço de pesquisa procura identificar os parâmetros técnicos para a adubação da cultura enquanto que o serviço de extensão rural se encarrega da assistência técnica direta ao produtor rural fazendo a interpretação da análise química do solo e recomendando ao mesmo a combinação dos adubos que irá utilizar para o cultivo do eucalipto. Para isso, conta com a ferramenta da Programação Linear (PL), objeto do presente estudo. É esta ferramenta que pode e deve ser utilizada por engenheiros agrônomos e florestais para a melhoria da eficiência do sistema produtivo.

O objetivo geral deste estudo é dimensionar a quantidade de adubos orgânicos e químicos a serem utilizados com o menor custo possível na adubação de plantio da cultura do Eucalipto em uma área de 10ha de uma propriedade do Distrito Federal, utilizando a ferramenta da Programação Linear (PL) através do software LINDO®.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 IMPORTANCIA DA MADEIRA

O plantio de árvores para a produção de madeira é um investimento que serve para diversos fins, tais como obtenção de madeira para o uso dentro da propriedade em cercas e construções, valorização imobiliária da área plantada, evitar a derrubada de árvores nativas da Área de Preservação Permanente – APP e da Reserva Legal – RL, e é um bom investimento para o futuro de quem planta. Pode ser considerada uma “aposentadoria” segura (CASTRO, 2010).

Hoje, mesmo a madeira sendo substituída por outros materiais, apresenta uma demanda significativa de produção. Atualmente a madeira tem sido substituída em muitos usos pelo aço, pelo alumínio e por suas ligas, e pelos plásticos. No entanto, é, e continuará sendo um material intenso e extensivamente usado, principalmente pelos países mais desenvolvidos tecnologicamente e economicamente (PONDE, 1995).

2.2 A CULTURA DO EUCALIPTO

Dentre as madeiras mais utilizadas na história do ser humano, com certeza o Eucalipto é o que foi e que é um dos principais recursos madeireiros para o homem. Segundo Minas Gerais (2004), o eucalipto foi descoberto pelos ingleses na Austrália, em 1788. Algumas publicações fazem referência também à Nova Zelândia, à Tasmânia e a ilhas vizinhas. A disseminação de sementes de eucaliptos no mundo começou no início do século XIX. Na América do Sul, o primeiro país a introduzir o eucalipto foi o Chile em 1823 e, posteriormente, a Argentina e o Uruguai. Por volta de 1850, países como Portugal, Espanha e Índia começaram a plantar o eucalipto. As primeiras mudas chegaram ao Brasil em 1868, sendo que a introdução do gênero tomou impulso no início do século XX.

O gênero *Eucalyptus* possui cerca de 700 espécies já descritas. As espécies mais comuns no Brasil atingem de 20 a 60 metros de altura, mas há espécies de porte maior como o *Eucalyptus regnans*, cujo caule chega a 90 metros, com 7,5 m de circunferência na base (MINAS GERAIS, 2004).

Segundo Minas Gerais (2004) os eucaliptos se desenvolvem com grande rapidez e, por volta do quinto ano, já permitem um primeiro corte do tronco para o aproveitamento da madeira, depois do que voltam a vegetar. Por crescer

rapidamente, tolerar cortes sucessivos e fornecer matéria-prima para diversos fins, o eucalipto tornou-se uma das árvores mais comumente cultivadas.

Na questão da qualidade da produção, Pereira (2000) aponta que duas estratégias podem ser empregadas quando o objetivo é produzir madeira de alta qualidade. A primeira, mais utilizada até hoje, consiste em melhorar geneticamente a qualidade da madeira das espécies mais plantadas, como *Eucalyptus grandis* e *E. saligna*. A segunda alternativa é a identificação de espécies produtoras de madeira de características satisfatórias para o uso que se pretende, com programas posteriores destinados a aumentar a produtividade.

Na questão da quantidade a ser produzida, entram em cena os aspectos agronômicos do sistema de cultivo. No Brasil, a Embrapa Florestas disponibiliza em seu site www.cnpf.embrapa.br o Sistema de Produção do eucalipto para o país. É evidente que não é uma “receita de bolo”, pois há muitas variações edafoclimáticas no Brasil que são consideradas para a implantação da cultura em determinada região. O que é interessante é que o sistema de produção apresentado pela Embrapa é fruto de anos de pesquisa do Eucalipto no Brasil e serve como balizador da sua exploração econômica pelos silvicultores. Aspectos como: indicação das espécies a serem cultivadas, produção de sementes, produção de mudas, recomendação de espaçamento e adubação etc, são itens que norteiam o produtor e o seu consultor para a melhor forma de implantação da cultura.

A adubação assume dentro dos aspectos da cultura do eucalipto importância ímpar, uma vez que é parcela significativa dos custos de produção, podendo ser otimizada através do uso de ferramentas como os Modelos Matemáticos de Otimização.

2.3 MODELOS MATEMÁTICOS DE OTIMIZAÇÃO

Um instrumento de decisão importante na análise de custos de produção é a utilização de modelos matemáticos de otimização, com destaque para a Programação Linear, que é usada neste trabalho para verificar o custo mínimo de produção que atenda as necessidades nutricionais do solo:

“A Programação Linear é um modelo determinístico que diz respeito ao uso ou a alocação de recursos escassos da melhor maneira possível, otimizando lucros ou custos. O uso do termo “da melhor maneira possível” implica no fato de que alguma escolha ou conjunto de alternativas seja disponível para a tomada de decisões. Este problema

*de alocação pode aparecer toda vez que alguém precise selecionar o nível de certas atividades que competem por recursos escassos necessários para desempenhá-las. A programação linear usa um modelo matemático para descrever o problema em questão. O adjetivo “linear” significa que é requerido que todas as funções matemáticas nestes modelos sejam funções lineares. A palavra ‘Programação’ aqui deve ser entendida como sinônimo de planejamento. Assim, a Programação Linear faz o planejamento de atividade para obter um resultado ‘ótimo’, isto é, um resultado que alcance a melhor meta especificada entre as alternativas viáveis. A Programação Linear é usada nos casos em que o problema é o de otimização, ou seja, o de maximizar ou o de minimizar (o lucro ou o custo) uma função linear sujeita as restrições que podem ter a forma de desigualdade. É uma técnica que informa qual seria a combinação ótima das atividades. Os componentes básicos do modelo de programação linear são: o objetivo, as restrições de recursos e as variáveis de decisão ou alternativas. **Objetivo** é conhecido como ‘Função Objetivo’, e é o que se deseja maximizar ou minimizar. No geral a função objetivo é a maximização da renda ou a minimização dos custos. **Restrições**: as restrições são os fatores limitantes do processo produtivo, sem os quais não haveria produção. **Alternativas**: são as atividades ou as várias possibilidades de produção, com as quais se irão atingir os objetivos. São as incógnitas do problema.” (Jesus, 2001, pág. 7-9)*

Outros conceitos importantes a serem abordados são **custo reduzido** (*reduced cost*), o **preço-sombra** (*shadow price* ou *dual price*) e a **folga ou excedente** (*slack or surplus*).

Segundo CÉSAR (2005), cada variável do problema original possui um determinado **custo reduzido** que significa: 1 – O total que o seu coeficiente melhora para que ela deixe de ser zero na solução ótima (ou seja, se tornar básica); 2 – Quanto a função objetivo irá piorar para que cada unidade que ela aumente a partir de zero.

Quanto ao **preço-sombra**, CÉSAR (2005) define: O preço-sombra indica o que está sendo pago por não ter mais unidades do recurso (maximização do lucro). Ou ainda, é o preço justo a ser pago para ter uma unidade extra do produto (minimização de custos).

A **folga** ou **excedente** é a quantidade de algumas variáveis x_i que excedem após a solução ótima.

Nem sempre nos modelos matemáticos de otimização as respostas geradas pelos mesmos são satisfatórias. Muitas vezes estes modelos são severamente criticados por não atender tal ou qual requisito, elementar do ponto de vista técnico

operacional do problema que está sendo abordado, mas inalcançável pelo modelo por uma razão muito simples: sequer foi informado ao mesmo que esse requisito deveria ser considerado. Deve ficar bem claro que se as respostas dadas pelos modelos forem absurdas, ou impraticáveis, o culpado sempre será o modelador e nunca o modelo (Arce, 2011, pág 6.)

3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado em uma propriedade rural com área total de 33 hectares, denominada Chácara Cedro, localizada no Distrito Federal-BR, a uma altitude média de 900 metros, precipitação anual de 1.500 milímetros, com uma temperatura média anual entre 15° C à 35° C. Os solos são latossolo vermelho-amarelo com manchas de gleissolos. É presente na propriedade áreas com muito cascalho (classe V), o que restringe o uso pleno do solo para a agricultura.

O proprietário desenvolve na chácara a criação de bovinos de corte, apenas na fase de engorda. Como o proprietário não tem como renda principal a atividade agropecuária, a chácara não está ainda se sustentando e o produtor percebeu que a atividade pecuária não se apresenta como a melhor opção para a chácara, desta maneira, a opção pela silvicultura vem ao encontro da necessidade de viabilizar a propriedade de maneira a não impedir o agricultor de desenvolver suas outras atividades econômicas na cidade, além do que, os solos, por estarem empobrecidos, suportam apenas um grupo restrito de culturas, incluindo o eucalipto.

Para a implantação da cultura do eucalipto na propriedade foi levantada a área dentro da chácara a ser feito o plantio com o GPS. Levantou-se e demarcou-se uma área total de 10 hectares a ser destinada para a silvicultura. Esta área era utilizada para a bovinocultura de corte e encontra-se relativamente degradada.

Os parâmetros utilizados para a recomendação de adubação do eucalipto têm como referência o trabalho feito por Sousa e Lobato (2004), Cerrado: correção do solo e adubação, da Embrapa Informações Tecnológicas.

O trabalho se baseia na análise de solo da propriedade, na interpretação desta análise para levantamento das demandas nutricionais do eucalipto e na averiguação dos adubos disponíveis no mercado local com seus custos e teores de nutrientes.

Em seguida, esses dados foram processados com a ajuda do software de Programação Linear Lindo®. O objetivo do uso da Programação Linear no trabalho é o de verificar o menor custo de adubação para a cultura do eucalipto a ser implantada na propriedade, levando-se em conta o preço de mercado dos adubos e seus teores de nutrientes.

A coleta da amostra de solo foi feita de acordo com a mesma bibliografia de Sousa e Lobato (2004). Considerou-se para tanto, que a área possui certa homogeneidade, o que possibilitou a retirada de apenas uma amostra completa.

As análises de solo laboratorial da amostra feita na camada de 0 a 20cm mostrou os seguintes resultados, conforme apresentados na tabela 1. Para maiores detalhes, no anexo encontra-se o laudo de análise emitido pelo laboratório.

Tabela 1: Resultado da análise de solo nas camadas de 0 a 20cm na propriedade em estudo, 2011.*

Medida	Unidade	0-20cm
pH	-	3,80
Matéria Orgânica	dag/kg	1,50
P _{resina}	mg/dm ³	5,40
K	mg/dm ³	50,00
Ca	cmol _c /dm ³	3,60
Mg	cmol _c /dm ³	0,70
CTC	cmol _c /dm ³	10,23
H + AL	cmol _c /dm ³	5,80
V%	%	43,30
S	mg/dm ³	5,00
Zn	mg/dm ³	1,20
B	mg/dm ³	0,22
Mn	mg/dm ³	40,90
Cu	mg/dm ³	1,40
Fe	mg/dm ³	103,00

*Laboratório Nativa – Formosa-GO

A variedade do eucalipto a ser implantada na propriedade será o *Eucalyptus urograndis*, por considerada uma variedade multifuncional para a produção de lenha e de estacas para cercas, sendo essa a destinação da produção que o produtor rural deseja, além do que, sabe-se do bom desenvolvimento da variedade nas condições do cerrado do Distrito Federal.

A demanda de adubação de plantio do Eucalipto no espaçamento 3,0 x 2,0 m (1.667 plantas/ha) segundo Sousa e Lobato (2004), considerando a camada de 0-20cm para calagem e nutrientes é a seguinte:

Calagem – deve-se elevar a saturação por bases a 25% e teor mínimo de cálcio de 1,5cmol_c/dm³ e Mg de 0,5cmol_c/dm³.

Gessagem – em caso de apresentar subsolo ácido (saturação de Al > 20% e/ou Ca < 0,5cmol_c/dm³) em alguma camada até a profundidade de 80cm).

Nitrogênio – 60kg/ha, não é necessário colocar no sulco, pode ser em cobertura, no entanto, para a facilitação do serviço de adubação será utilizado juntamente com os outros adubos no sulco.

Fósforo – Considerando o valor de 5,40 mg/dm³ pelo método da resina, trata-se de um teor de P no solo muito baixo, assim sendo, a dose de P a ser utilizada para a correção será de 150 kg/ha, pois trata-se de um solo com mais de 35% de argila (40,3%). Somado a essa dose corretiva, tem-se a dose por planta de 27g, ou seja, em um hectare será de 45kg (1.667 plantas x 0,027kg).

Potássio – Considerando o valor de 50,00mg/dm³ pelo método do extrator de Mehlich 1 e com a CTC > 4,0cmol_c/dm³ do laudo (10,23cmol_c/dm³), trata-se de um teor médio de K no solo, assim sendo, a dose de K a ser utilizada para a correção será de 45kg/ha, pois trata-se de um solo com mais de 35% de argila (40,3%). Somado a essa dose corretiva, tem-se a dose por planta de 8g, ou seja, em um hectare será de 13,3kg (1.667 plantas x 0,008kg).

Enxofre – O valor de 5,00mg/dm³ é considerado um teor médio, sendo assim, pode-se colocar a dose 50kg/ha do nutriente, para que possa ter efeito residual no decorrer dos anos, pois trata-se de uma cultura perene.

Zinco – O valor de 1,20mg/dm³ é considerado médio, não necessitando de adubação de correção, somente adubação de plantio, que será de 2,0kg/ha.

Cobre – O valor de 1,40mg/dm³ é considerado alto, não necessitando de adubação de correção, somente adubação de plantio, que será de 2,0kg/ha.

Boro – O valor de 0,22mg/dm³ é considerado médio, não necessitando de adubação de correção, somente adubação de plantio, que será de 1,0kg/ha.

Ferro – O valor de 103,00mg/dm³ é considerado alto, não necessitando de adubação.

Manganês – O valor de 40,90/dm³ é considerado alto, não necessitando de adubação.

Para a Matéria Orgânica, usualmente a prática dos engenheiros agrônomos na região para a recomendação da matéria orgânica é fazer com que a mesma se eleve a um mínimo de 2%, para propiciar melhores condições do solo, sendo assim, o teor de 1,5% da amostra está insuficiente.

Desta maneira a necessidade específica deste estudo de caso para a nutrição da cultura do Eucalipto na fase de plantio será a seguinte:

Calagem – não será necessária, pois a saturação por bases é de 43,30%, maior que os 25% mínimos e os teores de Ca e Mg estão adequados

Gessagem – como já foi realizada uma gessagem conjunta entre os produtores rurais da região há 2 anos devido à dificuldade da compra do gesso

agrícola, não será feita a gessagem neste ano. No próximo ano haverá outra compra conjunta que o produtor rural poderá participar. Sendo assim, a análise para a gessagem não será tratada neste plantio.

Nitrogênio – 60kg/ha;

Fósforo – 195kg/ha;

Potássio – 58,3kg/ha;

Enxofre – 50kg/ha;

Zinco – 2,0kg/ha;

Cobre – 2,0kg/ha;

Boro – 2,0kg/ha;

Ferro – não é necessária adubação;

Manganês – não é necessária adubação;

Matéria Orgânica – 2% - 1,5% = 0,5% → 1,5% * 2.000m³ (camada 0-20cm) = 10m³ → 5.000kg/ha

A Tabela 2 mostra resumidamente a necessidade de nutrientes na adubação de plantio para a cultura do Eucalipto.

Tabela 2: Necessidade de nutrientes e matéria orgânica para a adubação de plantio da cultura do Eucalipto em kg/ha na propriedade em estudo, 2011.

Nutriente	N	P(P ₂ O ₅)	K	S	Zn	Cu	B	M.O
Quantidade	60	195	58,3	50	2	2	1	5.000

Para averiguar o menor custo possível para a recomendação da adubação para a cultura do Eucalipto foi levantada a porcentagem de cada nutriente nos adubos disponíveis na região, bem como o seu preço. A tabela 3 mostra a porcentagem de nutrientes na composição dos adubos e o preço por quilo de cada adubo.

De posse dos dados de custo por quilo de adubo e a sua composição, tem-se a base para os cálculos da Programação Linear. A função objetivo é a minimização do custo de adubação, que por sua vez é a soma dos produtos da quantidade de cada adubo (variável x_n) com o preço por quilo de cada adubo (*valor numérico*) conforme Figura 1.

Ainda na Figura 1, têm-se as restrições à função objetivo, que são dadas na forma de inequações lineares, sendo os termos da esquerda, a soma dos produtos das quantidades dos adubos (variável x_n) pelo teor do nutriente de cada adubo (valor numérico).

Tabela 3: Porcentagem de nutrientes* dos adubos disponíveis no mercado regional do Distrito Federal-BR e o custo por quilo do adubo, 2011.

	Adubo	N %	P %	K%	S %	Zn %	Cu %	B %	R\$/kg**
x1	04-14-08	4	14	8	-	-	-	-	0,92
x2	04-30-16	4	30	16	-	-	-	-	1,38
x3	05-25-15	5	25	15	-	-	-	-	1,24
x4	10-10-10	10	10	10	-	-	-	-	0,96
x5	MAP	9	48	-	-	-	-	-	3,80
x6	Sulfato de amônio	20	-	-	22	-	-	-	0,98
x7	Superfosfato simples	-	18	-	10	-	-	-	0,96
x8	Uréia	44	-	-	-	-	-	-	1,36
x9	Ácido bórico	-	-	-	-	-	-	17	3,60
x10	Sulfato de potássio	-	-	48	17	-	-	-	2,94
x11	Termofosfato Yorin 1	-	17,5	-	-	0,55	0,05	0,1	1,04
x12	Sulfato de cobre	-	-	-	16	-	13	-	8,80
x13	Sulfato de zinco	-	-	-	16	20	-	-	2,08
x14	Cama de frango***	3,56	3,05	4,8	-	0,01	-	-	0,08
				0					
x15	Esterco de gado***	1,2	3,11	0,4	-	0,01	-	-	0,04

* Fonte: Sousa e Lobato (2004); Carneiro (2005).

** Fonte: Emater (2005).

*** Compostado, umidade a 25%.

```

min 0.92x1 + 1.38x2 + 1.24x3 + 0.96x4 + 3.80x5 + 0.98x6 + 0.96x7 +
1.36x8 + 3.60x9 + 2.94x10 + 1.04x11 + 8.80x12 + 2.08x13 + 0.08x14 + 0.04x15
st
nitrogen) 0.04x1 + 0.04x2 + 0.05x3 + 0.1x4 + 0.09x5 + 0.2x6 + 0.44x8 + 0.0356x14 + 0.012x15 >= 60
fósforo) 0.14x1 + 0.3x2 + 0.25x3 + 0.1x4 + 0.48x5 + 0.18x7 + 0.175x11 + 0.0305x14 + 0.0311x15 >= 195
potássio) 0.08x1 + 0.16x2 + 0.15x3 + 0.1x4 + 0.48x10 + 0.048x14 + 0.0041x15 >= 58.3
enxofre) 0.22x6 + 0.1x7 + 0.17x10 + 0.16x12 + 0.16x13 >= 50
zinco) 0.0055x11 + 0.2x13 + 0.0001x14 + 0.0001x15 = 2
cobre) 0.0005x11 + 0.13x12 = 2
boro) 0.17x9 + 0.001x11 = 1
mat_organica) x14 + x15 = 5000

```

Figura 1: Função objetivo e restrições para adubação de plantio da cultura do eucalipto na propriedade em estudo, 2011.

O termo do lado direito das restrições refere-se à menor quantidade necessária de cada nutriente. As quatro primeiras restrições são do nitrogênio, do fósforo, do potássio e do enxofre, que são dadas com sinal de menor ou igual. As três restrições seguintes são do zinco, do cobre e do boro respectivamente e são dadas em sinal de igualdade, pois, como são micronutrientes, a mínima quantidade a mais podem torná-los tóxicos às plantas. A última restrição é da matéria orgânica, onde o mínimo em quilos deverá ser maior que a soma dos adubos orgânicos disponíveis para o cálculo.

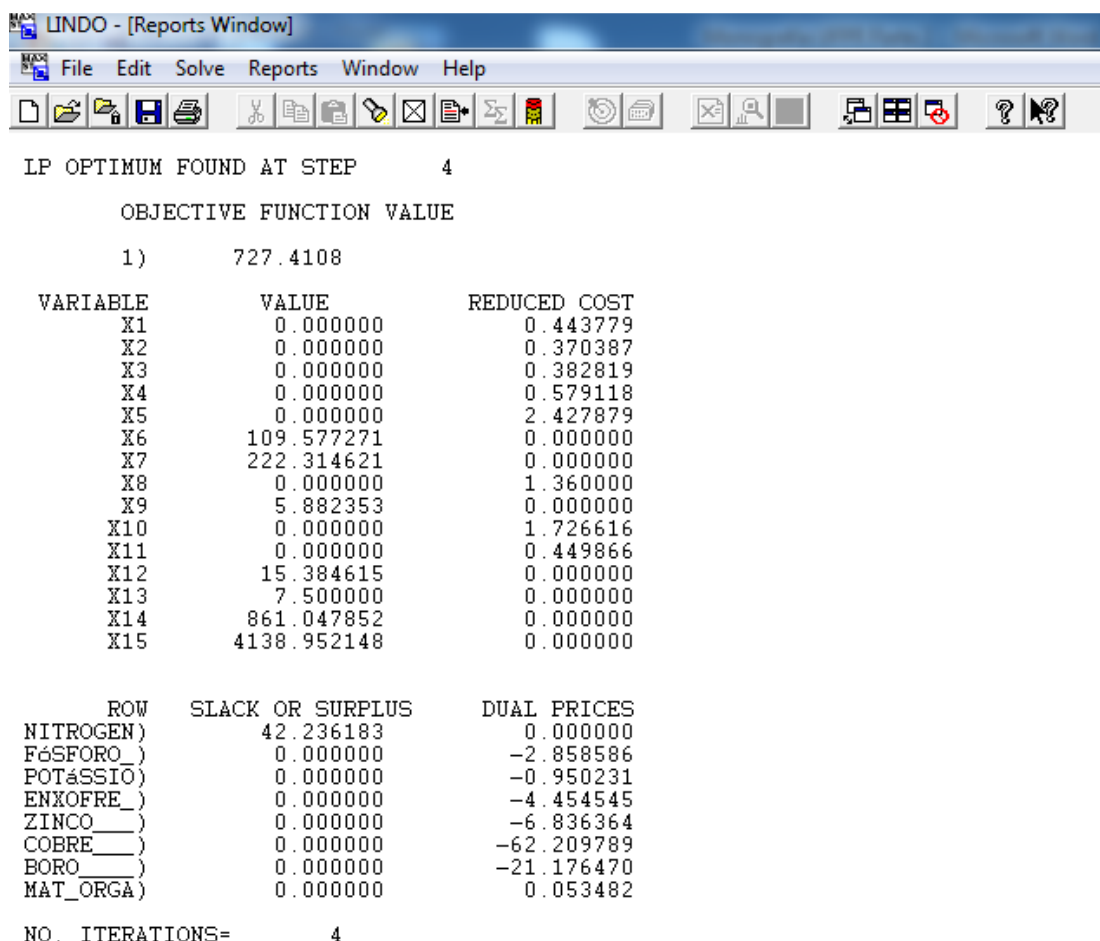
Como a demanda por matéria orgânica foi alta do ponto de vista operacional - 5.000kg, será considerado apenas o sinal de igualdade da restrição, pois sendo a

matéria orgânica comumente de custo reduzido, há uma tendência de haver excedente na quantidade final do adubo a ser aplicado, e quantidades superiores a 5.000kg/ha tem dificuldades de disponibilidade na região e na própria aplicação do adubo.

Os cálculos obtidos através do software Lindo[®] são mostrados no capítulo Resultados e Discussão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos com o auxílio do software Lindo® são apresentados na Figura 2. Nestes resultados objetivou-se especificamente obter o valor mínimo da função objetivo e as quantidades de cada adubo que serão utilizadas.



```

LP OPTIMUM FOUND AT STEP      4

      OBJECTIVE FUNCTION VALUE
    1)      727.4108

      VARIABLE            VALUE            REDUCED COST
      X1                0.000000            0.443779
      X2                0.000000            0.370387
      X3                0.000000            0.382819
      X4                0.000000            0.579118
      X5                0.000000            2.427879
      X6               109.577271            0.000000
      X7               222.314621            0.000000
      X8                0.000000            1.360000
      X9                5.882353            0.000000
      X10               0.000000            1.726616
      X11               0.000000            0.449866
      X12               15.384615            0.000000
      X13                7.500000            0.000000
      X14              861.047852            0.000000
      X15             4138.952148            0.000000

      ROW      SLACK OR SURPLUS      DUAL PRICES
  NITROGEN)      42.236183              0.000000
  FÓSFORO_)      0.000000             -2.858586
  POTÁSSIO_)     0.000000             -0.950231
  ENXOFRE_)     0.000000             -4.454545
  ZINCO_)       0.000000             -6.836364
  COBRE_)       0.000000             -62.209789
  BORO_)        0.000000             -21.176470
  MAT_ORGA)     0.000000              0.053482

  NO. ITERATIONS=      4
  
```

Figura 2: Resultados de menor custo para adubação de plantio na cultura do eucalipto e as quantidades de cada adubo a serem utilizadas na propriedade em estudo, 2011.

Como pode ser visto na Figura 2, o menor custo para a adubação de plantio do eucalipto na propriedade em estudo é de R\$ 727,41/ha, com a quantidade aproximada por hectare de 109,6kg/ha de MAP, 222,3kg/ha de sulfato de amônio, 5,9kg/ha de ácido bórico, 15,4 kg de sulfato de cobre, 7,5 kg de sulfato de zinco, 861,0kg/ha de cama de frango compostado e 4.139,03kg/ha de esterco de gado compostado.

Para as 10 hectares o custo total será de R\$ 7.274,10. As quantidades de adubos a serem utilizadas em toda a área serão:

Tabela 4: Quantidade de adubos a serem utilizados em toda a área.

Adubo	Quantidade/ha (kg)	Área total (ha)	Quantidade total (kg)
MAP	109,6	10	1.096,0
Sulfato de amônio	222,3	10	2.223,0
Ácido bórico	5,9	10	59,0
Sulfato de cobre	15,4	10	154,0
Sulfato de zinco	7,5	10	75,0
Cama de frango	861,1	10	8.611,0
Esterco de gado	4.139,0	10	41.390,0
TOTAL	5.360,8		53.608,0

De acordo com Sousa e Lobato (2004) não há incompatibilidade entre os adubos. O produtor pode efetuar a adubação no sulco de plantio próximo ao ponto em que as mudas de eucalipto serão plantadas. Para tanto, pode fazer uso de recipientes com as medidas de volume (quantidade) de cada adubo a ser utilizado.

Analisando os coeficientes de pós-otimização abordados por CÉSAR (2005), o item custo reduzido (*reduced cost*) mostra quanto os valores de cada variável devem ser reduzidos para que entrem na composição dos adubos a serem utilizados na solução ótima. Por exemplo, a variável x_7 , que se trata do adubo 04-14-08. O valor por quilo do referido adubo é de R\$ 0,92 na função objetivo original, neste caso, o 04-14-08 não entrou na composição dos adubos que serão utilizados. No entanto, se o preço do 04-14-08 reduzir para menos de R\$ 0,48 (R\$ 0,92 – R\$ 0,44), a solução ótima contemplará o adubo após um novo “*solver*”.

O custo reduzido (*reduced cost*) é uma importante informação para quando há oscilação de preços no mercado local. Serve para o produtor ficar atento caso haja redução no valor de algum adubo em determinado estabelecimento comercial.

O preço-sombra (*dual price*) mostra o preço justo a ser pago para ter uma unidade extra do produto. No referido resultado da otimização, tem-se como exemplo o fósforo, que para tê-lo na composição dos adubos a serem utilizados tem-se como preço o valor de R\$ 2,86.

Após a otimização, a folga ou excedente (*slack or surplus*) mostra que ainda sobram 42,24kg de nitrogênio além do necessário na solução ótima.

Cabe destacar que nos diversos trabalhos que tratam da programação linear, tem-se como exemplos a aplicação dessa ferramenta na utilização de adubos, esses mesmos cálculos são feitos de maneira analógica a trabalhos como o de Ehrlich (2004) e Hiroshi *et al* (2001).

Também há formas mais complexas da utilização da programação linear como no trabalho de Alencar (2009), onde o autor fez análises multiobjetivo,

baseada em programação linear, e comparativas para agriculturas de manejo convencional e orgânico em que utilizou-se da ferramenta para a otimização de receitas, utilização eficiente da água na agricultura e da adubação adequada na sua área geográfica de estudo.

Por fim, a resolução de problemas através da programação linear é vista como uma forma eficiente de se atingirem os objetivos da solução do problema, onde cada problema e solução são únicos cabendo a quem utilizar a ferramenta conseguir colocar todas as questões qualitativas e quantitativas sob uma forma matemática de construção da função objetivo e das restrições.

5 CONCLUSÃO

A melhor combinação de adubos que proporciona este custo é: o MAP, o sulfato de amônio, o ácido bórico, o sulfato de cobre, o sulfato de zinco, a cama de frango e o esterco de gado. Se recomendará ao produtor rural que aplique os adubos distribuídos no sulco de plantio.

Com essa combinação de adubos gera-se ainda uma folga ou excedente de nitrogênio.

O custo com adubação de plantio por hectare da área é de R\$ 727,41. Extrapolando para as 10ha é de R\$ 7.274,10.

Outras informações pós otimização mostram possibilidades de outros adubos entrarem na composição da adubação caso seus preços atinjam os valores apresentados no custo reduzido. Também há o preço-sombra como valor pago por cada nutriente para se tê-lo como unidade adicional na composição final dos adubos.

A utilização da ferramenta da programação linear para o cálculo da adubação mostra-se de extrema eficiência para a redução dos custos de produção em geral, pois ao diminuir os custos na adubação de plantio, permite ao produtor rural que o mesmo consiga ganhos de rentabilidade quando da época da colheita.

Vale lembrar que até mesmo em livros que abordam sobre o tema programação linear e que não são direcionados para a agricultura, tem-se como exemplos de aplicação a utilização dessa ferramenta no processo de escolha dos adubos a serem utilizados, mostrando que até mesmo autores que não sabem sobre adubação, reconhecem a excelente utilidade da programação linear com esse objetivo.

6 REFERÊNCIAS

- ALENCAR, V. C. **Análises multiobjetivo, baseada em programação linear, e comparativas para agriculturas de manejo convencional e orgânico.** Campina Grande: UFCG, 2009.
- ARCE, J. E. **Modelos Matemáticos de Otimização.** Curitiba: UFPR, 2011. 103p.
- CARNEIRO, R. G. **Noções de manejo do solo: apostila.** Brasília: Emater-DF, 2005. 15p.
- CASTRO, M. M. **Cultivo florestal.** Brasília: EMATER-DF, 2010. Folder.
- CÉSAR, A. Introdução à Pesquisa Operacional. São Luiz: UFMA, 2005. Disponível em: <http://www.deinf.ufma.br/~acmo/grad/PO_c03_v2005.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2011.
- EJRLICH, P. J. **Programação Linear e decisão.** São Paulo: FGV, 2004. 16p. Disponível em: <http://www.fgv.br/academico/professores/Pierre_J_Ehrlich/ProgramacaoLineareDecisao.pdf>. Acesso em: 29 set. 2011.
- EUCALIPTO. **Sistemas de Produção** – Embrapa Florestas. Disponível em: <www.cnpf.embrapa.br>. Acesso em: 15 dez. 2011.
- HIROSHI, S. N. BONIZIO, R. N. VICENTE, E. F. R. Uma aplicação da programação linear ao planejamento da produção rural com reciclagem de materiais. In: **Cruzando Fronteiras: Tendencias de Contabilidad Directiva para el Siglo XXI.** León, Espanha, 2001. Disponível em: <<http://www.intercostos.org/documentos/Trabajo137.pdf>>. Acesso em: 29 set. 2011.
- JESUS, J. C. S. **Programação linear e o software dhlp: manual do usuário e aplicações básicas na agropecuária.** Lavras: UFLA, 2001. 28p.
- MINAS GERAIS. **Cartilha O Eucalipto.** Belo Horizonte, ALMG, 2004. 35p.
- PEREIRA, J.C.D.; STURION, J.A.; HIGA, A.R.; HIGA, R.C.V.; SHIMIZU, J.Y. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil.** Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 113p. (Embrapa Florestas.Documentos, 38)
- PONDE, R. H. Madeira Serrada de Eucalipto: Desafios e Perspectivas. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DO EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1995, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IPT, 1995. 164 p. p. 50-58.
- SANTOS, A. F. coord. **Cultivo do Eucalipto: Sistemas de Produção** 2ª edição. Colombo: Embrapa Florestas, 2010. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Eucalipto/CultivodoEucalipto_2ed/>. Acesso em: 21 abr. 2011.
- SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416p.