

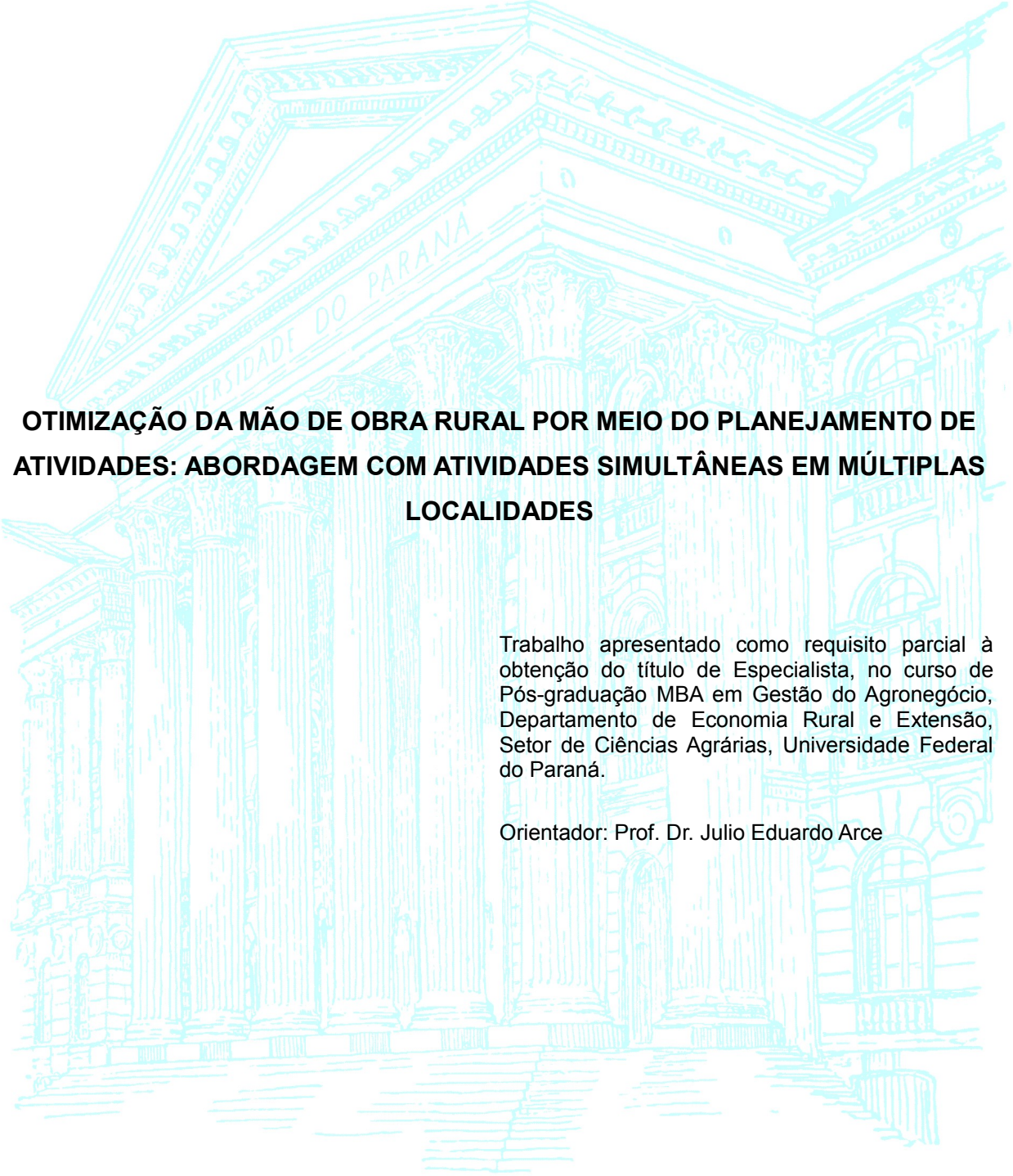
FERNANDA ALINE BOFF

**OTIMIZAÇÃO DA MÃO DE OBRA RURAL POR MEIO DO PLANEJAMENTO DE
ATIVIDADES: ABORDAGEM COM ATIVIDADES SIMULTÂNEAS EM MÚLTIPLAS
LOCALIDADES**

CURITIBA

2017

FERNANDA ALINE BOFF



**OTIMIZAÇÃO DA MÃO DE OBRA RURAL POR MEIO DO PLANEJAMENTO DE
ATIVIDADES: ABORDAGEM COM ATIVIDADES SIMULTÂNEAS EM MÚLTIPLAS
LOCALIDADES**

Trabalho apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Especialista, no curso de Pós-graduação MBA em Gestão do Agronegócio, Departamento de Economia Rural e Extensão, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Julio Eduardo Arce

CURITIBA

2017

RESUMO

Os custos com a mão de obra representam grande parte dos custos de algumas atividades rurais, e podem ser determinantes para seu sucesso. A má utilização desses recursos aumenta os custos e desperdícios, o que diminui o lucro e a competitividade da propriedade. Além disso, ao utilizar recursos humanos de forma não otimizada, pode-se causar seu esgotamento físico e mental, perda de rendimento, problemas de saúde e ociosidade. Diante do exposto, este trabalho visa a criação de um modelo para otimizar o uso da mão de obra, que suporte o planejamento de atividades ocorrendo simultaneamente em múltiplas localidades e seja genérico para ser usado em diversas situações e atividades rurais. Como resultado, obteve-se um modelo que otimiza o uso da mão de obra rural pela distribuição das tarefas, de forma a minimizar os custos com horas de trabalho complementar, realização de atividades em períodos não ideais e deslocamento dos trabalhadores. Sua aplicação em um caso real gerou economia de 12,48% com mão de obra e 16,24% no deslocamento dos funcionários, totalizando 13,95% em três dias. O modelo é bastante flexível e pode ser utilizado em diversas situações, desde que a quantidade de trabalhadores não ultrapasse a capacidade do veículo. No entanto, sua estrutura dividida em partes permite que elas possam ser usadas e adaptadas individualmente para outras situações, então o modelo pode ser adaptado para suportar outras capacidades de transporte. Por fim, conclui-se que o modelo criado atende aos objetivos propostos e pode ser usado com sucesso em diversas situações e combinações de funcionários e atividades. Para o suporte à múltiplas localidades, a quantidade de trabalhadores é limitada pela capacidade de transporte de apenas um veículo, mas o modelo pode ser adaptado para suportar novas capacidades e configurações de transporte.

Palavras-chave: distribuição de tarefas; planejamento de atividades; problema de transporte; redução de custos; pesquisa operacional.

ABSTRACT

Labor costs represent a great amount of some rural activities costs and can be determinant for its success. The misuse of these resources increases costs and waste, which decreases profit and competitiveness of rural properties. Besides, when human resources are used in a non-optimal way, it can cause physical and mental exhaustion, loss of productivity, health problems and idleness. Thus, this paper seeks the creation of a model to optimize the use of rural labor, which supports the planning of activities occurring simultaneously on multiple locations and is generic to be used on different situations and rural activities. As a result, a model that optimizes rural labor use based on the distribution of tasks in order to minimize the costs with extra work hours and workforce, execution of activities on non-optimal periods and workforce transportation was created. When applied to a real case, the model reduced costs with labor by 12.48% and costs with workforce transportation by 16.24%, resulting on 13.95% economy in three days. The model is very flexible and can be used on many situations, as long as the amount of workers is lower than the vehicle capacity. However, its structure is divided into parts and allow that each of them can be individually used and adapted for other situations, so the model can be adapted to support other transport capacities. In conclusion, the model meets the proposed goals and can be successfully used on diverse situations and combinations of labor and activities. When supporting multiple localities, the amount of workforce is limited to the passenger transport capacity of one vehicle, but the model can be adapted to support new capacities and transport configurations.

Keywords: tasks distribution; activities planning; transportation problem; costs reduction; operations research.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Distribuição das atividades observada.....	17
Figura 2: Distribuição das atividades pelo modelo.....	17

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Distribuição dos trabalhadores observada.....	17
Tabela 2: Distribuição dos trabalhadores pelo modelo.....	18
Tabela 3: Comparação de custos observados e otimizados.....	18

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	6
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO.....	6
1.2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	7
1.2.1 Mão de obra rural.....	7
1.2.2 Aproveitamento ótimo de recursos.....	7
1.2.3 Pesquisa operacional.....	8
1.3 OBJETIVOS.....	9
1.3.1 Objetivo geral.....	9
1.3.2 Objetivos específicos.....	9
1.4 JUSTIFICATIVA.....	10
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	11
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	13
3.1 MODELO MATEMÁTICO.....	14
3.2 APLICAÇÃO DO MODELO EM CASO REAL.....	16
4. CONCLUSÃO.....	20
REFERÊNCIAS.....	21

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A mão de obra rural no Brasil está cada vez mais cara e escassa, pois as novas gerações preferem encontrar oportunidades nas cidades a ficar no campo. Além disso, as políticas trabalhistas brasileiras não se adaptam à realidade rural e tornam os custos com a mão de obra ainda maiores. Encargos representam quase 50% do salário do funcionário e há também custos demissionais, ambos incidindo sobre os trabalhadores fixos e temporários. Para evitar custos demissionais e a disputa por trabalhadores temporários em época de safra, o produtor pode optar por contratar mais funcionários fixos, mesmo que haja o risco de ociosidade da mão de obra devido à sazonalidade das atividades rurais (DELEO; CARDOSO, 2015).

Algumas soluções que podem mitigar os problemas citados são bastante conhecidas, como a inserção de outras linhas de produtos e atividades para diminuir a ociosidade da mão de obra, e a automatização para reduzir a quantidade de mão de obra necessária. No entanto, elas podem não ser ideais para todas as situações e apresentam restrições. Por exemplo, para inserir outras atividades e produtos, deve-se considerar que os recursos já existentes devem ser aproveitados para que não sejam necessários maiores investimentos e que o foco da propriedade não seja perdido. Além disso, as atividades das culturas devem acontecer em janelas de tempo distintas. Já para a mecanização, algumas restrições são o alto investimento, existência e viabilidade da tecnologia necessária, e possibilidade de aplicação nas culturas trabalhadas.

Outra forma de minimizar os custos com a mão de obra, que pode ser usada em qualquer caso e não exige outros investimentos em recursos, infraestrutura e mecanização, é pela otimização do uso de suas horas de trabalho. Essa alternativa busca distribuir as atividades entre os trabalhadores, aproveitando melhor seu tempo de trabalho, suas habilidades individuais e reduzindo os custos com mão de obra.

1.2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.2.1 Mão de obra rural

A mão de obra rural está se tornando cada vez mais cara e escassa, pois a população ativa no campo está diminuindo. Segundo Godoy et al. (2010), a vida e o trabalho no campo são vistos de forma negativa e não apresentam atrativos para a população mais jovem, que prefere ir para as cidades em busca de melhores oportunidades, condições de vida, trabalho e lazer.

As políticas trabalhistas brasileiras também tornam a mão de obra mais cara, pois não se adaptam à realidade do campo. As atividades e a necessidade de mão de obra no meio rural são sazonais, porém, contratar funcionários temporários não é mais vantajoso do que a contratação de funcionários fixos. Para eles também há encargos que chegam a quase 50% do salário e a rescisão do contrato gera os custos demissionais. Portanto, no momento de contratar o funcionário temporário, já deve ser verificada a disponibilidade de caixa para a demissão ao final da safra. Por esse motivo, muitas vezes os produtores preferem não dispensar o funcionário, mesmo que isso cause a ociosidade da mão de obra durante o tempo em que não há atividades para a cultura (DELEO; CARDOSO, 2015).

A situação é ainda pior para culturas que necessitam de uso intensivo de mão de obra. Em alguns casos, o custo da mão de obra pode chegar a cerca de 30% dos custos operacionais (DELEO; CARDOSO, 2015) e ser determinante para o sucesso do sistema produtivo devido à sua grande participação nos custos de produção (PONCIANO et al, 2004).

Somado a isso, sabe-se que a alocação ineficiente desses recursos também pode acarretar em grandes prejuízos para o sistema produtivo (ITIKA, 2011; FERREIRA, 2003).

1.2.2 Aproveitamento ótimo de recursos

Segundo Itika (2011), recursos são escassos e seu aproveitamento ótimo pode ser um fator determinante para o sucesso de uma empresa, pois reduz gastos e aumenta resultados. Além disso, a utilização ineficiente dos recursos pode causar danos aos mesmos, como a redução do seu tempo útil, esgotamento e ociosidade.

Carvalho et al. (2014) afirmam que os recursos podem ser transformados em vantagens competitivas para as empresas, quando analisados do ponto de vista estratégico. Para o meio rural, os recursos humanos, organizacionais e físicos são os mais importantes estrategicamente. Os dois primeiros possuem grande correlação e podem ser difíceis de separar, pois ações e políticas empresariais dependem em grande parte das pessoas. Ambos são importantes por sua capacidade de promover as mudanças necessárias para que a propriedade obtenha sucesso. Já os recursos físicos são importantes devido à dependência do setor por características naturais dos locais em que atuam.

Ferreira (2003) explica que a alocação eficiente dos fatores de produção de uma propriedade, como terra, equipamentos, mão de obra e capital, são determinantes para o sucesso da atividade agrícola, pois maximizam os ganhos e a produtividade das atividades, e diminuem os desperdícios. Além disso, aponta que, para se manterem competitivos, os pequenos produtores precisam aumentar a quantidade de atividades realizadas na propriedade, e reduzir os custos e tempo de produção. Assim, há diversificação das fontes de renda e é possível aproveitar os mesmos recursos em diferentes atividades e espaços de tempo, diminuindo a ociosidade dos mesmos e maximizando seu aproveitamento.

Portanto, é bastante claro que, para aumentar a eficiência e a viabilidade das atividades rurais, é preciso que a utilização dos recursos disponíveis seja feita de forma ótima. Mais especificamente, a otimização do uso mão de obra rural é de suma importância devido à sua grande participação nos custos das propriedades, sua capacidade de interferir no sucesso das atividades rurais, sua aplicabilidade e importância para propriedades de todos os tamanhos, e por fim, pela grande complexidade envolvida no processo, principalmente ao aumentar o número de trabalhadores, atividades e locais.

1.2.3 Pesquisa operacional

A pesquisa operacional surgiu da aplicação de princípios lógicos, científicos e matemáticos na resolução de problemas militares, e logo percebeu-se que poderia também ser aplicada em outras áreas e problemas complexos. Com o aumento da utilização de computadores e da complexidade das operações empresariais, logo se tornou parte importante na tomada de decisões de empresas (AGRAWAL, 1967).

As técnicas de pesquisa operacional são as mais poderosas para auxiliar na tomada de decisão e são bastante úteis no meio rural, devido à complexidade dos problemas encontrados no campo, que dependem de vários fatores, como o clima, mercado, processos biológicos e perecibilidade dos produtos (AGRAWAL, 1967).

Decisões relacionadas ao que, quando, onde e em que quantidade produzir se tornam cada vez mais importantes para os produtores, pois resultam em maiores retornos econômicos. Além disso, com o uso de técnicas de pesquisa operacional, é possível otimizar o uso de recursos, aumentar os resultados financeiros, minimizar desperdícios e custos, comparar e verificar a viabilidade de alternativas, entre outros (FERREIRA, 2003).

Diversas são as definições de quais são os passos básicos para a resolução de um problema de pesquisa operacional, mas pode-se dizer que os passos abaixo são suficientes para chegar à solução de qualquer problema:

1. Identificação e formulação do problema;
2. Definição da função objetivo;
3. Definição das restrições;
4. Construção do modelo matemático que satisfaça as restrições;
5. Resolução do modelo.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Criar um modelo que otimize o uso da mão de obra rural pela distribuição de atividades, de forma a resultar no menor custo e melhor aproveitamento de recursos.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Coletar os dados de uma propriedade rural;
2. Levantar as variáveis e restrições importantes para o modelo;
3. Estudar as abordagens da literatura;
4. Propor um modelo matemático;
5. Testar o modelo matemático;
6. Aplicar o modelo matemático em um caso real.

1.4 JUSTIFICATIVA

Uma das dificuldades do setor primário se deve ao fato de ser tomador de preços, então, para maximizar os lucros e manter-se competitivo, é preciso diminuir custos, que são fatores que podem inviabilizar as atividades (RAINERI et al., 2015).

Em um estudo sobre fruticultura na região norte-fluminense, concluiu-se que a mão de obra é o segundo fator que mais interfere nos resultados financeiros e no sucesso de um sistema produtivo, atrás apenas do preço de venda do produto (PONCIANO et al, 2004). Isso acontece devido à necessidade de uso intensivo de mão de obra nas atividades frutícolas e pelo alto custo da mesma.

Ao analisar as observações de diversos entrevistados sobre escassez da mão de obra rural e seu alto custo descritos em Deleo e Cardoso (2015), e avaliar seu peso no sucesso de algumas atividades, percebe-se que o estudo do tema, assim como o planejamento e otimização do uso da mão de obra rural possuem grande importância.

Alguns trabalhos que abordam a otimização do uso da mão de obra no meio rural com base no planejamento ótimo de atividades foram encontrados, e neles está explícita a importância do estudo e a necessidade que suprem. Dois deles são direcionados especificamente ao planejamento da colheita, um com foco na laranja (CAIXETA-FILHO, 2006) e outro em uvas para vinho (FERRER et al., 2008). Outros trabalhos encontrados estudaram diferentes formas de abordar a questão do planejamento das atividades em fazendas dispersas geograficamente (GUAN et al., 2008; GUAN et al., 2009).

Com base nos estudos encontrados, pode-se afirmar que a otimização do uso da mão de obra rural é uma preocupação em diferentes partes do mundo e para diversas culturas. Portanto, o tema possui relevância internacional, pois a mão de obra é um fator que influencia diretamente a competitividade de empresas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Coletaram-se os dados de funcionários e diaristas, dos períodos de realização das atividades e dos pomares de uma empresa rural localizada em Arapoti-PR. No momento em que o levantamento dos dados foi realizado, a empresa contava com 26 funcionários registrados, 14 pomares e trabalhava com diversas variedades de frutas, como ameixa, pêssigo, caqui, goiaba, atemoia e uva.

Em seguida buscaram-se trabalhos abordando o problema da distribuição e planejamento de atividades para verificar as estratégias utilizadas. Em Ferrer et al. (2008) e González-Araya et al. (2015), os custos com a mão de obra e a penalidade por perda de qualidade são trabalhados da mesma forma, pelo cálculo dos custos de contratação e demissão para cada recurso, e a atribuição de valores maiores para a colheita efetuada em período não ótimo, respectivamente.

Para trabalhar os custos com os recursos, escolheu-se a abordagem de custo inicial (*start-up cost*), encontrada em Buongiorno e Gilles (2003). Nela, existe um valor fixo e uma parcela variável, na forma $f + v.x$, que são somente considerados caso haja uso do recurso, o que pode ser conseguido com uma variável auxiliar. Assim, pôde-se aplicar a ideia de custo fixo e variável, o primeiro sendo o custo das horas já contratadas para cada trabalhador, que deve ser descontado mesmo que não haja trabalho, e o segundo dependente da quantidade de trabalho extra necessário.

Os custos fixos despendidos com os funcionários não são considerados no modelo, devido ao fato de não apresentarem alteração no resultado final obtido pelo mesmo. No caso dos diaristas, há uma variável indicando quantas parcelas fixas devem ser contabilizadas, de acordo com o número de diaristas contratados no dia.

Essa forma de modelagem das horas permite que atividades sejam prioritariamente distribuídas aos funcionários registrados em suas horas normais e, caso haja necessidade de horas complementares, seja escolhida a melhor combinação entre horas extras e diaristas. Caso não haja mão de obra registrada, o modelo distribui as tarefas para diaristas. Com isso, o modelo representa com eficácia a situação encontrada no campo.

Para priorizar a realização das atividades nos períodos ótimos, utilizou-se a mesma estratégia trabalhada por Ferrer et al. (2008) e González-Araya et al. (2015).

Ela depende de um custo associado à realização de uma atividade em um período, que deve ser maior ou igual a zero.

O valor do custo de realização de cada atividade (no modelo, o parâmetro CAP_{ik}) deve ser escolhido com atenção, pois é ele que define se é preciso contratar horas de trabalho complementar para finalizar a atividade a tempo ou se ela pode ser estendida por mais jornadas de trabalho já contratadas. Se o valor for muito pequeno, as atividades podem ser colocadas para realização em períodos proibidos. No caso de o valor ser muito grande, o produtor poderia gastar com horas desnecessárias de trabalho complementar. Portanto, após definir o valor para cada atividade e período, deve-se verificar se o resultado condiz com as expectativas.

A parte que trata do custo de deslocamento dos trabalhadores pelos locais de trabalho utiliza a formulação MTZ para criar a melhor rota. Ferrer et al. (2008) usaram a mesma formulação para o desenvolvimento de seu modelo, que aborda também o deslocamento de equipamentos.

Adaptou-se a formulação MTZ de forma a obter as seguintes características, desejáveis no modelo criado: um local só deve ser visitado quando houver trabalho, existe um local (S) que deve ser a partida e a chegada de toda rota (mesmo que não haja trabalho em S), cada local pode ser visitado somente uma vez por dia, e todos os trabalhadores devem se deslocar juntos.

Para a criação e testes do modelo, utilizou-se o *software* Lingo 13.0, versão estendida, sob licença educacional presente no computador do laboratório do Departamento de Ciências Florestais (DECIF) da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Os testes foram realizados por partes, usando conjuntos de dados simples, baseados nos dados coletados, para que o funcionamento de cada parte fosse avaliado.

Primeiramente, criaram-se e testaram-se separadamente as partes referentes aos funcionários e diaristas, e verificou-se o cálculo correto dos custos. Então, juntaram-se as partes e verificou-se a distribuição das atividades entre as horas de diferentes categorias de trabalhadores. Em seguida, criou-se a priorização de atividades e testou-se no modelo combinado. Depois, criou-se o modelo referente aos custos de deslocamento, no qual realizaram-se diversos testes para avaliar sua eficiência econômica e se respeita as situações descritas anteriormente. E, por fim, juntaram-se todas as partes e testou-se o modelo completo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo trata todos os funcionários e diaristas como parte de um grupo e distribui o trabalho igualmente entre eles, pois o transporte dos trabalhadores deve ser feito no mesmo veículo ou em um conjunto de veículos, tanto no início e fim do expediente quanto entre os locais de trabalho. Além disso, a distribuição do trabalho na empresa estudada costuma ser feita em grupos para facilitar o acompanhamento das atividades pelos superiores.

A restrição 1 garante que haja um máximo de 10 horas de trabalho em um dia, compostas por 8 horas normais e 2 horas extras, considerando o tempo de deslocamento dos trabalhadores.

A restrição 2 faz o cálculo das horas extras contratadas em um dia para o grupo. Quando há horas extras, a variável $HECD_i$ contém a quantidade extra de trabalho, do contrário possui valor 0. Essa restrição também funciona corretamente nos casos em que o trabalho realizado fica abaixo do total de horas contratadas.

A restrição 3 estabelece um limite mínimo de trabalho que deve ser realizado em uma atividade. Para o caso estudado, o mínimo escolhido foi de 30 minutos, pois não compensa fazer o transporte e a orientação dos funcionários quando o tempo em uma atividade é inferior a isso.

A restrição 4 calcula quantos funcionários registrados estão trabalhando em cada dia e, a partir do valor encontrado, a restrição 5 limita o número máximo de diaristas que podem ser contratados para que não ultrapasse a capacidade máxima de transporte diário.

A restrição 6 assegura que o modelo realize a quantidade de trabalho necessária para cada atividade e, sem ela, o modelo não distribui trabalho, pois esse cenário gera o menor custo possível. A quantidade de trabalho realizada é calculada pelo número de horas trabalhadas na atividade multiplicado pela quantidade de recursos trabalhando no dia e por seu rendimento na atividade.

A restrição 7 é responsável por indicar se um local l deve ser visitado no dia i e assegura que uma localidade seja visitada somente se houver trabalho a ser realizado no dia. A restrição 8 controla a quantidade de locais que devem ser visitados em um dia e é necessária para a ordenação correta obtida pela formulação MTZ.

As restrições 9 e 10 fazem o controle de entrada e saída do local S , onde as rotas iniciam e terminam, para que não haja somente entrada ou saída e para que haja saída somente se for necessária a visita a outros locais. Da mesma forma, as restrições 11 e 12 controlam as entradas e saídas dos outros locais. Já a restrição 13 garante que não haja deslocamento de um local para ele mesmo.

As restrições 14, 15, 16 e 17 pertencem à formulação MTZ e foram alteradas para respeitar as características desejadas. A rota é definida por números entre 1 e PD_i , e os locais não visitados recebem ordem 0. A restrição 14 define a ordem do local S , sendo 1 caso haja trabalho e 0 do contrário. A ordem dos outros locais é limitada pelas restrições 15 e 16, e deve estar entre a ordem do local S e o número de paradas no dia. Por fim, a restrição 17 é a responsável por manter a ordenação correta e contínua entre os locais.

3.1 MODELO MATEMÁTICO

Função Objetivo:

$$\begin{aligned} \text{Min } & \sum_{i=1}^D CF_i + CDI_i + CA_i + CDE_i \\ CF_i &= \sum_{j=1}^F HECD_i * CHEF_j \\ CDI_i &= ND_i * 8 * CHD + HECD_i * CHED \\ CA_i &= \sum_{k=1}^A (CAP_{ik} * HTDA_{ik}) \\ CDE_i &= \left((ND_i + NF_i) * \sum_{l=1}^P \sum_{m=1}^P CD_{lm} * X_{ilm} \right) \end{aligned}$$

Restrições:

- 1) $\sum_{k=1}^A HTDA_{ik} + \sum_{l=1}^P \sum_{m=1}^P (TD_{lm} * X_{ilm}) \leq 10, \forall i$
- 2) $\sum_{k=1}^A HTDA_{ik} + \sum_{l=1}^P \sum_{m=1}^P (TD_{lm} * X_{ilm}) \leq 8 + HECD_i, \forall i$
- 3) $HTDA_{ik} \geq TTM * (HTDA_{ik} > 0), \forall i, k$
- 4) $NF_i = \sum_{j=1}^F DT_{ij}, \forall i$

- 5) $ND_i + NF_i \leq MR, \forall i$
- 6) $RA_k * \sum_{i=1}^D (HTDA_{ik} * (ND_i + NF_i)) = TA_k, \forall k$
- 7) $Y_{il} = \left(\sum_{k=1}^A HTDA_{ik} > 0 \right), \forall i, l, k/k \in l$
- 8) $PD_i = \sum_{l=1}^P Y_{il}, \forall i$
- 9) $\sum_{l=1}^P X_{iSl} = ((PD_i - Y_{iS}) > 0), \forall i$
- 10) $\sum_{l=1}^P X_{iSl} = ((PD_i - Y_{iS}) > 0), \forall i$
- 11) $\sum_{m=1}^P X_{ilm} = Y_{il}, \forall i, l/l \neq S, m/m \neq l$
- 12) $\sum_{l=1}^P X_{ilm} = Y_{il}, \forall i, m/m \neq S, l/l \neq m$
- 13) $X_{ill} = 0, \forall i, l$
- 14) $O_{iS} = Y_{iS}, \forall i$
- 15) $O_{il} \geq (O_{iS} + 1) * Y_{il}, \forall i, l/l \neq S$
- 16) $O_{il} \leq PD_i * Y_{il}, \forall i, l/l \neq S$
- 17) $O_{il} - O_{im} + (PD_i * X_{ilm}) \leq PD_i - Y_{il}, \forall i, l/l \neq S, m/m \neq S \wedge m \neq l$

Variáveis e parâmetros:

A	Quantidade de atividades;
CAP_{ik}	Custo de realização da atividade k no dia i;
CHD_j	Custo da hora normal de um diarista;
CD_{lm}	Custo de deslocamento do local l para o local m;
CFV_i	Custo fixo diário do veículo para transporte;
CHED	Custo da hora extra de um diarista;
$CHEF_j$	Custo da hora extra do funcionário j;
D	Quantidade de dias otimizados;
DT_{ij}	Indica se o funcionário j trabalhou no dia i;
F	Quantidade de funcionários;
$HECD_i$	Horas extras contratadas para o dia i;
$HTDA_{ik}$	Horas trabalhadas no dia i na atividade k;

MR	Número máximo de recursos que pode ser contratado em um dia;
ND _i	Número de diaristas contratados no dia i;
NF _i	Número de funcionários trabalhando no dia i;
O _{il}	Ordem de visitação do local l no dia i;
P	Quantidade de locais;
PD _i	Número de paradas da rota do dia i;
RA _k	Rendimento por hora de uma atividade k;
S	Local de chegada e saída das rotas;
TA _k	Total de trabalho a ser desenvolvido na atividade k;
TD _{lm}	Tempo de deslocamento do local l para o local m;
TTM	Tempo de trabalho mínimo;
X _{ilm}	Indica se houve deslocamento do local l para o local m no dia i;
Y _{il}	Indica se o local l deve ser visitado no dia i.

3.2 APLICAÇÃO DO MODELO EM CASO REAL

Coletaram-se os dados de três dias de trabalho, nos quais foram realizadas três atividades em três locais distintos, para verificar qual distribuição o modelo faria nas mesmas condições. Considerou-se o fato de que somente 7 horas do terceiro dia foram usadas e adaptou-se o modelo para que respeitasse esse limite.

As atividades observadas foram o raleio de 2,5 hectares de ameixa Fla (A1), 4 hectares de pêssigo Douradão (A2) e 1 hectare de ameixa Fortune (A3), realizadas por dois grupos de trabalhadores. Houve variação na quantidade de trabalhadores presentes nos grupos em cada dia, como pode ser visto na tabela 1, e as faltas foram representadas no modelo pelo parâmetro DT_{ik} . A distribuição das atividades entre os dias e os grupos de trabalhadores pode ser observada na figura 1.

A partir dos dados levantados, calculou-se o rendimento médio em cada atividade, representados no modelo pelo parâmetro RA_k , e resolveu-se o modelo. A distribuição otimizada das atividades, encontrada pelo modelo, pode ser observada na figura 2.

Como pode ser observado nas tabelas 1 e 2, o modelo distribuiu os mesmos funcionários, respeitando seus dias trabalhados, e substituiu duas diárias pelo pagamento de horas extras, gerando economia de 44,92 reais.

A tabela 3 compara os custos com trabalhadores e seu deslocamento obtidos pela observação da realização das atividades e por meio da otimização. A economia obtida com horas de trabalho contratadas foi de 12,48%, de 16,24% no deslocamento dos funcionários e de 13,95% no total.

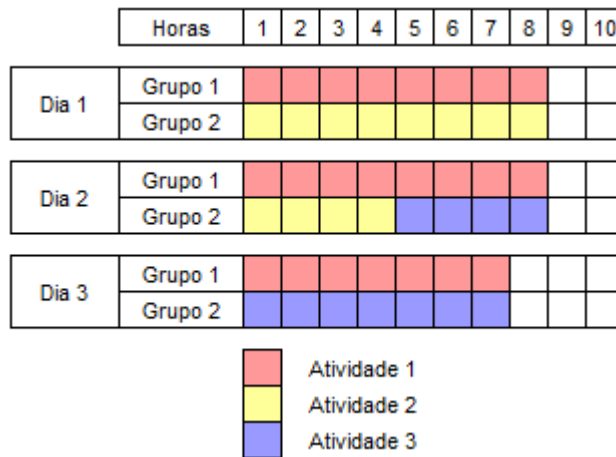


Figura 1: Distribuição das atividades observada

	Grupo 1		Grupo 2		Total	
	Funcionários	Diaristas	Funcionários	Diaristas	Funcionários	Diaristas
Dia 1	8	0	10	2	18	2
Dia 2	9	0	10	2	19	2
Dia 3	8	0	9	2	17	2

Tabela 1: Distribuição dos trabalhadores observada

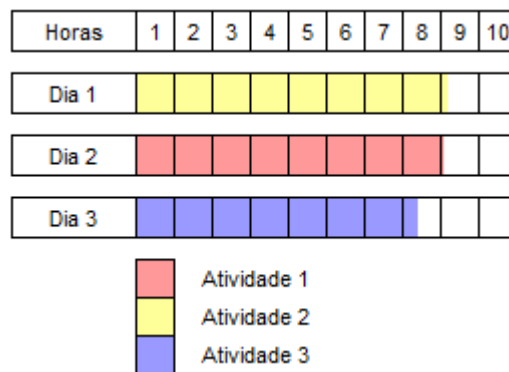


Figura 2: Distribuição das atividades pelo modelo

	Funcionários	Diaristas
Dia 1	18	0
Dia 2	19	4
Dia 3	17	0

Tabela 2: Distribuição dos trabalhadores pelo modelo

		Custos reais (R\$)	Custos otimizados (R\$)	
Dia 1	Horas extras funcionários	0,00	19,21	
	Diárias	120,00	0,00	
	Horas extras diaristas	0,00	0,00	
	Deslocamento trabalhadores	96,40	99,00	
Dia 2	Horas extras funcionários	0,00	47,32	
	Diárias	120,00	240,00	
	Horas extras diaristas	0,00	8,55	
	Deslocamento trabalhadores	99,84	87,40	
Dia 3	Horas extras funcionários	0,00	0,00	
	Diárias	120,00	0,00	
	Horas extras diaristas	0,00	0,00	
	Deslocamento trabalhadores	35,24	7,48	
Custos extras com trabalhadores		360,00	315,08	-12,48%
Custos com deslocamento		231,48	193,88	-16,24%
Total		591,48	508,96	-13,95%

Tabela 3: Comparação de custos observados e otimizados

O modelo de Ferrer et al. (2008), quando aplicado em um caso real, gerou economia de 16% nos custos com mão de obra, um valor bastante próximo do que foi encontrado neste trabalho, e 27% nos custos operacionais. Além disso, obteve-se alocação de funcionários mais eficiente e estável no período, e a redução de 60% no número de contratações.

A aplicação do modelo de González-Araya et al. (2015) em um caso real também gerou economia média de custos com mão de obra de 17%, provocada pela melhor distribuição dos trabalhadores nas atividades, e economia média de 16% nos custos totais.

O modelo criado, assim como os trabalhos encontrados na literatura, obteve redução de custos devido ao melhor aproveitamento da mão de obra e suas horas de trabalho. A economia de 13,95% envolve somente os recursos otimizados pelo

modelo, mas a distribuição obtida gera também economia de outros recursos, como a necessidade de um número menor de supervisores e de menos deslocamento dos mesmos entre os grupos. Além disso, o melhor acompanhamento das atividades permitido pela distribuição otimizada aumenta o potencial de faturamento no final da safra.

4. CONCLUSÃO

A realização de atividades sem considerar a melhor distribuição da mão de obra pode acarretar em ociosidade e desperdício de tempo e recursos, o que diminui a rentabilidade das atividades rurais e pode torná-las inviáveis. Definir a melhor ordem e distribuição das atividades não é uma tarefa trivial, e sua complexidade aumenta conforme novos recursos, atividades e locais são inseridos no problema.

O modelo construído aborda o problema em três frentes, considerando os tipos de trabalhadores, suas quantidades, custos e possibilidades de trabalho, seu deslocamento entre os locais das atividades e o período de realização das mesmas. Assim, aumenta-se o retorno econômico obtido com as atividades, através da diminuição de custos com funcionários e transporte, e pela realização de tarefas no momento em que dão o melhor resultado.

A aplicação do modelo em um cenário real resultou em economia de 12,48% com mão de obra e 16,24% no deslocamento dos funcionários, totalizando 13,95% em três dias. Essa redução nos custos é ocasionada pelo melhor aproveitamento das horas dos trabalhadores considerados nas atividades otimizadas e é ainda maior se considerar a economia com recursos não otimizados pelo modelo e processos bem realizados.

A criação das rotas e organização das atividades para todos os funcionários como se fossem um grande grupo, assim como sua dependência de um veículo para transporte foram o suficiente para otimizar um problema com poucos funcionários, mas deve ser melhorado para que possa abranger situações mais complexas. Isso poderia ser obtido com mudanças na parte de deslocamento e outras formulações para o transporte, com poucas modificações no restante do modelo.

REFERÊNCIAS

- AGRAWAL, R. C. **Applications of operations research techniques in agriculture**. 1967. 279 f. Dissertação (PhD in Agricultural Economics) - Iowa State University of Science and Technology, Ames, 1967.
- BUONGIORNO J.; GILLESS, M. J. K. **Decision Methods for Forest Resource Management**. Academic Press, 2003.
- CAIXETA-FILHO, J. V. Orange harvesting scheduling management: a case study. **Journal of the Operational Research Society**, v. 57, n. 6, p. 637-642, 2006.
- CARVALHO, D. M. de; PRÉVOT, F.; MACHADO, J. A. D. O uso da teoria da visão baseada em recursos em propriedades rurais: uma revisão sistemática da literatura. **Revista de Administração**, São Paulo, v. 49, n. 3, p. 506-518, jul./ago./set. 2014.
- DELEO, J. P. B.; CARDOSO, F. Mão de obra rural: Como produtores vêm gerenciando a mão de obra em tempos de pouca disponibilidade de trabalhadores e salários em alta?. **Revista Hortifruti Brasil**, Piracicaba, ano 13, n. 143, p. 10-25, mar. 2015. Disponível em: <<http://www.hfbrasil.org.br/br/revista/acessar/o-peso-da-mao-de-obra-no-setor-hortifruticola.aspx>>. Acesso em: 04 janeiro 2017.
- FERREIRA, V. R. **Análise de otimização e de viabilidade econômica da fruticultura como alternativa para a produção familiar nos municípios de Campos dos Goytacazes e São Francisco do Itabapoana - RJ**. 2003. 69 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2003.
- FERRER, J.-C.; MAC CAWLEY, A; MATURANA, S.; TOLOZA, S.; VERA, J. An optimization approach for scheduling wine grape harvest operations. **International Journal of Production Economics**, v. 112, n. 2, p. 985-99, 2008.
- GODOY, C. M. T.; PÉREZ, F. I. C.; WIZNIEWSKY, J. G.; GUEDES, A. C.; MORAES, C. DOS S. Juventude rural, envelhecimento e o papel da aposentadoria no meio rural: a realidade do município de Santa Rosa/RS. In: Congresso Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 48, 2010, Campo Grande. **Anais do...** Campo Grande: SOBER, 2010.
- GONZÁLEZ-ARAYA, M. C.; SOTO-SILVA, W. E.; ESPEJO, L. G. A. Harvest planning in apple orchards using an optimization model. In: PLÀ-ARAGONÉS, L. M. (Ed.) **Handbook of Operations Research in Agriculture and the Agri-Food Industry**, Volume 224. Nova York: Springer, 2015. p. 79-105.
- GUAN, S.; NAKAMURA, M.; SHIKANAI, T.; OKAZAKI, T. Hybrid Petri nets modeling for farm work flow. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 62, n. 2, p. 149-158, 2008.
- GUAN, S.; NAKAMURA, M.; SHIKANAI, T.; OKAZAKI, T. A two-phase metaheuristic for farm work scheduling. In: ZHAO, C.; LI, D. **Computer and Computing Technologies in Agriculture II**, Volume 3. Boston: Springer, 2009. p. 1999-2009.

ITIKA, J. S. **Fundamentals of human resource management**: emerging experiences from Africa. Leiden: African Studies Centre, 2011.

PONCIANO, N. J.; SOUZA, P. M. de; MATA, H. T. da C.; VIEIRA, J. R.; MORGADO, I. F. Análise de Viabilidade Econômica e de Risco da Fruticultura na Região Norte Fluminense. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Rio de Janeiro, v. 42, n. 4, p. 615-635, out/dez 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/resr/v42n4/24974.pdf>>. Acesso em: 19 janeiro 2017.

RAINERI, C.; ROJAS, O. A. O.; GAMEIRO, A. H. Custos de produção na agropecuária: da Teoria Econômica à aplicação no campo. **Empreendedorismo, Gestão e Negócios**, v. 4, n. 4, p. 194-211, Mar. 2015. Disponível em: <<http://www.fatece.edu.br/arquivos/arquivos%20revistas/empreendedorismo/volume4/10.pdf>>. Acesso em: 19 janeiro 2017.