

LEONARDO PEREIRA FARDIN

**UTILIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS PARA
LOCALIZAÇÃO ÓTIMA DE AERÓDROMOS EM FLORESTAS DE EUCALIPTO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de Magister Scientiae.

VIÇOSA

MINAS GERAIS – BRASIL

2015

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa

T

F221u Fardin, Leonardo Pereira, 1982-
2015 Utilização de um sistema de informações geográficas para
localização ótima de aeródromos em florestas de eucalipto /
Leonardo Pereira Fardin. – Viçosa, MG, 2015.
vii, 42f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Hélio Garcia Leite.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.38-42.

1. Florestas - Eucalipto. 2. Aeroportos - Localização.
3. Sistemas de informação geográfica. 4. Modelos matemáticos.
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia
Florestal. Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal.
II. Título.

CDD 22. ed. 634.973766

LEONARDO PEREIRA FARDIN

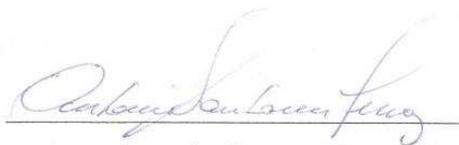
UTILIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS PARA
LOCALIZAÇÃO ÓTIMA DE AERÓDROMOS EM FLORESTAS DE EUCALIPTO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 12 de fevereiro de 2015.



Vicente Paulo Soares



Antonio Santana Ferraz



Helio Garcia Leite

(Orientador)

“O nosso desejo de superar algo vale pelo que somos diante das realizações. Mas somos sempre a favor daquele que sonha e realiza tudo de bom perante cada amanhecer e cada dia vivido”. (**Chiquinho da Floresta**).

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que de alguma forma contribuíram com o desenvolvimento deste trabalho, ao C.N.P.q pela disponibilidade da bolsa de pesquisa, ao departamento de engenharia florestal (DEF), pela estrutura e apoio, a Universidade Federal de Viçosa, pela excelência no ensino e ao Alexandre e equipe de coordenação da pós graduação pelo auxílio nos prazos e marcações.

Ao professor Helio Garcia Leite, pelos ensinamentos transmitidos ao longo da vida e pelo exemplo de pessoa.

Ao professor Charles, e ao amigo Daniel Binoti pela ajuda no desenvolvimento do trabalho e amizade.

Aos professores, Vicente Paulo Soares , Antonio Santana Ferraz e José Marinaldo Gleriani , pela disponibilidade, prestatividade e ajuda nas correções.

Ao amigo Carlos Araújo pela ajuda nas correções e valiosas sugestões.

Ao meu pai Francisco de Assis Fardin, maior incentivador aos estudos, obrigado pelo apoio e motivação diária.

Em memória de Carmem Lucia Pereira Fardin.

BIOGRAFIA

LEONARDO PEREIRA FARDIN, natural de Vitoria – ES, nascido em 28 de outubro de 1982, filho de Carmem Lucia Pereira Fardin e Francisco de Assis Fardin. Iniciou a graduação em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Viçosa, em março de 2001, concluindo o curso em setembro de 2006, em outubro de 2006 a outubro de 2012, trabalhou com planejamento e inventário florestal em uma empresa de reflorestamento, no período de 2011 a 2013 cursou a especialização em Gestão Florestal pela Universidade Federal do Parana, iniciou no programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais em nível de Mestrado em agosto de 2013 e submetendo a defesa da dissertação em 12 de Fevereiro de 2015.

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
1 - INTRODUÇÃO	1
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 - Localização de instalações	3
2.1.1 - Problemas de localização das p-medianas	5
2.1.2 - Problemas de localização de Máxima Cobertura.	7
2.1.3 - Problemas de localização com Cobertura de Conjuntos.	8
2.2 - Aviação agrícola no Brasil	10
2.3 - Fertilização de eucalipto.....	12
3 - MATERIAIS E MÉTODOS	14
3.1 - Caracterização da área de estudo	14
3.2 - Metodologia	15
3.3 - Materiais equipamentos e softwares utilizados.....	17
3.4 - Análise econômica.	18
4 - RESULTADOS	20
4.1 - Modelo de localização das p-medianas.	20
4.2 - Modelo de localização de máxima cobertura.	23
4.3 - Modelo de localização de cobertura de conjuntos.	29
4.4 - Análise econômica dos modelos de localização da p-medianas, máxima cobertura e cobertura de conjuntos.....	30
5 - DISCUSSÃO.....	34
6 - CONCLUSÕES.....	37
7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38

RESUMO

FARDIN, Leonardo Pereira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2015. **Utilização de um sistema de informações geográficas para localização ótima de aeródromos em florestas de eucalipto.** Orientador: Helio Garcia Leite. Coorientador: Carlos Antonio Alvares Soares Ribeiro.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o uso de modelos de localização de instalações associado a um sistema de informações geográficas para otimizar a localização de aeródromos visando a fertilização aérea de plantios clonais de eucalipto. Os modelos de localização foram testados em uma fazenda modelo com área de plantio clonal de eucalipto de 9.095,65 ha, localizados no município de Três lagoas no estado do Mato Grosso do Sul. Foram avaliados os modelos das p-medianas (Minimize Impedance), o de máxima cobertura (Maximize Coverage) e do modelo de cobertura de conjuntos (Minimize Facilities), todos não capacitados, disponível no software ArcGIS, com auxílio da caixa de ferramentas do Network Analyst, no módulo location-allocation. Para o modelo das p-medianas foram simulados cenários selecionando de um a cinco aeródromos, e calculadas as distâncias totais percorridas, de modo a minimizar a distância total ponderada dos talhões aos aeródromos. Para o modelo de máxima cobertura, foram estabelecidas quatro classes de máxima cobertura, 2.500, 5.000, 7.500, 10.000 m e simulados de um a seis aeródromos para o raio de cobertura de 2.500 m , e cinco para os demais, com o objetivo de maximizar os pontos de demanda cobertos, sendo calculada a distância total percorrida e a porcentagem dos pontos de demanda cobertos para cada cenário. Para o modelo de cobertura de conjuntos foi avaliado a quantidade de aeródromos necessários para cobrir toda a área de plantio variando a cobertura máxima nos mesmos valores descritos no modelo de máxima cobertura. Os três modelos foram eficientes para realizar a localização ótima dos aeródromos de acordo com o objetivo proposto. Com base na análise econômica dos modelos de localização, para a fazenda modelo em estudo, o número de aeródromos que resulta em um menor custo é igual a três para todos os três modelos de localização em estudo.

ABSTRACT

FARDIN, Leonardo Pereira, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2015. **Using a geographic information system for optimal location of aerodromes in eucalypt forests.** Adviser: Helio Garcia Leite. Co-adviser: Carlos Antonio Alvares Soares Ribeiro.

The objective of this study was to evaluate the use of a facility location models associated with a geographic information system to optimize the location of aerodromes aiming aerial fertilization of eucalyptus plantations. The location models were tested in a model farm with planting area of eucalyptus 9095.65 ha, located in the city of Três Lagoas in Mato Grosso do Sul. Were evaluated models of p-median (Minimize Impedance), the maximum coverage (Maximize coverage), and the set covering model (Minimize Facilities), all non-capacitated, available in ArcGIS software, with the aid of the Network Analyst toolbox on the location-allocation module. For the p-median model scenarios were simulated by selecting one to five aerodromes, calculation of total distances in order to minimize the total weighted distance of aerodromes stands. For the maximum coverage model were established four classes of maximum coverage, 2.500, 5.000, 7.500, 10.000 m and simulated one to five aerodromes in order to maximize the demand points covered in agreement with the established maximum coverage and is calculated total distance traveled and the percentage of demand points covered for each scenario. For the set covering model evaluated the amount necessary of aerodromes to cover all planting area by varying the maximum coverage in the same values described in the maximum coverage model. The three models were efficient in performing the great location of aerodromes according to the proposed objective. Based on the economic analysis of location models for the model farm under study, the number of aerodromes which results in a lower cost is equal to three for the three models location under study.

1- INTRODUÇÃO

A análise de localização em serviços de planejamento visando o desenvolvimento regional é bem conhecida. Uma das ferramentas para essa análise é a modelagem quantitativa de localização-alocação. Ela fornece uma estrutura para investigar os problemas de acessibilidade do serviço, comparando a qualidade (em termos de eficiência) de decisões locais anteriores e gerando alternativas ou sugerindo sistemas de serviços mais eficientes, ou ainda, melhorando os sistemas existentes (RAHMAN; SMITH, 2000).

O sucesso ou fracasso das instalações dos setores público e privado dependem em parte dos locais escolhidos para as instalações (DASKIN, 1995). A localização dessas instalações é um problema crítico do planejamento estratégico de muitas empresas públicas e privadas. Seja uma cadeia de varejo situando um novo mercado, um fabricante ao escolher onde posicionar um armazém, ou um planejador da cidade para seleção de locais de estações de bombeiros, os planejadores são frequentemente desafiados pelas decisões de alocação de recursos espaciais. Assim como as populações mudam, as tendências de mercado evoluem, e outros fatores ambientais mudam, a necessidade de mudar, expandir e adaptar instalações garante a evolução de novos desafios de planejamento (OWEN; DASKIN, 1998).

As principais características dos modelos de localização são sempre as mesmas: um espaço, incluindo uma métrica, os clientes cujas localizações no espaço dado são conhecidas, e as instalações cujas localizações têm que ser determinada de acordo com alguma função objetivo (REVELLE; EISELT; DASKIN, 2008).

A resolução de problemas de localização de instalações pode ser realizada por meio de sistemas de informações geográficas integrados a algoritmos de otimização ou simulação. O software ArcGIS utiliza métodos heurísticos para resolver o problema das p-medianas e os problemas de cobertura, estas heurísticas foram desenvolvidas por Densham e Rushton (1992) e por Teitz e Bart (1968), (ARAKAKI; LORENA, 2006).

Os custos operacionais de muitos sistemas são fortemente influenciados pela distância média entre as instalações e os clientes ou pontos de demanda. Por exemplo, em sistemas de entrega, os custos de transporte aumentam com o aumento da distância entre origem e destino do produto (DASKIN, 1995).

O problema das p-medianas e suas extensões são úteis para modelar muitas situações do mundo real, tais como a localização das plantas industriais, armazéns e instalações públicas (MLADENOVIC et al., 2007). Nesses problemas, encontram os locais de um

determinado número de instalações para minimizar a distância média entre os clientes e o serviço mais próximo (DASKIN, 1995).

Modelos de localização e alocação de instalações têm sido desenvolvidos para áreas públicas (Revelle, 1989; Toregas & Swain, 1971; Church & Roberts, 1983), como instalações de quartéis do corpo de bombeiro e hospitais, onde o principal objetivo é a maximização da cobertura da instalação e na localização de aterros sanitários (Eiselt, 2007; Eiselt & Marianov, 2014). Possíveis usos dos modelos de localização no setor florestal estão relacionados ao planejamento de locais para armazenamento de equipamentos, centros de distribuição de insumos e localização de aeródromos que suportem a operação de fertilização aérea.

No Brasil a fertilização de cobertura de povoamentos de eucalipto é realizada tradicionalmente por meio de máquinas e equipamentos terrestres. Porém quando a demanda por esta atividade se estende por grandes áreas em um curto período de tempo, é necessário o uso de técnicas mais eficientes para aplicação. A fertilização aérea pode ser uma alternativa eficiente e econômica para contornar esta situação.

Algumas heurísticas têm sido desenvolvidas para aumentar a capacidade de análise dos problemas de localização e alocação de instalações. Esses desenvolvimentos são importantes uma vez que nos problemas de grande dimensão muitas vezes há uma explosão combinatória de possibilidades, sendo necessário o emprego de heurísticas.

Dessa forma o objetivo do presente estudo foi avaliar os modelos de localização das p-medianas, o de máxima cobertura e o de cobertura de conjuntos, para a localização ótima de aeródromos visando à fertilização aérea de plantios clonais de eucalipto, de modo integrado a um sistema de informação geográfica.

2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1- Localização de instalações

Desde os anos 60, o problema de localização de instalações tem movido em muitas direções, proporcionando aos pesquisadores um amplo conjunto de problemas teóricos e práticos. Estes problemas permitem provar teoremas, desenvolver algoritmos, e analisar soluções alternativas para problemas práticos, e por causa das amplas oportunidades atuais de problemas de localização, o campo de localização ou alocação tem atraído pesquisadores de várias disciplinas (REVELLE, 1989).

O pioneiro na teoria de localização foi o autor Alfred Weber em 1929, publicou um trabalho onde o objetivo foi instalar uma indústria entre duas fontes e apenas um mercado, visando minimizar o custo de transporte. Porém, somente com os avanços da programação matemática e aumento da capacidade de processamento dos computadores que os problemas vem recebendo mais atenção dos pesquisadores de diversas áreas (REVELLE; SWAIN, 1970).

Nos últimos anos tem ocorrido uma considerável disseminação da pesquisa relacionada à definição e tipificação de problemas de localização bem como dos respectivos modelos para sua abordagem e resolução (DASKIN, 1995; EISELT; MARIANOV, 2011).

Embora o tamanho de problema que pode ser resolvido tenha aumentado com o avanço na capacidade de processamento dos computadores e desenvolvimento de algoritmos eficientes, métodos heurísticos ainda são utilizados com certa frequência. A primeira heurística para o problema incapacitado de p-mediana foi o algoritmo de busca local de Maranzana (1964). Entretanto de acordo com Rosing & Revelle & Schilling (1999), o procedimento proposto é extremamente rápido, mas a estratégia de busca é fraca. O fato é que a modelagem e otimização tem se mostrado eficazes em ajudar tomadores de decisão com problemas de localização e transporte (KELLEY; KUBY; SIERRA, 2013).

Owen & Daskin (1998), realizaram uma revisão sobre os métodos para solução de problemas de localização de instalações, dividindo em três principais classes, de acordo com a função objetiva requerida para aplicações em comum: os das Medians, Covering e Center ou Maxmin. Os autores comentam também sobre a locação dinâmica de instalações, onde o horizonte de planejamento é considerado para resolução de problemas de localização de instalações. Eles relataram até aquela data, os avanços na programação inteira, programação

dinâmica, programação estocástica, e técnicas de planejamento de cenários, que aumentaram claramente a capacidade de análise, modelagem e solução de importantes problemas estratégicos de localização de instalações.

Conforme Revelle & Eiselt (2005), existem quatro componentes que caracterizam os problemas de localização; (1) os clientes, que se presume já ser localizados em pontos ou em rotas, (2) as instalações que serão localizadas, (3) um espaço em que os clientes e as instalações estão localizados, e (4) uma métrica que indica distâncias, ou tempos, entre clientes e instalações. Os autores ainda comentam sobre o espaço de decisões de localização, problemas de localização no plano e problemas de localização em redes, além de outros modelos de localização discutidos na literatura.

Daskin (2008), dividiu os modelos de localização em quatro classes (Figura 1). Posteriormente, o autor descreveu a característica de cada grupo, com ênfase para os modelos discretos conforme a (Figura 2).

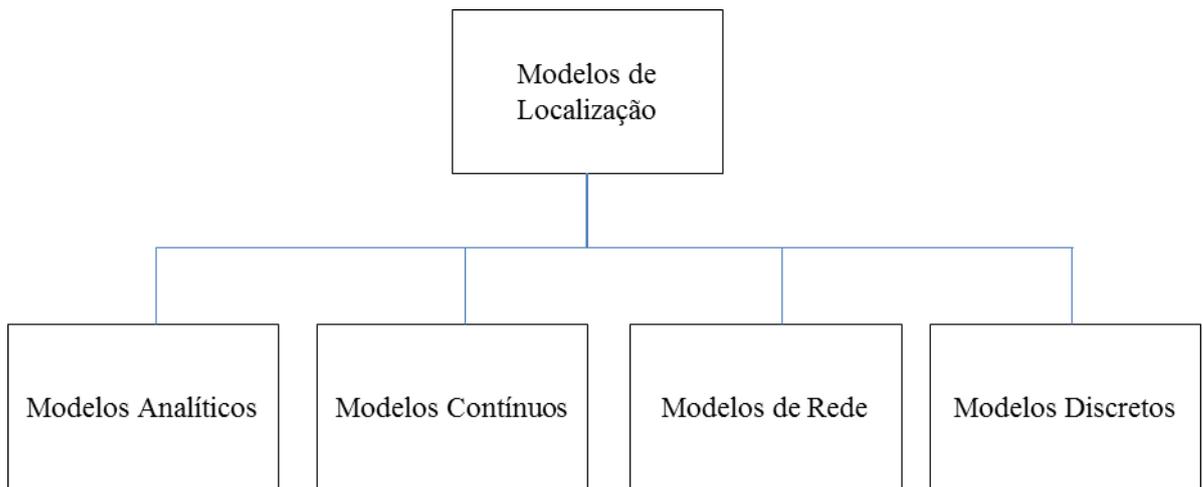


Figura 1 - Taxonomia dos modelos de localização (Fonte: DASKIN 2008).

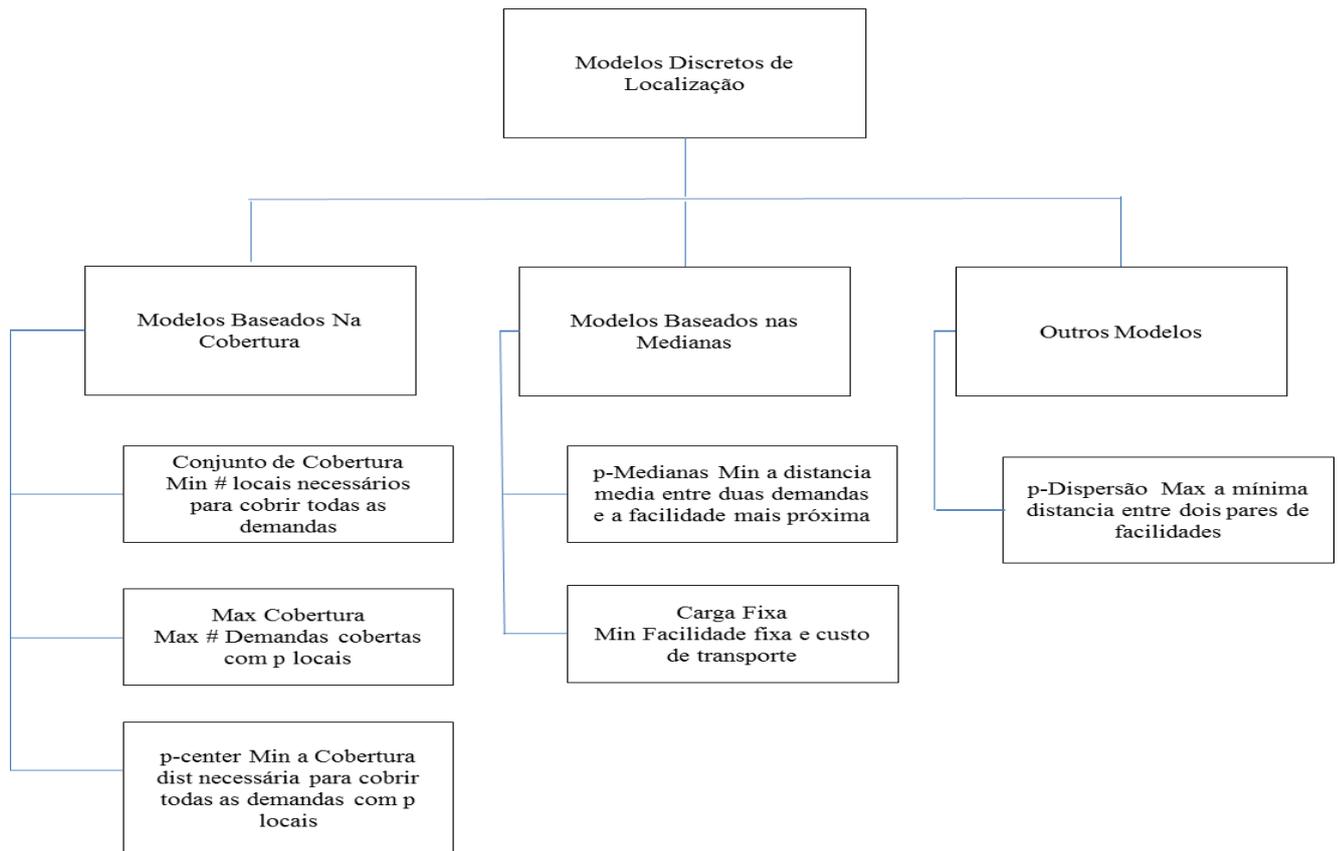


Figura 2 – Organização dos modelos discretos de localização (Fonte: DASKIN 2008).

ReVelle, Eiselt e Daskin (2008) afirmaram que os modelos discretos são, frequentemente, formulados como problema de programação inteira ou de programação inteira mista (Mixed Integer Problem), sendo, em sua maioria, NP-difíceis. Portanto, muitas vezes é necessário o emprego de heurísticas.

2.1.1- Problemas de localização das p-medianas

Nos modelos baseados em medianas o objetivo é minimizar a distância ponderada média entre um nó de demanda e a instalação para a qual a demanda é alocada. Eles são tipicamente utilizados no planejamento da distribuição de bens e serviços e deslocamento de população, onde minimizar o custo total de transporte é essencial (DASKIN, 2008).

Uma das medidas importantes da eficácia de uma determinada configuração de localização é a distância média ou tempo que é percorrido por aqueles que utilizam as instalações. Quanto menor for essa quantidade, mais acessível é o sistema para seus usuários (CHURCH; REVELLE, 1976).

O problema das p-medianas em redes, introduzido por Hakimi (1964), tem como objetivo encontrar a localização das instalações, de modo a minimizar a distância total ponderada demandada de viagens entre as demandas e as instalações; este problema pode ser formulado utilizando programação inteira (OWEN;DASKIN, 1998). Ainda segundo os autores, com o aumento da distância de viagem, a acessibilidade a instalações diminui, sendo que isto ocorre, por exemplo, no caso de bibliotecas, escolas e centros de serviços de emergência, para que a proximidade é desejável.

De acordo com Church & Reville (1976), dentro de um contexto de rede, o problema das p-medianas pode ser definido da seguinte forma: Minimizar a distância de viagem ponderada total associado com uma rede de nós de demanda por localizar p-instalações na rede (em vértices ou em nós), onde cada vértice de demanda é servido por sua facilidade mais próxima.

Reville & Swain (1970), formularam o problema das p-medianas com uso de programação inteira:

$$\text{Minimize} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_i d_{ij} X_{ij}$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = 1 \quad \forall i \tag{1}$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = p \tag{2}$$

$$X_{ij} = 0 \text{ ou } 1 \quad \forall i, j \tag{3}$$

Em que:

d_{ij} = distância de i para j;

a_i = o peso associado ao vértice de demanda i;

i = os valores associados aos vértices de demanda;

j = os valores associados às potenciais instalações;

$X_{ij} = 1$ se o i vértice de demanda esta assinalado a j instalação e 0 caso contrário

$X_{ij} \geq 0$, para todo i, j

2.1.2- Problemas de localização de Máxima Cobertura.

Os problemas de localização de máxima cobertura podem ser classificados como Location Set Covering Problem (LSCP) ou Maximal Covering Location Problem (MCLP). Em um MCLP clássico, a busca é pela localização de um número de instalações em uma rede, de tal forma que a população coberta é maximizada. Uma facilidade só irá englobar um vértice, se for criada em uma distância menor do que a cobertura máxima estabelecida para o vértice de demanda. Esta cobertura pré-definida é chamado de raio de cobertura e afeta diretamente a solução do problema (FAZEL ZARANDI; DAVARI; HADDAD SISAKHT, 2011).

O objetivo do problema de máxima cobertura (Maximize Coverage) é maximizar a quantidade de vértices de demanda cobertos dentro de uma distância ou tempo aceitável, localizando um número fixo de instalações (CHURCH; REVELLE, 1974). Definido um conjunto de vértices e arcos, a formulação matemática deste problema é:

$$\text{Maximize } z = \sum_{i \in I} a_i y_i$$

Sujeito a:

$$\sum_{j \in N_i} X_j \geq Y_i \quad \forall i \in I \quad (1)$$

$$\sum_{j \in J} X_j = p \quad (2)$$

$$X_j = (0,1) \quad \forall j \in J$$

$$Y_i = (0,1) \quad \forall i \in I$$

Em que:

I = Indica o conjunto de vértices que demandam cobertura;

J = Indica o conjunto de instalações;

S = Distância para além do qual o ponto de demanda é considerado não coberto (O valor de S pode ser diferente para cada ponto de demanda se desejável);

d_{ij} = a menor distância entre o vértice i para o vértice j;

$X_j = 1$ se a facilidade esta situada em j, 0 caso contrário;

$N_i = \{j \in J : d_{ij} \leq S\}$;

a_i = população atendida pela demanda no vértice i;

p = o numero de instalações a serem locadas.

N_i é o conjunto de locais de instalações elegíveis para oferecer cobertura para cada ponto de demanda i . Um vértice estará coberto quando a unidade mais próxima daquele vértice está a uma distância inferior ou igual a S . O objetivo é maximizar o número de pontos de demanda servidos ou cobertos, com um raio de distância desejável. Restrições do tipo (1) permitem que Y_i ser igual a 1 somente quando uma ou mais instalações são estabelecidas em locais do conjunto N_i (ou seja, uma ou mais instalações estão localizadas dentro das unidades S de distância de demanda ao ponto i). O número de instalações afetadas é restrita igual a p conforme a restrição em (2).

Schilling & Jayaraman & Barkhi (1993), realizaram uma revisão dos problemas de localização de cobertura onde classificam os modelos que utilizam o conceito de cobertura em duas categorias: (1) problema de cobertura de conjuntos, onde a cobertura é necessária e (2) Problema de localização de máxima cobertura, onde a cobertura é otimizada.

2.1.3- Problemas de localização com Cobertura de Conjuntos.

Segundo Eiselt & Marianov, (2011) o problema de localização de cobertura de conjuntos Set covering location problem (LSCP), foi introduzido por Hakimi (1965) e posteriormente formulado como problema de programação inteira por Toregas et al. (1971).

O objetivo no problema LSCP é posicionar o menor número de instalações necessárias para cobrir todos os pontos de demanda em unidades de S de distância ou tempo. O LSCP foi uma afirmação do início de resoluções de problemas de facilidades de locação em forma de programação matemática. As restrições exigem a cobertura de cada ponto i demanda; essa cobertura é conseguida pela presença de pelo menos uma unidade dentro de unidades S distância de viagem a partir do ponto i demanda. O problema pode ser resolvido facilmente como um problema de programação linear, em que as variáveis inteiras são simplesmente necessárias para serem não negativo (REVELLE, 1989). Toregas et al., (1971) foi o pioneiro neste modelo com um trabalho sobre a localização de serviços de emergência com restrições de distância e tempo cuja solução utilizou programação linear (CURRENT et al., 2004).

Schilling & Jayaraman & Barkhi (1993), definem o problema de localização de cobertura de conjuntos como uma rede com um conjunto de pontos de demanda I , e um conjunto de sites potenciais J , que estão interconectados por arcos em que a distância d_{ij} é definida para cada $i \in I$ e $j \in J$. A formulação matemática deste problema é:

Minimize $z = \sum_{i \in I} C_i X_j$

Sujeito a:

$$\sum_{j \in N_i} X_j \geq 1 \quad \forall i \in I \quad (1)$$

$$X_j \in (0,1) \quad \forall i \in I$$

Em que:

$X_j = 1$ se a instalação esta situada em j , 0 caso contrário ;

C_j = Custo de instalar a facilidade em j ;

$N_i = \{ j \mid d_{ij} \leq S \}$;

S = A máxima distância servida.

O objetivo é minimizar o custo de instalação das instalações, porém, frequentemente o custo fixo C_{ij} é assumido constante para todas instalações, então a função objetiva pode ser simplificada a: Minimize $\sum_{j \in J} X_j$, que procura o menor número de instalações necessárias para cobrir todos os pontos de demanda. A restrição (1) garantir pelo menos uma instalação está situado dentro de S unidades de distância de cada ponto de demanda i . O conjunto N_i contém todos os potenciais locais que se encontram dentro da distância de cobertura S do ponto de demanda i .

2.2– Aviação agrícola no Brasil

O início da aviação agrícola deu-se na Alemanha em 1911. O Senhor Alfred Zimmermann (Agente Florestal) controlou uma infestação de lagartas daquele país utilizando a aviação agrícola. E em de 1921 os EUA utilizaram pela primeira vez a aviação agrícola com a mesma finalidade no Estado de Ohio (SINDAG, 2014). As principais atividades exercidas pela aviação agrícola são: Aplicação de fertilizantes, herbicidas fungicidas e inseticidas (DA CUNHA et al., 2010); Semeadura; Povoamento de águas com peixes; Combate a incêndios (PEREIRA; PEREIRA; FERREIRA, 2007).

A aviação agrícola é regida pelo Decreto Lei 917, de 7 de setembro de 1969, e regulamentada pelo Decreto 86.765, de 22 de dezembro de 1981, podendo ser conduzida por pessoas físicas ou jurídicas que possuam certificado para esse tipo de operação. A emissão de registros das empresas e pilotos de aviação agrícola é de responsabilidade do Ministério da Agricultura (MAPA). A solicitação deve ser feita nas Superintendências Federais de Agricultura (SFA) nos estados ou Distrito Federal. Além disso, todos os registrados devem remeter, à superintendência de seu estado, relatórios mensais de suas atividades. (MAPA 2014).

Algumas vantagens das aplicações aéreas são; menor tempo de aplicação; menor quantidade de vinculantes; menor compactação do solo; possibilidade de menor aplicação do defensivo no momento certo; exige uma equipe técnica presente no momento da aplicação e possibilidade de aproveitar as condições climáticas para aplicações (SILVEIRA, 2004). Porém, segundo o autor, embora o Brasil tenha sua vocação agrícola e seja a sexta maior indústria aeronáutica do mundo, a aviação agrícola brasileira não tem sido desenvolvida e utilizada em nível compatível com sua necessidade. Conforme o autor, até 2004, ela estava estagnada por duas décadas, devido a altos custos operacionais, falta de apoio institucional, para pesquisa e treinamento, e inexistência de uma política de preços.

Em um relatório estatístico realizado junto ao Registro Aeronáutico Brasileiro (RAB, 2013), publicado em dezembro de 2013, a frota de aeronaves agrícolas brasileiras era composta de 1925 aeronaves entre regulares e irregulares, sendo que 1187 aeronaves são de fabricação nacional e 738 fabricadas no exterior, e estão distribuídas geograficamente de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1- Distribuição das aeronaves por estado

UF	AERONAVES	%
Acre	1	0.05%
Amazonas	4	0.21%
Espirito Santo	4	0.21%
Pernambuco	6	0.31%
Rio de Janeiro	6	0.31%
Pará	8	0.42%
Roraima	10	0.52%
Piauí	12	0.62%
Santa Catarina	12	0.62%
Distrito Federal	16	0.83%
Alagoas	19	0.99%
Rondonia	20	1.04%
Tocantins	27	1.40%
Maranhão	31	1.61%
Minas Gerais	65	3.38%
Bahia	92	4.78%
Mato Grosso do Sul	95	4.94%
Paraná	138	7.17%
Goiás	234	12.16%
São Paulo	268	13.92%
Rio Grande do Sul	411	21.35%
Mato Grosso	446	23.17%
Total	1925	100%

Fonte: RAB (2013)

De acordo com o Regulamento Brasileiro da Aviação Civil número 137, (ANAC, 2012), que descreve os requisitos e certificações necessárias para operações aeroagrícolas, às operações só poderão ter início quando forem apresentados os seguintes registros, com validade de cinco anos:

- Registro de estabelecimento no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).
- Autorização Operacional para condução de serviço aéreo especializado emitida pela ANAC.
- Certificado de Operador Aéreo válido.
- Especificações Operativas.

- Sistema de Gerenciamento de Segurança Operacional.

2.3- Fertilização de eucalipto

Os plantios florestais no Brasil são predominantemente realizados com espécies de Pinus e de Eucaliptus, sendo cerca de 1,56 milhões e 5,1 milhões de hectares plantados, respectivamente para cada gênero citado. A maior concentração de plantios florestais de eucalipto está nas regiões Sul e Sudeste do país (72,3%) em função da localização das principais unidades industriais dos segmentos de Celulose e Papel, Painéis de Madeira Industrializada, Siderurgia a Carvão Vegetal e Madeira Mecanicamente Processada (ABRAF, 2013).

Nos últimos anos, o plantio de eucalipto no Brasil se expandiu para regiões além daquelas tradicionais, como Sul e Sudeste, tornando necessária a obtenção de informações sobre a produção e demanda de nutrientes desses novos plantios (SANTANA et al.,2008). Segundo o autor, para definir, técnicas sustentáveis, de manejo a longo prazo, os engenheiros florestais precisam conhecer as relações entre a quantidade de nutrientes que é exportada e a biodisponibilidade dos mesmos no local de cultivo.

A fertilização de eucalipto é um assunto muito discutido e ainda persistem alguns questionamentos sobre como, quando e com o que adubar. São muitos os fatores que interferem no crescimento e desenvolvimento das plantas o que influencia diretamente na adubação, ressaltando alguns fatores como, fertilidade natural do solo, disponibilidade de água, exigências da espécie entre outros (SANTANA et al.,2008).

Segundo Okado (2010), a fertilização é a prática silvicultural mais comum e talvez de ação mais rápida que o manejador dispõe para melhorar a capacidade produtiva florestal e, com isso, aumentar a taxa de crescimento da floresta.

No Brasil, grande parte dos plantios de eucaliptos encontra-se em áreas de solo de baixa fertilidade, com baixa disponibilidade de fósforo (P), potássio (K) e de nitrogênio (N), e baixo teor de matéria orgânica, o que implica em baixo fornecimento de nutrientes à planta, refletindo na redução da produtividade, considerando que as espécies de eucaliptos, e principalmente os clones, são exigentes em nutrientes, a adubação torna-se essencial (GAZOLA, 2014).

A adubação de cobertura é a prática que visa o suprimento de nutrientes para o crescimento das plantas nos doze primeiros meses de vida, geralmente aplicado de forma

parcelada de duas a três aplicações considerando a fase de crescimento da planta. Nessa fase não há necessidade de aplicação de fósforo (SILVA, 2011).

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - Caracterização da área de estudo

Este estudo foi conduzido em uma área de 9.095,65 ha com povoamentos de eucalipto, no município de Três Lagoas, estado do Mato Grosso do Sul, (Figura 1). Nesses povoamentos são utilizados 200 kg de N:K por hectare sendo aplicados do terceiro ao quinto mês após o plantio, na atividade de adubação de cobertura. O modelo da aeronave utilizada é o AirTractor com fabricação no exterior, com uma capacidade de carga de 1.800 kg. As pistas de pouso e decolagem possuem um padrão de 1.200 m de comprimento por 40 m de largura, sempre em sentido norte/sul.

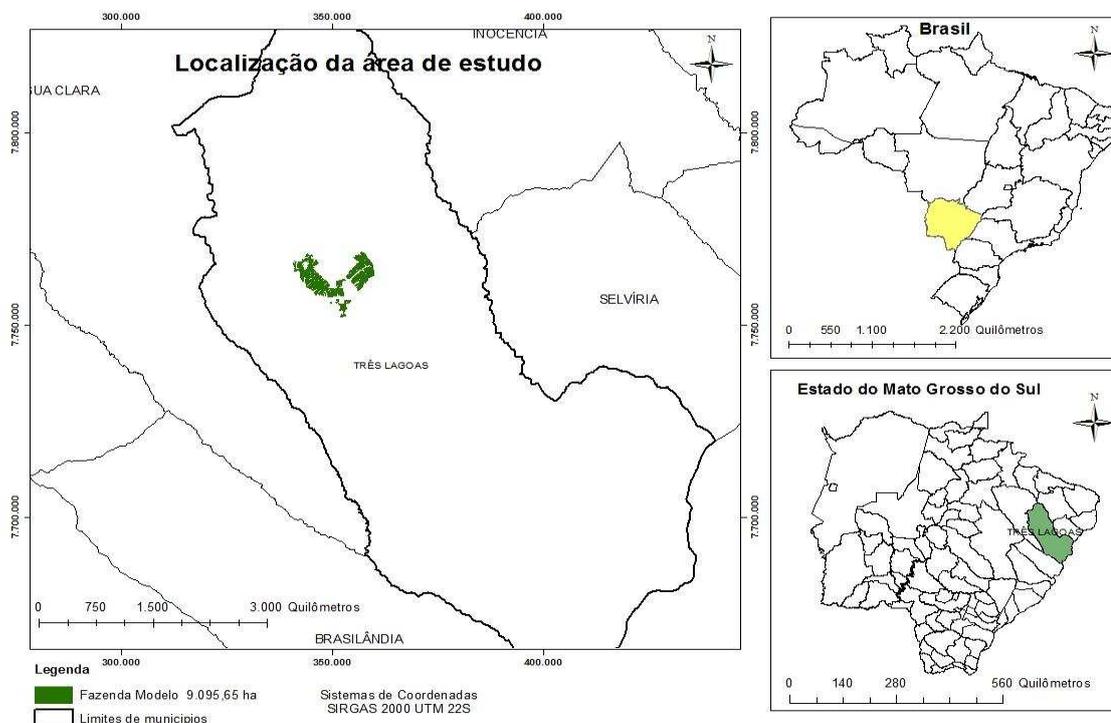


Figura 3 - Localização da área de estudo.

A unidade de relevo predominante na região é o planalto, o que favorece a atividade de fertilização aérea, ocorrendo também às planícies fluviais. A altitude é baixa e a fazenda modelo encontra-se entre as cotas de 250m e 500m. O clima da região onde está inserida a fazenda modelo é caracterizado como Clima Tropical Brasil Central (IBGE, 2015).

3.2 - Metodologia

O problema da localização ótima dos aeródromos foi modelado como um problema de localização alocação, sendo resolvido pelos modelos de Máxima Cobertura (Maximize Coverage), das p-medianas (Minimize Weighted Impedance p-median), e de cobertura de conjuntos (Minimize Facilities), utilizando o módulo Location-Allocation disponível na extensão Network Analyst do software ArcGIS 10.2.2. O algoritmo disponível no ArcGIS combina várias técnicas, adotando uma heurística de substituição de vértices e uma metaheurística de refino para alcançar uma boa solução, ótima ou próxima a ela (SULTANA; KUMAR, 2012; COSTA, 2014).

A heurística de substituição de vértices proposta por Teitz e Bart (1968) é usada como uma norma para comparar com outros métodos. Nessa heurística, certo padrão de p instalações é dado inicialmente. Em seguida, as instalações são movidas de forma iterativa, uma por uma, para locais vagos, com o objetivo de reduzir o custo total. Este processo de busca local é interrompido quando o movimento de qualquer mecanismo não reduz o valor da função objetivo (MLADENOVIC et al., 2007). A heurística proposta por Teitz e Bart (1968), e descrita por Eiselt & Marianov (2011) consiste em:

Passo 1 - escolher um subconjunto de instalações V_1 contendo p vértices (selecionados aleatoriamente).

Passo 2 – para cada vértice $v_j \in V_1$, encontrar seu subconjunto de clientes associados de vértices para a instalação mais próxima e calcular a distância total ponderada r_1 para a solução resultante.

Passo 3 – selecionar um vértice v_b não escolhido no conjunto inicial V_1 .

Passo 4 – substituir v_b para cada vértice $v_j \in V_1$ e computar a diferença para cada substituição.

Passo 5 – encontrar o vértice v_k , que quando substituído por v_b , reduza a distância total ponderada.

Passo 6 - se o vértice v_k puder ser encontrado, substituir v_b por v_k no subconjunto de instalações; rotule o subconjunto de V_2 e calcular o novo r_2 . Se nenhum vértice v_k atender a relação, reter o subconjunto V_1 .

Passo 7 – selecionar outro vértice, ainda não tentado, em complemento a V_1 , e repetir os passos 4 a 6.

Passo 8 – quando todos os vértices em complemento a V1 forem testados, defina um novo subconjunto resultante Vt como novo V1 e repetir o passo 2.

Passo 9 - quando um ciclo completo não resultar em redução no r, terminar o procedimento. A saída é a última solução obtida.

O solver de localização-alocação do software ArcGIS 10.2.2 começa por gerar uma matriz origem-destino dos custos de caminho mínimo entre todas as facilidades e ponto de demanda locais ao longo da rede. Em seguida, ele constrói uma versão editada da matriz de custo, por um processo conhecido como a edição Hillsman (1980). O solver de localização-alocação, em seguida, gera um conjunto de soluções aleatórias e aplica-se uma heurística de substituição de vértices proposta por Teitz & Bart (1968), criando um grupo de boas soluções. A metaheurística combina este grupo de boas soluções para criar melhores soluções. Quando nenhuma melhoria é possível, a metaheurística retorna a melhor solução encontrada. A combinação de uma matriz editada, uma heurística de substituição de vértices, e uma metaheurística de refinamento rapidamente produzem resultados quase ideais ESRI (2014).

As áreas com os plantios clonais de eucalipto foram representadas por polígonos, porém em um contexto de redes foi necessário definir pontos de demanda para traçar as rotas das instalações até estes pontos. Para isto, os pontos de demanda foram definidos como centroides da interseção entre as feições do tema **Plantio_comercial** e uma grade contendo polígonos de 300 x 300 m, criada com a ferramenta Fishnet, disponível no Arctoolbox. Assim, foi possível representar as áreas dos talhões em pontos que correspondem a 9 hectares de plantio, gerando um total de 1013 pontos de demanda para as 32 instalações.

Para construir as rotas dos pontos de demanda aos aeródromos, foi utilizada a função Spider, disponível no ArcToolbox. Esta função verifica as distâncias entre os vértices de demanda, e os pontos relativos aos centros ofertantes, e faz a ligação dos vértices de demanda aos centros selecionados para atendimento.

Os locais potenciais para instalação dos aeródromos foram definidos aleatoriamente nas áreas do plantio, totalizando 32 candidatas, criadas como pontos com o nome de **Aerodromos_candidatos**.

Posteriormente foram estabelecidos cenários para a instalação de um a cinco aeródromos, para o modelo das p-medianas. Para o modelo de máxima cobertura foram estabelecidos cenários variando a cobertura máxima em quatro classes, de 2.500, 5.000, 7.500, e 10.000 m e simulando de um a seis aeródromos para a máxima cobertura de 2.500 m e de um a cinco para os demais, sendo avaliados os pontos de demanda cobertos. Para o

modelo de cobertura e conjuntos foram estabelecidas quatro classes de máxima cobertura sendo 2.500 , 5.000, 7.500, e 10.000 m. A Figura 4 contém uma ilustração do problema em um contexto de redes.

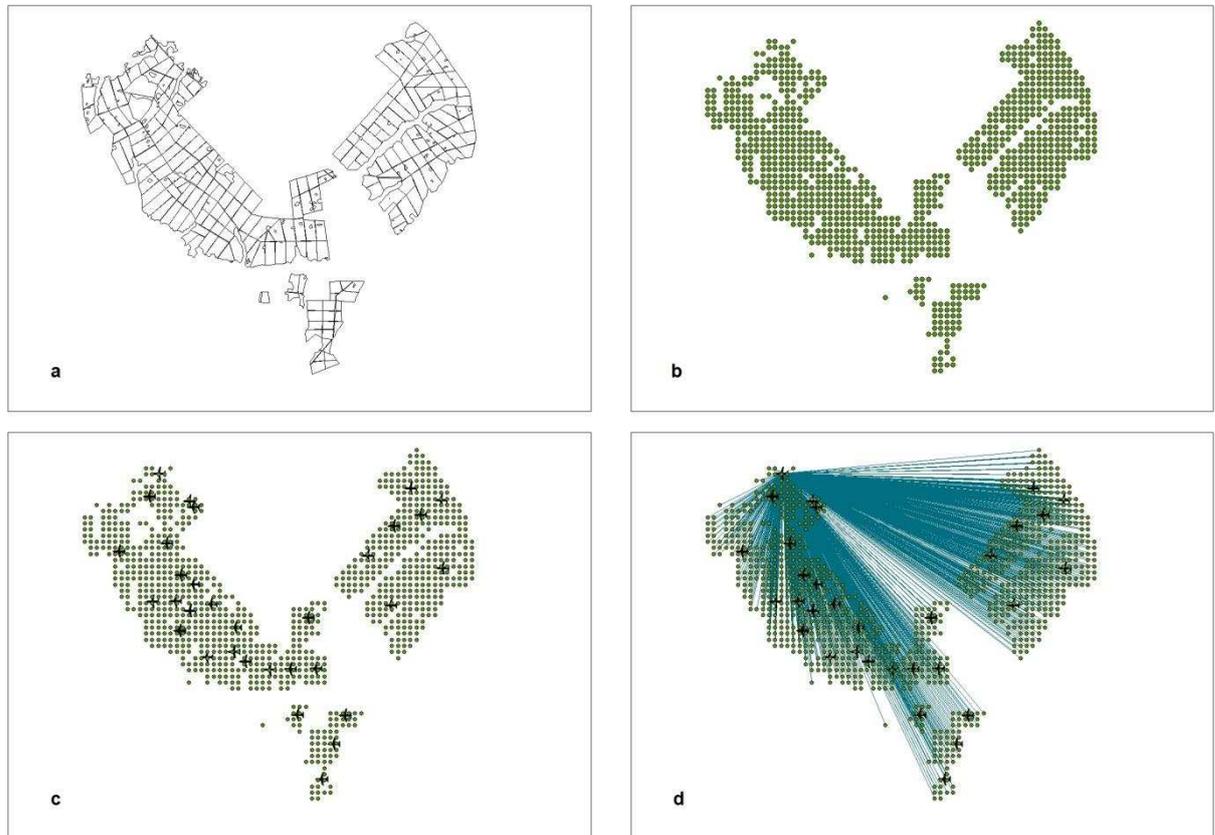


Figura 4 - a – polígonos referentes ao plantio clonal; b – pontos de demanda representando 9ha ; c – aeródromos candidatos ; d – rotas dos aeródromos candidatas aos pontos de demanda.

3.3 - Materiais equipamentos e softwares utilizados.

O Sistema de Informações Geográficas ArcGIS[®], versão 10.2, foi utilizado para realização do presente trabalho, os dados foram criados e armazenados em uma geobase, estrutura nativa do ArcGIS, e armazenadas em um Feature Dataset no sistema de coordenadas SIRGAS 2000 UTM 22S, as extensões Spider Tools, Data Management tools, Editing tools e Network Analyst foram utilizadas no processamento e estruturações das bases de dados, além das edições necessárias das feições.

O Microsoft Office Excel 2010 foi utilizado para resumir as informações e criação de tabelas dinâmicas para apresentação dos resultados em formas de tabela, para o

processamento dos dados utilizou se o notebook Sonyvaio com processador intel CORE i7, CPU 2.70GHZ, 4 gb de memória RAM , sistema operacional de 64 bits.

3.4 - Análise econômica.

Para avaliar economicamente os modelos de localização, foram calculados os custos de instalação dos aeródromos e os custos de adubação, os custos de instalação estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 – Descrição dos itens do custo de instalação de aeródromos.

Itens	Unidade
Largura	metros
Comprimento	metros
Área Total	ha
Preço do Terreno	R\$/ha
Custo de construção	R\$/ha
Taxa de juros	a.a%
Duração da estrada (anos)	ano
Depreciação	ha/ano
Juros sobre valor de construção	R\$/ha/ano
Juros sobre valor do terreno	R\$/ha/ano
Manutenção	R\$/ha/ano
Custo por ha	R\$/ha
Custo total	Por aeródromo

O custo por hectare da adubação de cobertura variou de acordo com o raio de cobertura dos aeródromos, que foi estabelecido em 4 classes , de 2.500, 5.000, 7.500, e 10.000 m de distância dos talhões.

O custo total da atividade foi composto da soma do custo de instalação dos aeródromos e o custo de adubação por hectare. O custo de instalação dos aeródromos foi considerado o mesmo em toda a área.

A análise econômica foi realizada para os modelos das p-medianas e de cobertura de conjuntos, para o modelo de localização de máxima cobertura foram realizadas as análises apenas nos resultados que obtiveram 100 por cento de cobertura dos pontos de demanda, excluindo os demais.

4 - RESULTADOS

4.1 - Modelo de localização das p-medianas.

Os resultados utilizando o modelo das p-medianas, para selecionar de um a cinco aeródromos, com as distâncias totais percorridas, distância média percorrida e as candidatas selecionadas, são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultados utilizando o modelo das p-medianas.

Pontos de Demanda	Número de Candidatas	Número de Instalações (p)	Cobertura Máxima	Candidatas Selecionadas	Distância total percorrida(m)	Distância média(m)	Pontos de Demanda Cobertos	% Pontos Cobertos
1.013	32	1	-	30	6.330.081,3	6.248,8	1.013	100
1.013	32	2	-	6,22	3.764.222,8	3.715,9	1.013	100
1.013	32	3	-	4,15,23	2.838.687,5	2.802,3	1.013	100
1.013	32	4	-	4,15,22,24	2.416.934,4	2.385,9	1.013	100
1.013	32	5	-	11,16,22,24,28	2.064.159,2	2.037,7	1.013	100

Analisando os resultados apresentados na Tabela 3, foi observada uma queda de 41% na distância total percorrida ao instalar dois aeródromos, 25% ao instalar três aeródromos, e de 15% ao se instalar quatro e cinco aeródromos. Esta análise ajuda o tomador de decisão a avaliar ganhos e perdas relacionadas com a instalação de mais um aeródromo. Com quatro ou cinco aeródromos a redução na distância total percorrida é igual em termos percentuais, o modelo exige a cobertura de 100% dos pontos de demanda, independente do número de aeródromos selecionados.

A Figura 5 demonstra a queda da distância total percorrida em função do número de aeródromos instalados pelo modelo das p-medianas.

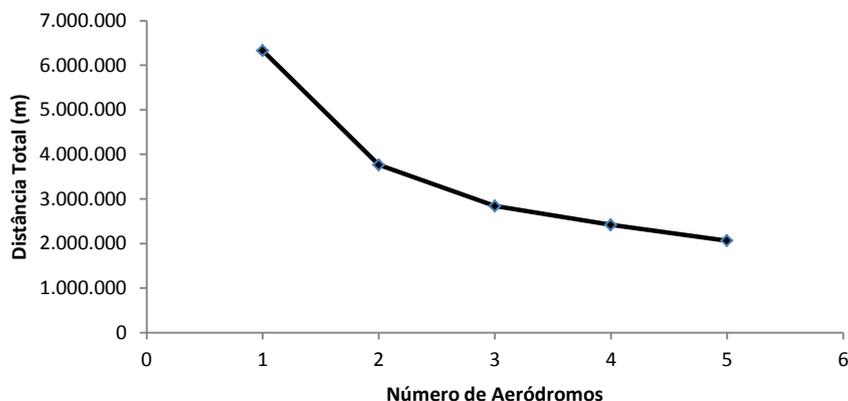


Figura 5 - Distância total de transporte em função do número de aeródromos, utilizando o modelo das p-medianas.

Uma queda mais acentuada desta distância ocorre ao instalar até três aeródromos, a partir daí a queda é mais lenta na distância total, se faz necessário uma análise econômica para determinar a relação custo benefício do acréscimo de um aeródromo, de uma maneira geral com o aumento do número de pistas há uma queda na distância total percorrida pela aeronave.

Os resultados das simulações da seleção de um a cinco aeródromos e sua respectiva distribuição espacial pelo modelo das p-medianas, são apresentados na Figura 6. Como o modelo não restringe uma cobertura máxima, as instalações selecionadas são aquelas que minimizam a soma da distância média ponderada da instalação aos pontos de demanda. O aeródromo candidato 30 foi selecionado somente quando p foi igual a um, não repetindo nas demais configurações, o aeródromo 22 foi selecionado com $p = 2, 4$ e 5 , mostrando que o mesmo está em uma localização adequada dentro do plantio, os aeródromos 4 e 15 para $p = 3$ e 4 e os aeródromos 22 e 24 para $p = 4$ e 5 , foram selecionados duas vezes, os demais aeródromos foram selecionados por uma vez.

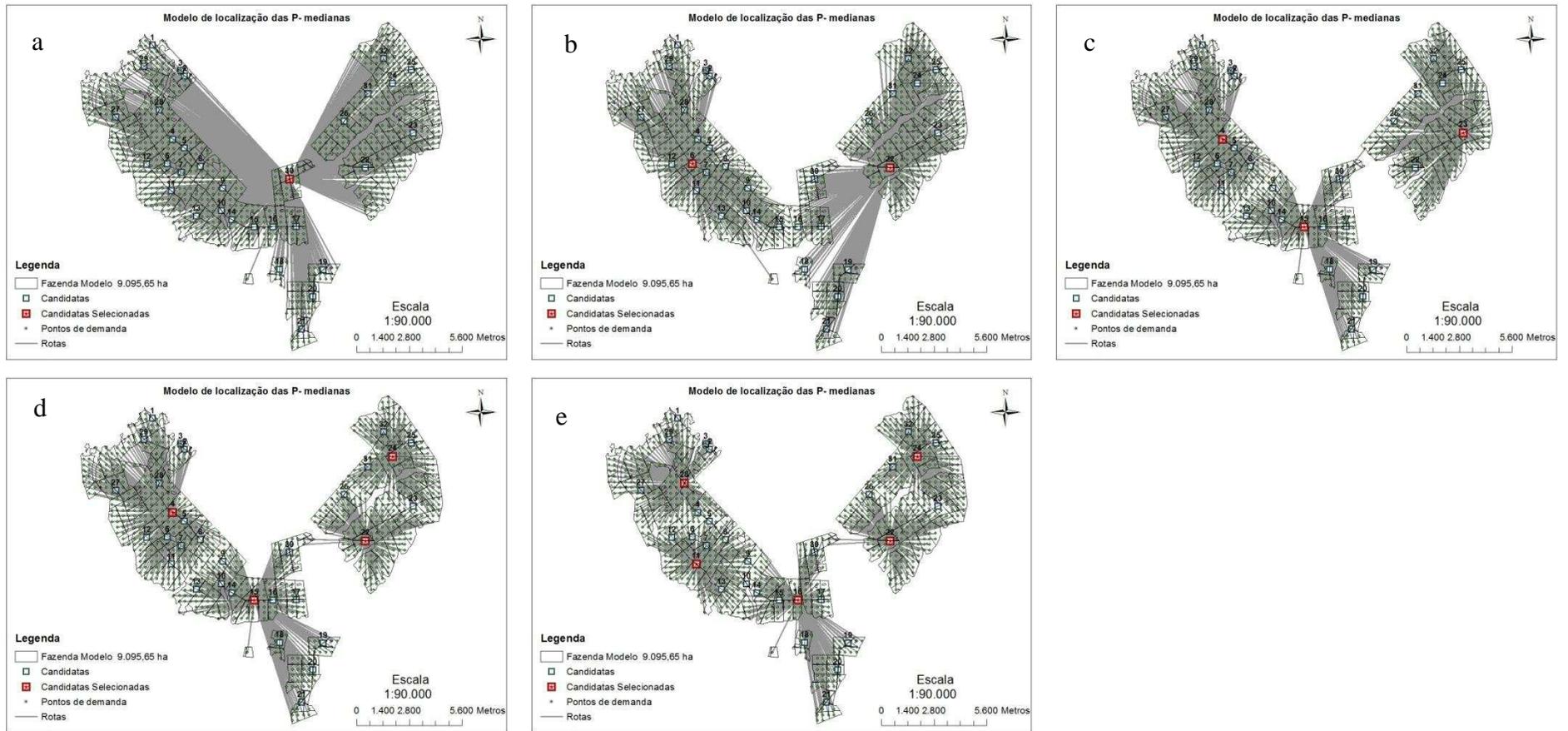


Figura 6 – Resultados das simulações para instalar de um a cinco aeródromos, pelo método das p-medianas representados pelas letras de a até e respectivamente.

4.2 - Modelo de localização de máxima cobertura.

A Tabela 4 a seguir mostra os resultados utilizando o modelo de localização de máxima cobertura.

Tabela 4 – Resultados utilizando o modelo de máxima cobertura com as simulações dos cenários de 2500, 5000, 7500, 10000 m, e a porcentagem de pontos cobertos.

Pontos de Demanda	Número de Candidatas	Número de Instalações (p)	Cobertura Máxima	Candidatas Selecionadas	Distância total Percorrida(m)	Distância média(m)	Pontos de Demanda Cobertos	% Pontos Cobertos
1013	32	1	2500	7	317.053,5	1.642,8	193	19,1
1013	32	2	2500	7,24	569.423,9	1.604,0	355	35,0
1013	32	3	2500	7,22,24	791.183,3	1.585,5	499	49,3
1013	32	4	2500	6,14,22,24	987.912,8	1.553,3	636	62,8
1013	32	5	2500	7,15,22,24,27	1.165.397,4	1.555,9	749	73,9
1013	32	6	2500	7,15,22,24,27,29	1.236.670,0	1.524,9	811	80,1
1013	32	1	5000	8	1.258.117,6	2.981,3	422	41,7
1013	32	2	5000	4,26	2.379.973,3	3.008,8	791	78,1
1013	32	3	5000	4,17,31	2.720.634,1	2.784,7	977	96,4
1013	32	4	5000	10,19,28,31	2.503.171,4	2.488,2	1006	99,3
1013	32	5	5000	10,20,22,24,28	2.101.249,7	2.074,3	1013	100,0
1013	32	1	7500	30	3.272.497,8	4.884,3	670	66,1
1013	32	2	7500	7,22	3.493.961,6	3.572,6	978	96,5
1013	32	3	7500	4,15,23	2.838.687,5	2.802,3	1013	100,0
1013	32	4	7500	4,15,22,24	2.416.934,4	2.385,9	1013	100,0
1013	32	5	7500	11,16,22,24,28	2.064.159,2	2.037,7	1013	100,0
1013	32	1	10000	30	5.693.563,9	5.968,1	954	94,2
1013	32	2	10000	9,23	3.948.635,3	3.898,0	1013	100,0
1013	32	3	10000	4,15,23	2.838.687,5	2.802,3	1013	100,0
1013	32	4	10000	4,15,22,24	2.416.934,4	2.385,9	1013	100,0
1013	32	5	10000	11,16,22,24,28	2.064.159,2	2.037,7	1013	100,0

Avaliando os resultados da Tabela 4, a cobertura máxima de 2.500 m, restringiu bastante a cobertura total da área. Utilizando seis aeródromos, a cobertura máxima dos vértices de demanda chegou a 80,1%%, não atingindo a cobertura total, ao contrário dos demais raios de cobertura que conseguiram cobrir todos os vértices de demanda. Para a cobertura máxima de 5.000 m, foram necessários cinco aeródromos, com 7.500 m, três aeródromos foram suficientes e com 10.000 m, apenas dois aeródromos para cobrir toda a área conforme visualizado na Figura 7. Analisando os maiores raios de cobertura máxima, 7.500 m e 10.000 m respectivamente, observa-se o mesmo resultado de distância total percorrida além das candidatas selecionadas a partir do terceiro aeródromo. A menor

distância total percorrida foi observada em dois cenários, ambos com 5 aeródromos e cobertura máxima de 7.500 m e 10.000 m.

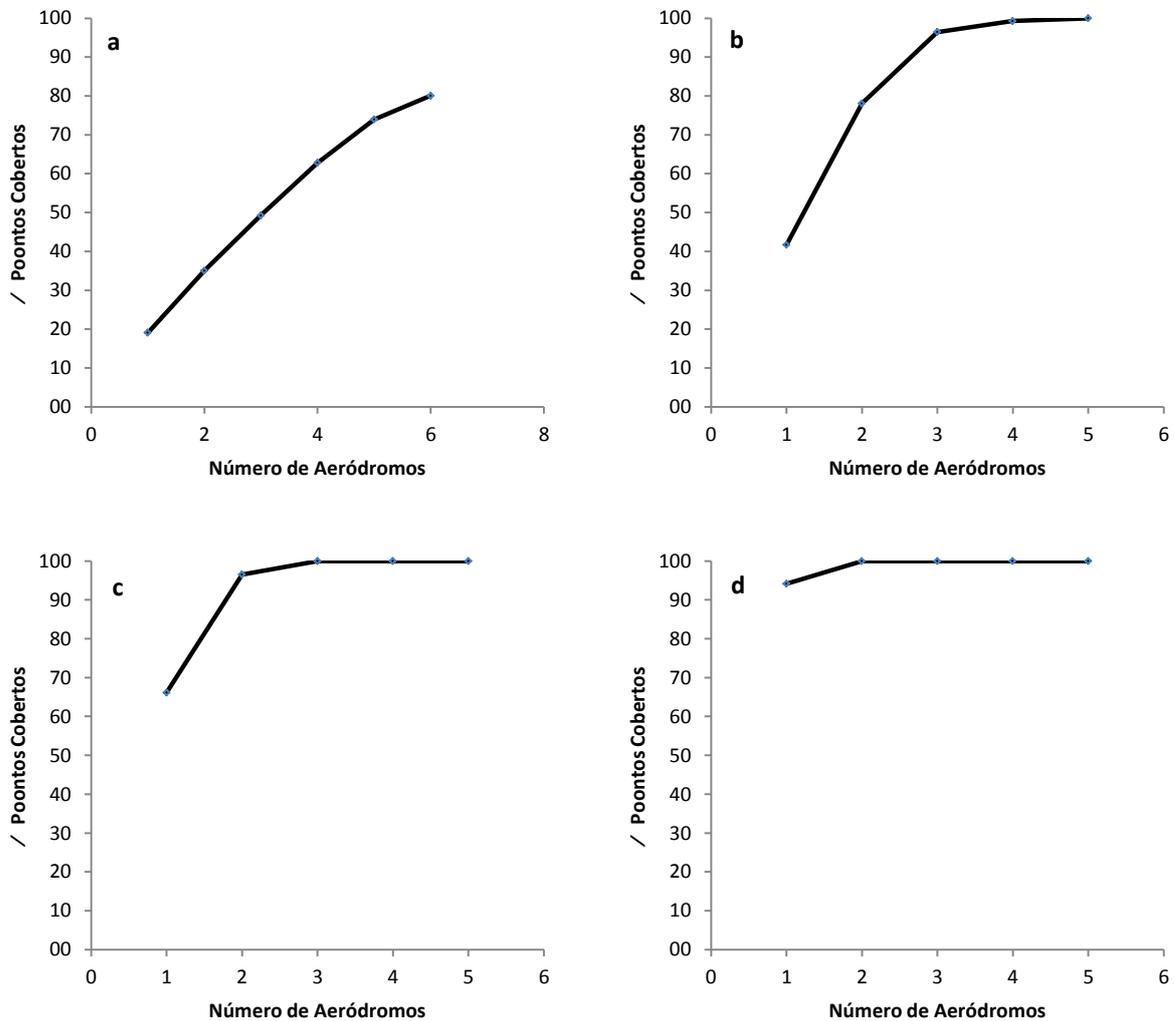


Figura 7 – Porcentagem de pontos cobertos com o raio de cobertura máxima variando em quatro classes de, 2500, 5000, 7500, 10000 m, denominados a, b, c e d, respectivamente, e o número de aeródromos.

Nas Figuras 8 a 11 podem ser visualizados os resultados das candidatas selecionadas para cada raio de máxima cobertura estabelecido anteriormente, ressaltando que o método não exige cobertura total dos pontos, mas a máxima cobertura com um raio máximo estabelecido.

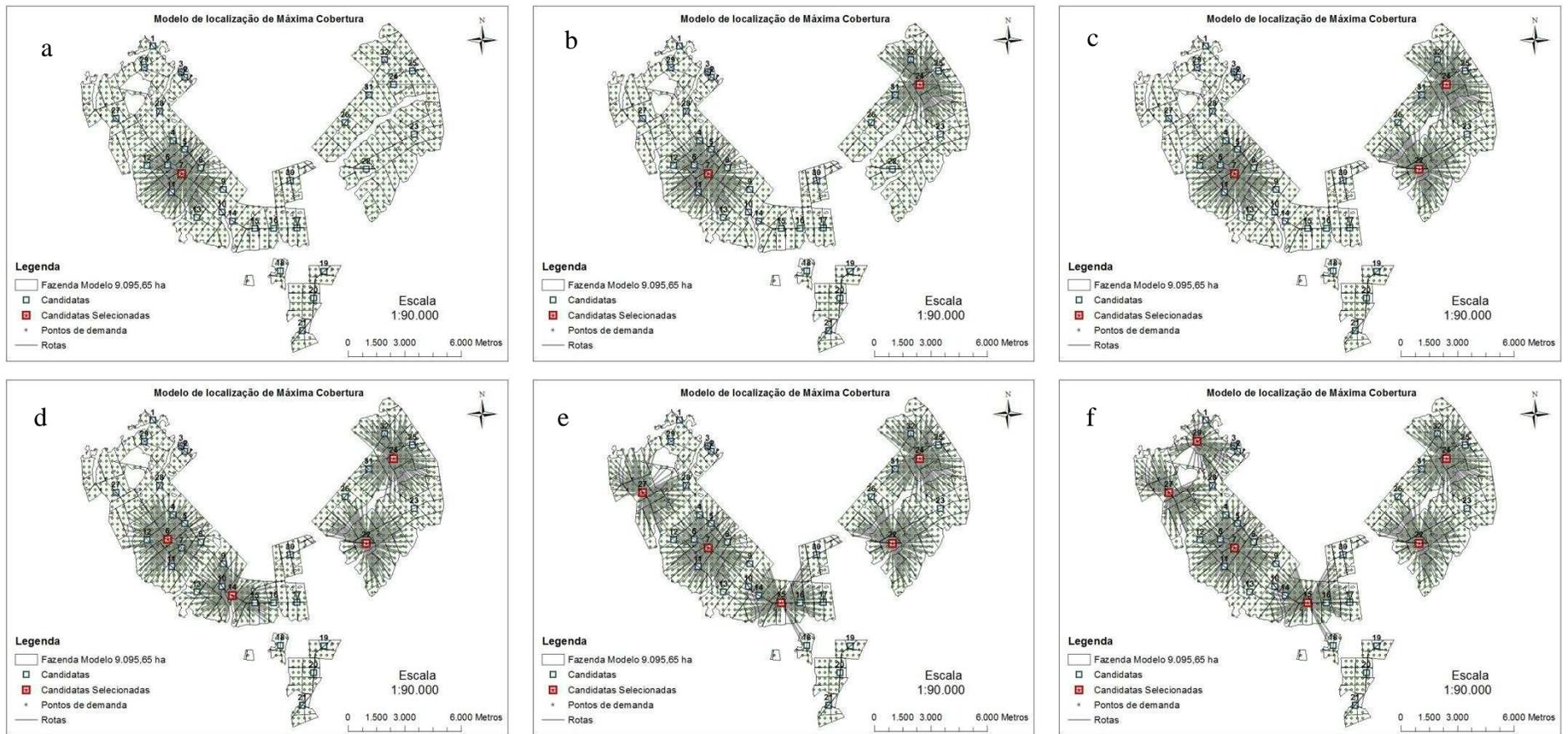


Figura 8 – Resultados das candidatas selecionadas de um a seis, pelo método de Máxima Cobertura para uma cobertura máxima de 2.500 m. As letras de a até f representam, respectivamente, o número de aeródromos de 1 a 6 respectivamente.

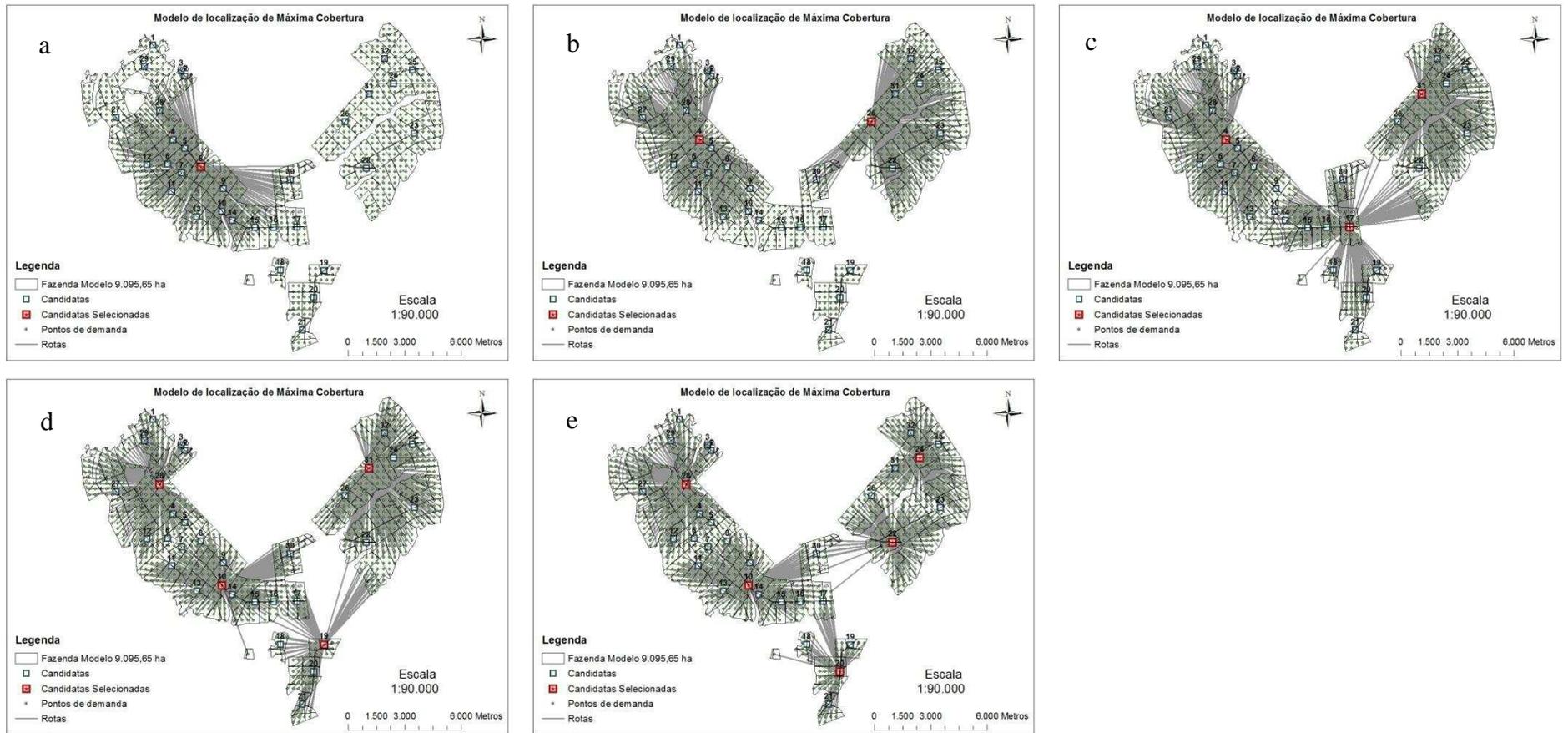


Figura 9 – Resultados das candidatas seleccionadas de um a cinco, pelo método de Máxima Cobertura para uma cobertura máxima de 5.000 m. As letras de a até e representam, respectivamente, o número de aeródromos de 1 a 5 respectivamente.

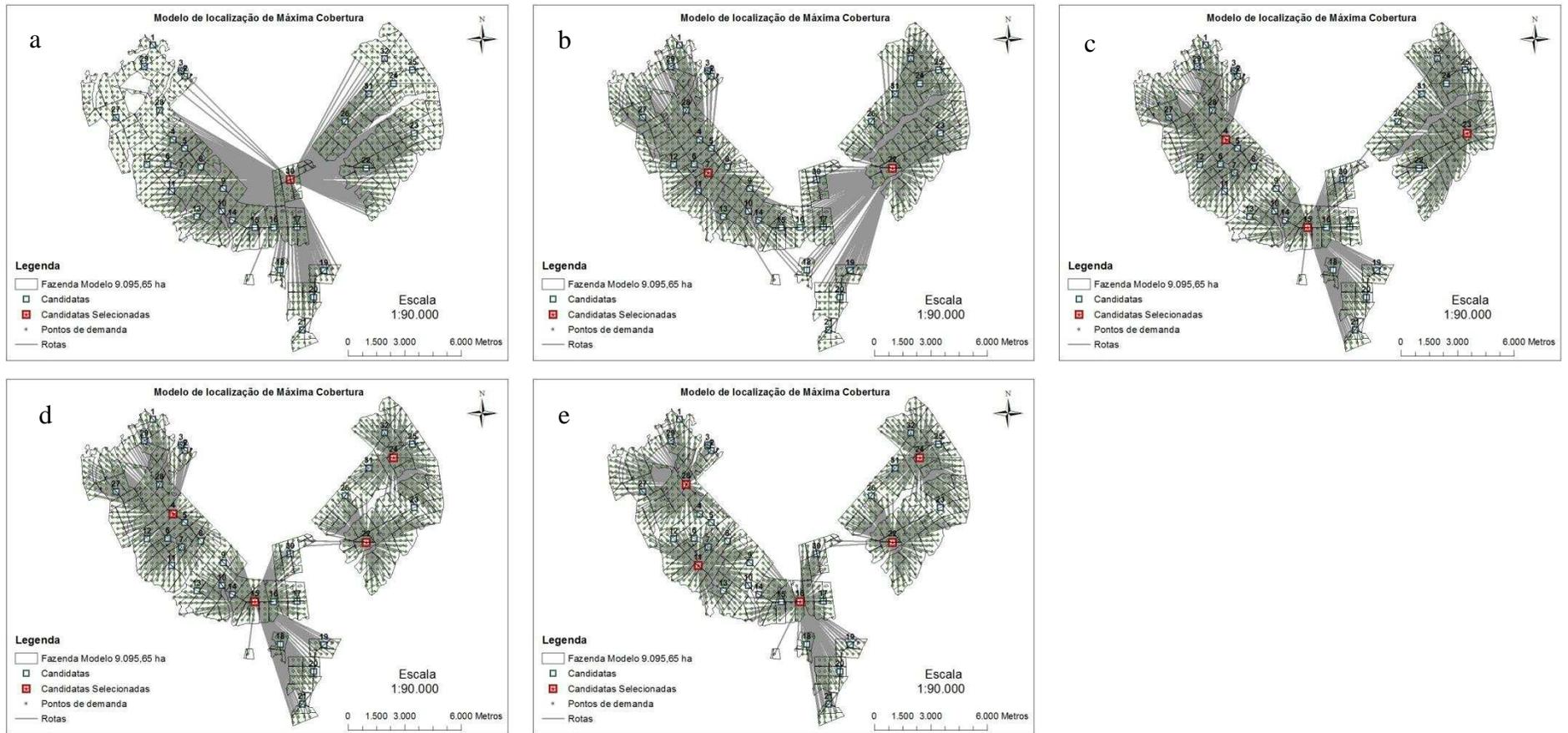


Figura 10 – Resultados das candidatas seleccionadas de um a cinco, pelo método de Máxima Cobertura para uma cobertura máxima de 7.500 m. As letras de a até e representam, respectivamente, o número de aeródromos de 1 a 5 respectivamente.

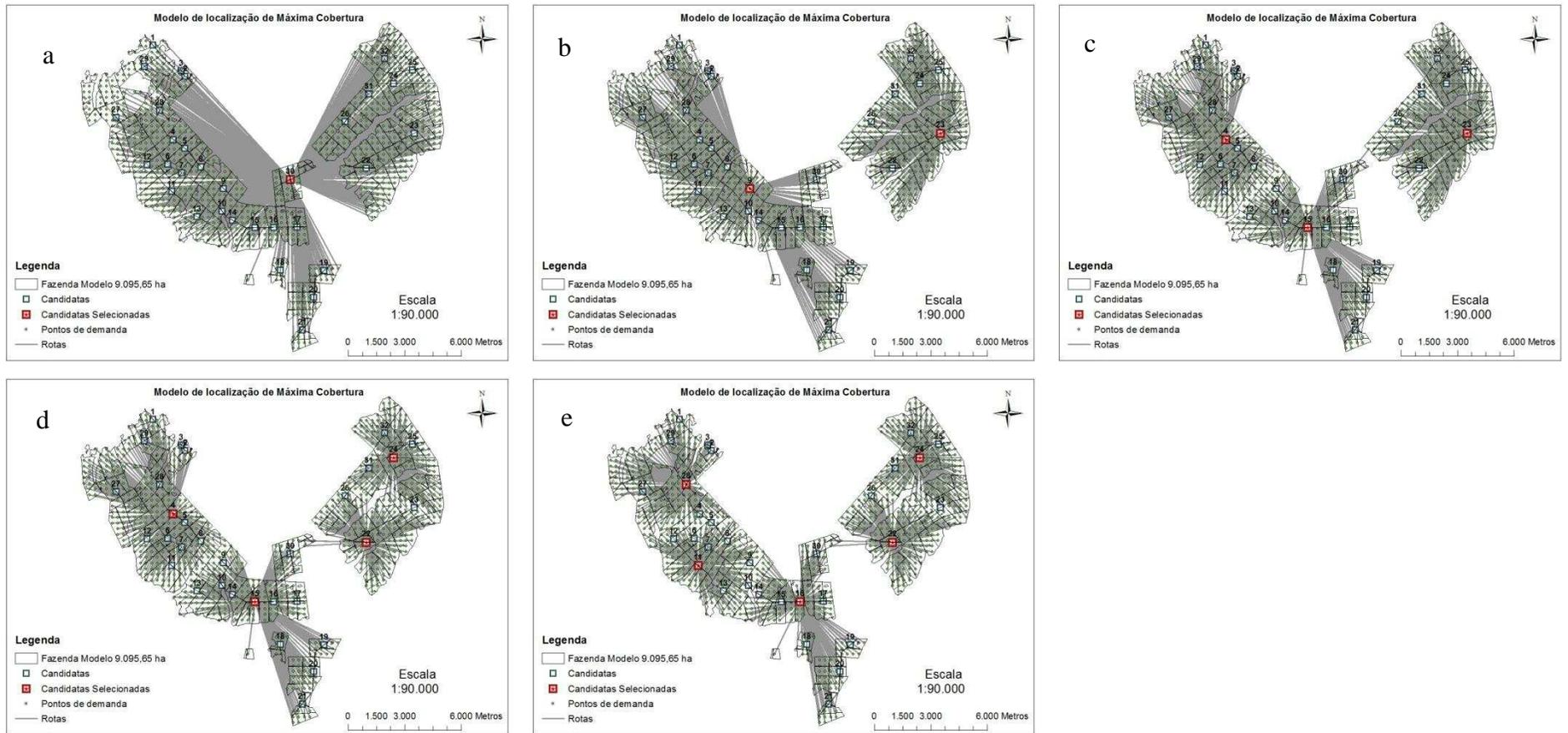


Figura 11 – Resultados das candidatas seleccionadas de um a cinco, pelo método de Máxima Cobertura para uma cobertura máxima de 10.000 m. As letras de a até e representam, respectivamente, o número de aeródromos de 1 a 5 respectivamente.

4.3 - Modelo de localização de cobertura de conjuntos.

A Tabela 5 mostra os resultados utilizando o modelo de localização de cobertura de conjuntos.

Tabela 5 – Resultados do modelo de localização de cobertura de conjuntos, variando a cobertura máxima em 2.500, 5.000, 7.500, 10.000 m, com as distâncias totais percorridas e o número de candidatas selecionadas.

Pontos de Demanda	Número de Candidatas	Número de Instalações (p)	Cobertura Máxima Estabelecida	Candidatas Selecionadas	Distância total Percorrida(m)	Distância média(m)	Pontos de Demanda Cobertos	% Pontos Cobertos
1.013	32	16	2500	8,12,13,16,18,20,21,22,23,24,26,27,28,29,30,32	1.129.420,2	1.116,0	1.013	100
1.013	32	5	5000	10,20,22,24,28	2.101.249,7	2.074,3	1.013	100
1.013	32	3	7500	4,15,23	2.838.687,5	2.802,3	1.013	100
1.013	32	2	10000	9,23	3.948.635,3	3.898,0	1.013	100

O número de candidatas selecionadas , assim como a distância total percorrida, é apresentado na Tabela 5. Observa se que o número de candidatas selecionadas para uma cobertura máxima de 2.500 m é três vezes maior que a de 5.000 m. Apesar da menor distância total percorrida, o modelo exige que 100% dos pontos de demanda sejam cobertos, não importando a quantidade de recursos usados para realizar esta cobertura (Figura 12). O método da cobertura de conjuntos apresentou resultados idênticos ao método de máxima cobertura para um mesmo número de instalações.

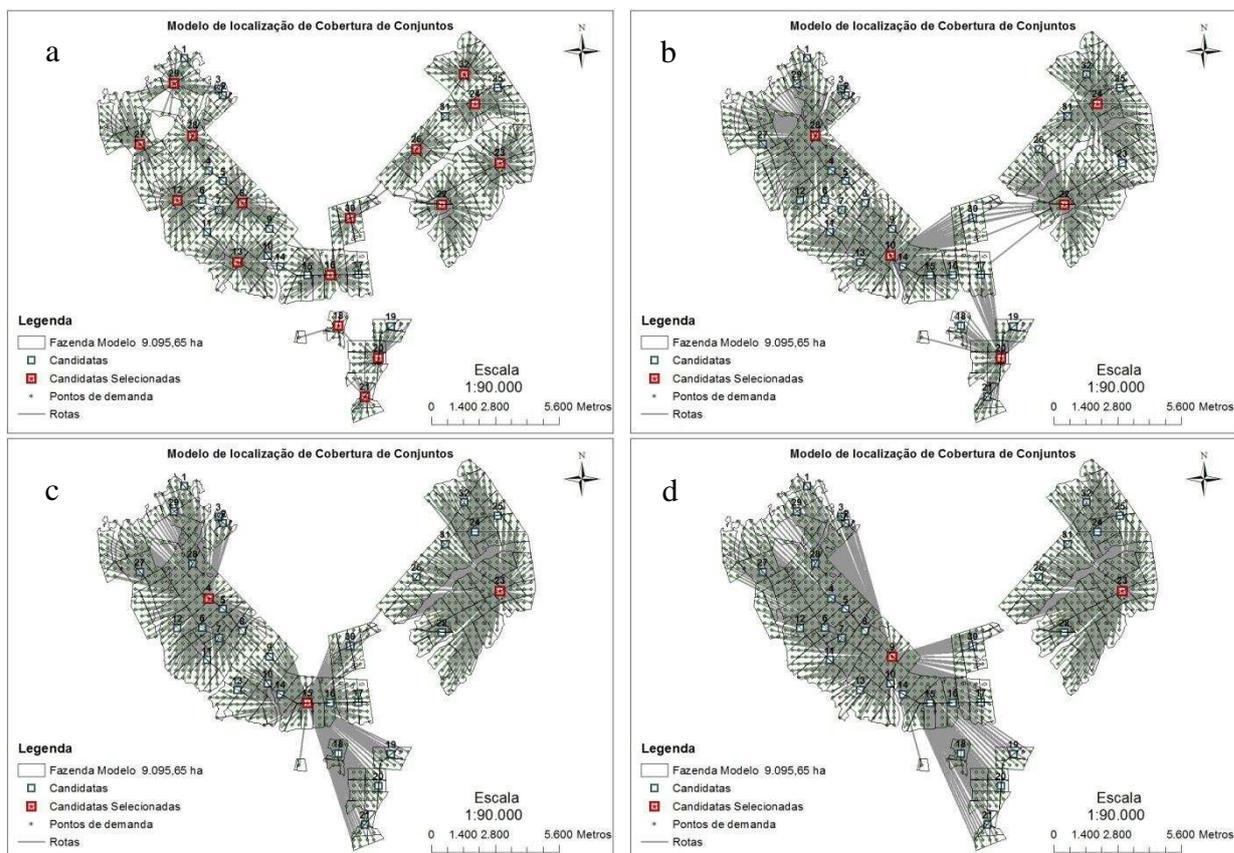


Figura 12 – Resultados das candidatas selecionadas, pelo método de cobertura de conjuntos para uma cobertura máxima de 2.500, 5.000, 7.500 e 10.000 m, representadas, respectivamente, pelas letras de a até d.

4.4 – Análise econômica dos modelos de localização da p-mediana, máxima cobertura e cobertura de conjuntos.

Para avaliar qual a melhor configuração do número de aeródromos que forneça o menor custo para cada modelo de localização avaliado, foram calculados os custos de instalação dos aeródromos, além dos custos de adubação de cobertura, sendo que a soma destes é o custo total da atividade. Na Tabela 6 são apresentados os itens que compuseram os custos de instalação dos aeródromos e seus valores.

Tabela 6 – Composição e unidade dos itens de instalação de aeródromos.

Itens	Unidade	Valores
Largura	m	40,0
Comprimento	m	1.200,0
Area Total	ha	4,8
Preço do Terreno	R\$/ha	5.000,0
Custo de construção	R\$/ha	20.000,0
Taxa de juros anual	%	0,120
Duração da estrada (anos)	ano	20,0
Depreciação	ha/ano	1.000,0
Juros sobre valor de construção	R\$/ha/ano	1.200,0
Juros sobre valor do terreno	R\$/ha/ano	600,0
Manutenção	R\$/ha/ano	2.000,0
Custo por ha	R\$/ha	4.800,0
Custo total	Por aeródromo	23.040,0

Os valores fornecidos pela empresa referente ao custo de atividade de adubação de cobertura estão resumidas na Tabela 7, os valores estão conforme a distância dos aeródromos aos talhões.

Tabela 7 – Custos da adubação de cobertura.

Escala	Raio	Valores (R\$/ha)
I	2.500	97,5
II	5.000	110,0
III	7.500	126,9
IV	10.000	143,8

O resumo dos resultados dos custos da atividade está resumido na Tabela 8. Analisando os resultados observa-se que a opção que gerou o menor custo utilizando o modelo das p-medianas foi a de três aeródromos, com um custo total de 1.031.980,5 de reais, igual ao custo obtido com o modelo de localização de cobertura de conjuntos. Esta igualdade de valores ocorreu devido a escolha dos mesmos aeródromos por ambos os métodos.

Tabela 8 – Resultados dos custos de adubação, custos de implantação e custos totais em função do número de aeródromos e do modelo de localização.

Modelo de Localização	Numero de Aeródromos	Máxima Cobertura (m)	Custo de Adubação (R\$)	Custo de Implantação (R\$)	Custo Total (R\$)
Cobertura de Conjuntos	2	10.000	1.025.252	46.080	1.071.332
Cobertura de Conjuntos	3	7.500	962.861	69.120	1.031.981
Cobertura de Conjuntos	5	5.000	926.595	115.200	1.041.795
Cobertura de Conjuntos	16	2.500	888.908	368.640	1.257.548
P-medianas	1	-	1.153.514	23.040	1.176.554
P-medianas	2	-	1.012.449	46.080	1.058.529
P-medianas	3	-	962.861	69.120	1.031.981
P-medianas	4	-	941.633	92.160	1.033.793
P-medianas	5	-	923.847	115.200	1.039.047
Maxima Cobertura	5	5.000	926.595	115.200	1.041.795
Maxima Cobertura	3	7.500	962.861	69.120	1.031.981
Maxima Cobertura	4	7.500	941.633	92.160	1.033.793
Maxima Cobertura	5	7.500	923.847	115.200	1.039.047
Maxima Cobertura	2	10.000	1.025.252	46.080	1.071.332
Maxima Cobertura	3	10.000	962.861	69.120	1.031.981
Maxima Cobertura	4	10.000	941.633	92.160	1.033.793
Maxima Cobertura	5	10.000	923.847	115.200	1.039.047

Analisando a Figura 13 observa-se um decréscimo do custo total até a construção de três aeródromos. A partir daí ocorre um aumento do custo total, não justificando a instalação do quarto ou mais aeródromos.

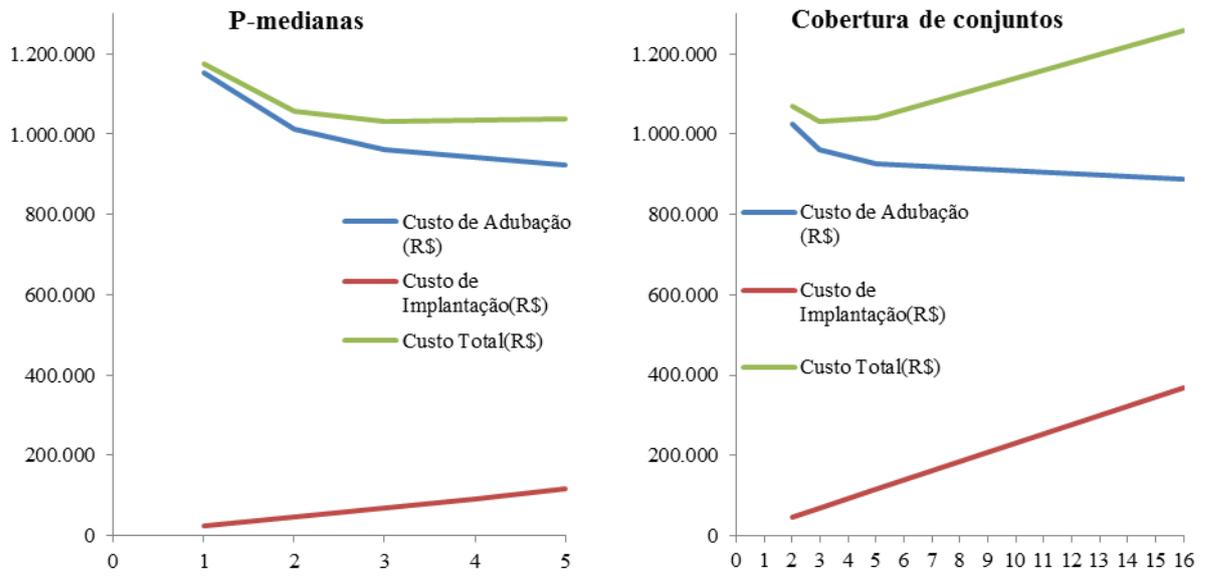


Figura 13 – Análise dos custos de adubação, implantação e total para os modelos de localização da p-medianas e de cobertura de conjuntos, eixo x representa o número de aeródromos e eixo y o custo total.

5 - DISCUSSÃO

Não foram encontrados trabalhos sobre a aplicação dos modelos da p-mediana, de máxima cobertura e de cobertura de conjuntos para instalação de aeródromos para fins de fertilização aérea de eucalipto. Para outros problemas e áreas são encontrados vários exemplos de emprego desses modelos, Saatcioglu, (1982), desenvolveu três modelos matemáticos para seleção de locais para aeroportos em países em desenvolvimento. Um modelo foi baseado no problema de localização de cobertura de conjuntos e os outros dois agregando rotas para os passageiros, utilizando dados de um município da Turquia para validar os modelos. O autor afirma que a seleção do modelo depende da formulação do problema e disponibilidade e qualidade dos dados. Para o caso de localização de aeródromos o modelo de cobertura de conjuntos também foi utilizado para selecionar os locais adequados para instalação, chegando a resultados satisfatórios.

Menezes & Pizzolato (2014) realizaram um estudo no município de Guaratiba, estado do Rio de Janeiro, onde utilizaram os modelos de Máxima Cobertura, além do modelo das p-mediana capacitados para localização de escolas públicas em áreas de rápida expansão, utilizando dados de previsão do IBGE para a população nos anos de 2015 e 2020. O autor conclui que o número de escolas é inadequado, e que serviços educacionais a uma longa distância pode aumentar a baixa qualidade dos serviços. Para o presente estudo, um número pequeno de aeródromos aumenta a distância total percorrida, gerando um maior custo e tempo para fertilizar os pontos de demanda.

Diversos trabalhos encontrados na literatura mostraram o uso de novas técnicas de resolução do problema das p-mediana. Lorena et al. (2001), realizaram um trabalho onde propuseram uma heurística para solução de problemas das p-mediana, para o caso não capacitado, integradas a Sistemas de informações geográficas, implementando uma abordagem da heurística Lagrangeana/surrogate. Esta técnica já foi aplicada com sucesso a outros problemas de otimização combinatória, onde a viabilização da solução dual é feita através de uma heurística de localização-alocação alternada. O autor conclui que a heurística mostrou se eficiente em diversas classes de otimização combinatória. Para o presente trabalho a heurística de substituição de vértices proposta por Teitz e Bartz, (1968), foi utilizada, pois é uma heurística robusta e avaliada na literatura e recomendada para problemas de maiores dimensões.

Arakaki & Lorena (2006), desenvolveram uma nova heurística de localização-alocação para problemas de localização de instalações. A heurística apresenta se como um

método promissor na busca de soluções para problemas combinatoriais de localização de instalações, e em particular para o problema de máxima cobertura capacitado e os problemas das p-medianas capacitados, sendo necessária uma adaptação para cada problema, trabalhando com a formação de agrupamentos (clusters). A extrema simplicidade da HLA e sua enorme rapidez e eficiência foram comprovadas para as instâncias aplicadas, os autores concluem que a heurística desenvolvida é rápida eficiente e de simples implementação, portando indicada a ser integrada a um sistema de informação geográficas.

Zhang & Johnson & Sutherland, (2011), desenvolveram um método em dois estágios utilizando sistemas de informações geográficas e modelos matemáticos de localização para localizar usinas para converter biomassa florestal em biocombustível, com base no custo de transporte, os autores concluem que o método é prático e eficiente para localizar locais ótimos para instalação de usinas de biocombustível.

Sultana & Kumar, (2012), desenvolveram um modelo em ambiente de sistemas de informações geográficas para analisar locais adequados para instalações com base em biomassa, a capacidade ótima dessas instalações e número de instalações baseados nas rodovias locais existentes, a combinação de técnicas de análise de multicritério com a modelagem matemática de localização geraram locais adequados para a instalação.

Costa, (2014), realizou um estudo com o objetivo de desenvolver um modelo de aptidão e localização para otimizar a distribuição espacial das usinas bioenergéticas de cana de açúcar, utilizando ferramentas de Sistemas de informações geográficas, análises de multicritério e o modelo das p-medianas capacitado, concluindo que o aumento no número de usinas de menor capacidade resulta na sua melhor distribuição espacial, uma vez que os diferentes arranjos espaciais para a oferta de matéria-prima aumentam.

Para realizar o planejamento da instalação de aeródromos para fins de fertilização aérea o uso de sistemas de informações geográficas se faz necessário para apoiar o processo de tomada de decisão , assim como apresentar os resultados em forma de mapas ilustrativos , que favorecem a interpretação e compreensão do tomador de decisão.

Serra & Marianov (1998), formularam o modelo das p-medianas para tratar da questão da localização de novas instalações quando há incerteza na demanda, nos tempos ou a distância da viagem, onde é possível definir diferentes cenários que representam diferenças nos tempos de viagem ou a demanda na região de interesse. O modelo foi aplicado a localização e instalações de corpos de bombeiros para a cidade de Barcelona na Espanha,

para o estudo de localização de aeródromos não foi considerada incerteza nos modelos avaliados.

Com base na análise econômica, independente do método utilizado, o número de aeródromos indicado é igual a três (Tabela 8 e Figura 13). Nesse caso, o ganho percentual em termos de redução de custo total, em relação à instalação de um único aeródromo, ao empregar os modelos propostos neste estudo foi de 12,3 %.

Em relação ao custo total de adubação, para o caso de três aeródromos o custo de instalação de aeródromos representa 7 % e o custo de adubação 93% do custo total.

6 - CONCLUSÕES

O modelo das p-medianas, o de máxima cobertura e o de cobertura de conjuntos, podem ser utilizados com eficiência para definir a localização ótima de aeródromos com a finalidade de fertilização aérea de plantios de eucaliptos.

Para a fazenda modelo em estudo o número ideal de aeródromos é igual a três.

A integração dos sistemas de informações geográficas com modelos matemáticos resulta em procedimento eficiente e prático para identificar locais ótimos para localização de aeródromos visando a fertilização de cobertura em povoamentos de eucalipto.

7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário Estatístico da ABRAF 2013 ano base 2012**. Brasília: ABRAF, 2013. 148 p.

AGENCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. RBAC n.º 137: **Certificação e Requisitos Operacionais: Operações Aeroagrícolas**. Brasil, 2012. 247 p.

ANAC -**Agência Nacional de Aviação Civil**. Disponível em: < <http://www.anac.gov.br>. > Acesso em: 02 de dez. 2014.

ARAKAKI, R. G. I.; LORENA, L. A. N. Uma heurística de localização-alocação (HLA) para problemas de localização de facilidades. **Produção**, v. 16, n. 2, p. 319–328, 2006.

BRASIL, Brasília. **Decreto 86.765, de 22 de dezembro de 1981. Regulamenta o Decreto-Lei nº 917, de 07 de outubro de 1969, que dispõe sobre o emprego da aviação agrícola no País e dá outras providências**. Diário Oficial da União - Seção 1 - 23/12/1981, Página 24561.

CHURCH, R. L.; REVELLE, C. S. Theoretical and Computational Links between the p-Median, Location Set-covering, and the Maximal Covering Location Problem. **Geographical Analysis**, v. VIII, n. October, p. 406–415, 1976.

CHURCH, R.; REVELLE, C. The maximal Covering Problem. **Papers of the Regional Science Association**, v. 32, p. 101–118, 1974.

CHURCH, R.; ROBERTS, K. Generalized coverage models and public facility location. **Papers of the Regional Science Association**, v. 53, p. 117–135, 1983.

COSTA, F.R. **Modelo de aptidão e de localização-alocação de usinas bioenergéticas utilizando sistemas de informações geográficas**. 2014. 62f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2014.

CURRENT, J.; DASKIN, M.; SCHILLING, D. Discrete network location models. In: DREZNER, Z.; HAMACHER, H. W. (Ed.). **Facility Location Applications and Theory**. Berlin: Springer-Verlag, 2004. p. 81–118.

DA CUNHA, J. P. A. R.; SILVA, L. L.; BOLLER, W.; RODRIGUES, J. F.. Aplicação aérea e terrestre de fungicida para o controle de doenças do milho. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, p. 366–372, 2010.

DASKIN, M. **Network and discrete location: Models, algorithms, and applications**. New York: Wiley Interscience, 1995.

DASKIN, M. S. What You Should Know About Location Modeling. **Naval Research Logistics**, v. 55, n. January, p. 284–294, 2008.

DENSHAM, P.; RUSHTON, G. A more efficient heuristic for solving large p-median problems. **Papers of the Regional Science Association**, v. 71, p. 307–329, 1992

EISELT, H. A. Locating landfills—Optimization vs. reality. **European Journal of Operational Research**, v. 179, n. 3, p. 1040–1049, jun. 2007.

EISELT, H. A.; MARIANOV, V. (Ed.). **Foundations of Location Analysis. International Series in Operations Research & Management Science**. New York, Dordrecht, Heidelberg, London: Springer, p.509, 2011.

EISELT, H. A.; MARIANOV, V. Location modeling for municipal solid waste facilities. **Computers & Operations Research**, maio 2014.

ESRI - Environmental System Research Institute . **Algorithm used by ArcGIS network analyst extension** . Disponível em < <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/004700000053000000>>. Acesso em 15 de dez. 2014.

FAZEL ZARANDI, M. H.; DAVARI, S.; HADDAD SISAKHT, S. A. The large scale maximal covering location problem. **Scientia Iranica**, v. 18, n. 6, p. 1564–1570, dez. 2011.

FIEDLER, N. C.; CARMO, F. C. A.; PEREIRA, D. P.; GUIMARÃES, P. P.; RÓS, E. B.; MARIN, H. B. Viabilidade técnica e econômica de plantios comerciais em áreas acidentadas no sul do Espírito Santo. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 4, p. 745–753, 2011.

GAZOLA, R. N. **Adubação nitrogenada, fosfatada e potássica na cultura do eucalipto (clone i144-E. urograndis)**. 2014. 92f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, SP, 2014.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Nosso Território, Relevo e Clima – 2012. Disponível em: < <http://7a12.ibge.gov.br/vamos-conhecer-o-brasil/nosso-territorio/relevo-e-clima>>. Acesso em: 20 out. 2014

KELLEY, J.; KUBY, M.; SIERRA, R. Transportation network optimization for the movement of indigenous goods in Amazonian Ecuador. **Journal of Transport Geography**, v. 28, p. 89–100, abr. 2013.

LORENA, L. A. N.; SENNE, E. L. F.; PAIVA, J. A. C.; PEREIRA, M. A. Integração de modelos de localização a sistemas de informações geográficas. **Gestão & Produção**, v. 8, n. 2, p. 180–195, 2001.

LORENA, L. A. N.; PEREIRA, M. A. A Lagrangean/surrogate heuristic for the maximal covering location problem using Hillsman's edition. *International Journal of Industrial Engineering*, v. 9 n.1, p. 57-67, 2002. **Special Issue on Facility Location and Layout**.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Aviação Agrícola**. Brasília, 2014. Disponível em <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/agrotoxicos/aviacao-agricola>> Acesso em : 25 out 2014.

MENEZES, R. C.; PIZZOLATO, N. D. Locating public schools in fast expanding areas: application of the capacitated p-median and maximal covering location models. **Pesquisa Operacional**, v. 34, n. 2, p. 301–317, maio 2014.

MLADENOVIC, N. et al. The p-median problem: A survey of metaheuristic approaches. **European Journal of Operational Research**, v. 179, n. 3, p. 927–939, jun. 2007.

OLIVEIRA, S. A.; MORAES, M. L. T.; BUZETTI, S. Efeito da aplicação de NPK e micronutrientes no desenvolvimento de *Eucalyptus citriodora* Ou. **Revista Floresta**, v. 29, n. 1/2, p. 27-36. 2005.

OKADO, K. **Adubação com N, P2O5e K2O apenas em cobertura no crescimento de *Eucalyptus urograndis* na região do Pontal do Paranapanema-SP**. 2010. 35f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade do Oeste Paulista – UNOESTE, Presidente Prudente ,SP, 2010.

OWEN, S. H.; DASKIN, M. S. Strategic facility location : A review. **European Journal of Operational Research**, v. 111, p. 423–447, 1998.

PEREIRA, A. A.; PEREIRA, L. C.; FERREIRA, R. V. **Monitoramento dos incêndios florestais no estado de Minas Gerais** XIII Simposio de Sensoriamento Remoto. **Anais...** Florianópolis, Brasil , INPE: 2007

PINTO, A. R.; SILVA, B.; OLIVEIRA, I. C.; PEREIRA, J. O. S.; NUNES, L. **Manual de normalização de trabalhos acadêmicos**. Viçosa, MG, 2011. 70 p. Disponível em: <<http://www.bbt.ufv.br/>>. Acesso em: 20 out 2014.

RAB – **Registro Aeronáutico Brasileiro** . Disponível em: <<http://www2.anac.gov.br/rab/>> Acesso em: 02 de dez.2014

RAHMAN, S.; SMITH, D. K. Use of location-allocation models in health service development planning in developing nations. **European Journal of Operational Research**, v. 123, n. 3, p. 437–452, jun. 2000.

REVELLE, C. S. Theory and Methodology Review , extension and prediction in emergency service siting models. **European Journal of Operational Research**, v. 40, p. 58–69, 1989.

REVELLE, C. S.; EISELT, H. A.; DASKIN, M. S. A bibliography for some fundamental problem categories in discrete location science. **European Journal of Operational Research**, v. 184, p. 817–848, 2008.

REVELLE, C. S.; EISELT, H. A. Location analysis: A synthesis and survey. **European Journal of Operational Research**, v. 165, p. 1–19, 2005.

REVELLE, C. S.; SWAIN, W. Central Facilities Location. **Geographical Analysis**, v. 2, n. 1, p. 30–42, 1970.

ROSING, K. E.; REVELLE, C. S.; SCHILLING, D. A. A gamma heuristic for the p -median problem. **European Journal of Operational Research**, v. 117, p. 522–532, 1999.

SAATCIOGLU, O. Mathematical Programming Models for Airport Site Selection, **Transportation Research B**, v. 16B, p. 435-447, 1982.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R.F.; LEITE, H.G.; COMERFORD, N.B. Alocação de nutrientes em plantios de eucalipto no Brasil. **Revista Bras. Ci. Solo**, v.32 p.2723-2733, Número Especial 2008.

SERRA, D.; MARIANOV, V. The p -median problem in a changing network : the case of Barcelona . **Location Science**, v. 6, p. 383–394, 1998.

SILVA, J.C. **Manual Prático do Fazendeiro Florestal Produzindo madeira com qualidade**. Viçosa MG. 2011.

SILVEIRA, V. R. **Cenário atual da aviação agrícola no Brasil**. 2004. 184f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Infra-Estrutura Aeronáutica) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, SP, 2004.

SCHILLING,D.A. Strategic facility planning: The analysis of options, **Decision Sciences**, v.13, p. 1-14, 1982.

SCHILLING, D. A.; JAYARAMAN, V.; BARKHI, Review Of Covering Problems -1993. **Location Science**, v. 1, n. 1, p. 25–55, 1993.

SINDAG –**Sindicato Nacional das Empresas de Aviação Agrícola**. Disponível em:<<http://www.sindag.com.br>> Acesso em 15 de dez. 2014.

SULTANA, A.; KUMAR, A. Optimal siting and size of bioenergy facilities using geographic information system. **Applied Energy**, v. 94, p. 192–201, jun. 2012.

TEITZ, M. B.; BART, P.: Heuristic Methods for Estimating the Generalized Vertex Median of a Weighted Graph. **Operations Research** , 16 , 955-961, 1968.

TORGAS, C.; SWAIN, R. The location of emergency service facilities. **Operations Research**, v. 19, n. 6, p. 1363–1373, 1971.

ZHANG, F.; JOHNSON, D. M.; SUTHERLAND, J. W. A GIS-based method for identifying the optimal location for a facility to convert forest biomass to biofuel. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, n. 9, p. 3951–3961, jul. 2011.