



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-
ÁRIDO UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO
GRANDE DO NORTE PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**



ROBERVAL GONÇALVES MOREIRA FILHO

**OTIMIZAÇÃO NO CONTEXTO DA CADEIA PRODUTIVA
DA AGRICULTURA FAMILIAR: UMA APLICAÇÃO NA
COLETA DE LEITE DO PEQUENO PRODUTOR**

Mossoró RN, 2020

ROBERVAL GONÇALVES MOREIRA FILHO

**OTIMIZAÇÃO NO CONTEXTO DA CADEIA PRODUTIVA
DA AGRICULTURA FAMILIAR: UMA APLICAÇÃO NA
COLETA DE LEITE DO PEQUENO PRODUTOR.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação - associação ampla entre a Universidade do Estado do Rio Grande do Norte e a Universidade Federal Rural do Semi-Árido, para a obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação.

Linha de Pesquisa: Otimização e Inteligência Artificial
Orientador: Prof^o. Dr. Francisco Chagas de Lima Júnior,

Coorientador: Prof^o. Dr. Carlos Heitor Pereira Liberalino

Mossoró RN, 2020

© Todos os direitos estão reservados a Universidade do Estado do Rio Grande do Norte. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do(a) autor(a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu(a) respectivo(a) autor(a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

Catálogo da Publicação na Fonte.
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte.

M838o Moreira Filho, Roberval Gonçalves
OTIMIZAÇÃO NO CONTEXTO DA CADEIA
PRODUTIVA DA AGRICULTURA FAMILIAR: UMA
APLICAÇÃO NA COLETA DE LEITE DO PEQUENO
PRODUTOR. / Roberval Gonçalves Moreira Filho. -
Mosssoró, 2020.
71p.

Orientador(a): Prof. Dr. Francisco Chagas de Lima
Júnior.

Coorientador(a): Prof. Dr. Carlos Heitor Pereira
Liberalino.

Dissertação (Mestrado em Programa de Pós-
Graduação em Ciência da Computação). Universidade do
Estado do Rio Grande do Norte.

1. Metaheurísticas. 2. Otimização Combinatória. 3.
Cadeia de Suprimentos. 4. Coleta de Produtos do
Agronegócio. I. Lima Júnior, Francisco Chagas de. II.
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte. III.
Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pela Diretoria de Informatização (DINF), sob orientação dos bibliotecários do SIB-UERN, para ser adaptado às necessidades da comunidade acadêmica UERN.

ROBERVAL GONÇALVES MOREIRA FILHO

OTIMIZAÇÃO NO CONTEXTO DA CADEIA PRODUTIVA DA AGRICULTURA FAMILIAR: UMA
APLICAÇÃO NA COLETA DE LEITE DO PEQUENO PRODUTOR

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Ciência da Computação Para a
obtenção do título de Mestre em Ciência da
Computação

APROVADA EM: ____/____/____

Prof. Dr. Francisco Chagas de Lima Júnior
Orientador e Presidente

Prof. Dr. Carlos Heitor Pereira Liberalino
Membro Interno – Universidade do Estado do Rio Grande do Norte – UERN

Prof. Dr. Fábio Francisco da Costa Fontes
Membro Interno – Universidade Federal Rural do Semi-árido – UFRSA

Prof. Dr. Gustavo Augusto Lima de Campos
Membro Externo – Universidade Estadual do Ceará - UECE

Dedico este trabalho primeiramente a Deus por ser soberano em minha vida, ao meu pai e minha mãe que sempre me apoiaram em todas as minhas decisões e a Amanda Emilly, a quem Deus colocou no meu caminho para eu não parar antes do fim.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, porque me deu a oportunidade de trilhar esse caminho, me concedeu o dom da vida e sem ele eu não seria nada.

Agradeço aos meus pais que sempre foram compreensivos e pacientes, sempre me dando o apoio que eu precisava e fazendo grandes sacrifícios para que eu pudesse seguir os estudos. Aos meus irmãos que não negavam nenhum pedido em relação ao meu mestrado, nunca me deixando faltar companhia e a minha tia Tânia que foi um grande exemplo e incentivo nos estudos.

Aos meus professores da UERN e da UFERSA aos quais me forneceram conhecimento, conselhos e nunca me negando atenção e informação além das salas de aula. Em especial ao meu orientador, professor Lima Jr., que mais do que professor ou orientador, se mostrou um grande amigo em todos os momentos, pela sua instrução, pelas suas conversas de apoio, pela compreensão e pela dedicação em me orientar.

A Igreja Adventista do Sétimo Dia e ao clube de desbravadores Autor da Minha Fé, com todos os seus membros em especial a diretoria, que em minha ausência foram sempre compreensíveis e me ofereceram total apoio e liberdade para me dedicar integralmente ao projeto de mestrado.

Aos meus amigos que, além de nunca me faltarem com apoio e incentivo para concluir meu mestrado, me forneceram muitos sorrisos e momentos que fazem a vida valer a pena.

Agradeço aos membros da banca por terem aceitado prontamente o convite para participarem da comissão examinadora desta dissertação.

Agradeço de modo especial a Amanda Emilly, que no momento mais difícil, na hora que eu mais precisava e quando eu estava prestes a desistir, foi uma fonte inesgotável de confiança, incentivo e palavras cheias de sabedoria, compreensão e amor aos quais até mesmo quando eu perdia a confiança em mim, ela me colocava de volta aos trilhos.

“Ah! Soberano Senhor, tu fizeste os céus e a terra pelo teu grande poder e por teu braço estendido. Nada é difícil demais para ti.” - Jeremias 32:17.

RESUMO

No contexto da cadeia produtiva do agronegócio existe uma série de problemas de otimização que estão atualmente em estudo no Brasil e no mundo. Devido à grande complexidade de muitos destes problemas, esforços de pesquisa têm sido aplicados no sentido de desenvolver métodos que reduzam o esforço computacional, otimizem o crescimento dos lucros das empresas, reduza os preços do produto final e promova a aquisição de produtos de melhor qualidade. Dos diversos produtos da cadeia produtiva do agronegócio o leite tem seu papel fundamental na economia brasileira pois tem destaque na produção e está na base de diversos outros produtos. Neste trabalho será apresentado uma proposta de método de otimização para a coleta de produtos na cadeia de suprimentos do agronegócio, com foco no pequeno produtor rural, com uma aplicação prática na coleta de leite no contexto do Rio Grande do Norte. O problema em estudo será modelado como uma variação do problema do caixeiro viajante com coleta de prêmios onde os vértices fora da rota principal serão atribuídos a outro vértice. Faz parte da proposta deste trabalho, realizar um estudo sobre metaheurística, com foco na metaheurística *Greedy Randomized Adaptive Search Procedure*, aplicado ao problema em estudo.

Palavras-chave: Metaheurísticas. Otimização Combinatória. Cadeia de Suprimentos. Coleta de Produtos do Agronegócio.

ABSTRACT

The context of the productive chain of agribusiness, there are a number of optimization problems that are currently being studied in Brazil and in the world. Because the great complexity of many problems, the efforts of research aimed at reducing computational efforts, optimize business profit growth, reducing final product prices and promoting the purchase of better-quality products. Of the various products in the agribusiness production chain, milk has its fundamental role in the Brazilian economy, as it stands out in production and is the basis of several other products. This paper will be displayed an optimization proposal for the products collection in the agribusiness supply chain, focusing on the small rural producer, with an application in the collection of milk with context of Rio Grande do Norte. The problem under study will be modeled as a variation of the Traveling Salesman problem with Prize collecting where vertices outside the main route will be assigned to another vertex. Is part of proposal of this work, make a study the of metaheuristics, focusing in the metaheuristic Greedy Randomized Adaptive Search Procedure, applied to the problem under study.

Keywords: Metaheuristics. Combinatorial optimization. Supply chain. Agribusiness Collect Products.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Ilustração do Ótimo Global e Local no processo de busca
- Figura 2 – Processo de clusterização
- Figura 2a – Dados a serem clusterizados
- Figura 2b – Dados após a clusterização
- Figura 3 – Processo de clusterização
- Figura 3a – Conjunto de dados e seleção de centroides
- Figura 3b – Etapas 2 e 3
- Figura 3c – Continuação da execução
- Figura 4 – Grafo representando uma situação real
- Figura 5 – Representação gráfica de uma solução viável para o problema proposto
- Figura 5a – Representação dos caminhos após execução do PCVCP
- Figura 5b – Representação dos clusters para agrupar os vértices não selecionados
- Figura 6 – Número de produtores por cidade do RN
- Figura 7 – Produção leiteira da região do sertão do Apodi
- Figura 8 – Melhor rota do método aproximativo

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Referências de trabalhos de otimização na cadeia de suprimentos

Quadro 2 – Variações do PCV

Quadro 3 – Exemplo de busca local 2opt

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados obtidos pelas instâncias de Chaves, (2003)

Tabela 2 – Resultados obtidos pelas instâncias de Oliveira, (2018)

Tabela 3 – Análise comparativa entre o método exato e a metaheurística GRASPv01

Tabela 4 – Análise comparativa entre o método exato e a metaheurística GRASPv02

Tabela 5 – Prêmios e penalidades de todos municípios da instância

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PCV Problema do Caixeiro Viajante

PCVCP Problema do Caixeiro Viajante com Coleta de Prêmios

UERN Universidade do Estado do Rio Grande do Norte

UFERSA Universidade Federal Rural do Semiárido

GRASP Greedy Randomized Adaptive Search Procedure

OC Otimização Combinatória

VRP Vehicle Routing Problem

TSP Traveling Salesman Problem

PCVJT Caixeiro viajante com janelas de tempo

PCVG Caixeiro viajante com grupamentos

PCVP Caixeiro viajante periódico

PCVDP Caixeiro viajante com dependências de tempo

CRP vehicle routing problem

PC Problema de Clusterização

PCA Problema de Clusterização Automática

LRC lista restrita de candidatos

LC Lista de Candidatos

TLRC Tamanho da LRC

SUMÁRIO

RESUMO	9
LISTA DE FIGURAS.....	11
LISTA DE QUADROS.....	12
LISTA DE TABELAS	13
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	14
1. INTRODUÇÃO	13
1.1. CONTEXTO E MOTIVAÇÃO.....	16
1.2. PROBLEMA DE PESQUISA.....	18
1.3. OBJETIVOS	18
1.3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
1.4. METODOLOGIA DE PESQUISA	19
1.5. ESTRUTURA DO DOCUMENTO	19
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	21
2.1. OTIMIZAÇÃO COMBINATÓRIA	21
2.2. PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE.....	23
2.3. CLUSTERIZAÇÃO	25
2.3.1. O ALGORITMO K-MEANS.....	27
2.4. METAHEURÍSTICAS	29
2.4.1. METAHEURÍSTICA GRASP.....	30
2.4.1.1. FASE DE CONSTRUÇÃO.....	31
2.4.1.2. FASE DE BUSCA LOCAL	32
2.5. TRABALHOS RELACIONADOS.....	33
3. ABORDAGEM DE SOLUÇÃO PROPOSTA.....	35
3.1. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA PROPOSTO	35
3.2. MODELO E MÉTODO DE RESOLUÇÃO PROPOSTO	36
3.3. METODOLOGIA.....	38
4. RESULTADOS COMPUTACIONAIS	40
4.1 TESTES PRELIMINARES.....	40
4.2 EXPERIMENTO COM INSTÂNCIA REAL.....	42
5. CONTRIBUIÇÃO CIENTÍFICA	46
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
6.1. TRABALHOS FUTUROS.....	47
REFERÊNCIAS.....	49
APÊNDICE A – RESUMO DAS EXECUÇÕES.....	55
APÊNDICE B – EXECUÇÕES DETALHADAS.....	56
APÊNDICE C – MATRIZ DE DISTÂNCIA DA REGIÃO DO SERTÃO DO APODI.....	67

1. INTRODUÇÃO

A cadeia de suprimentos (do inglês *Supply Chain*) pode ser definida como um processo integrado em que várias entidades empresariais (fornecedores, fabricantes, distribuidores e varejistas) trabalham juntas para: adquirir matérias primas, converter essa matéria prima em produtos específicos e entregar esses produtos a varejistas (BEAMON, 1998). Ou ainda, é um conjunto de atividades funcionais que se repetem inúmeras vezes ao longo do canal pelo qual matérias-primas vão sendo convertidas em produtos acabados, aos quais se agrega valor ao consumidor (BALLOU, 2009).

Alguns autores defendem que a cadeia de suprimentos é uma outra definição para logísticas (BALLOU, 2009) já outros, tratam da cadeia de logística como uma parte da cadeia de suprimentos sendo assim, um conceito diferente (MARTINS, 2018). Cada um defende seu ponto de vista com argumentação coerente, neste trabalho será utilizado o termo cadeia de suprimentos como um conceito diferente de logística pois estaremos utilizando referências, em sua maioria, que trabalham dessa forma. Vale ressaltar que esse trabalho possui foco em otimização combinatória e não em administração de empresas e recursos.

Quando uma empresa possui uma boa gestão dessa cadeia, ela melhora os seus resultados na industrialização de seu produto, tornando seus processos menos custosos e maximizando o lucro com a minimização de possíveis perdas, além de melhor gerenciamento de recursos.

O bom gerenciamento da cadeia de suprimento traz muitas vantagens, especialmente para o consumidor final, que é o maior alvo da operação, pois passa a ter uma maior variedade de produtos a sua disponibilidade nos varejistas e a preços mais acessíveis.

O tamanho da base de fornecedores pode aumentar a complexidade da cadeia de suprimentos, aumentando o número de relacionamentos que devem ser gerenciados e aumentando os custos totais de transação. Esses custos e complexidade a mais são um problema para empresas que optam por, muitas vezes, a conviver com apenas um fornecedor (CHRISTOPHER, 2016). Isso implica na redução da produção que por vezes o gestor da empresa tem capacidade

financeira de gerenciar, porém a complexidade em gerir limita a produção.

À medida que a complexidade do processo nas mais diversas etapas da cadeia de suprimento for minimizada, o número de integrantes (Esses integrantes podem ser produtores, fornecedores, etc) da cadeia tende a aumentar e assim gera lucro para as empresas, emprego e a disponibilidade de produtos para os consumidores, portanto, trazendo melhorias para a sociedade.

Muitos estudos foram realizados com o objetivo de reduzir a complexidade ou otimizar alguma etapa da cadeia de suprimentos, o quadro 1 lista alguns trabalhos realizados na área.

Quadro 1 – Referências de trabalhos de otimização na cadeia de suprimentos.

Referência	Descrição do problema/Proposta
GIACON, 2012	A proposta deste trabalho é apresentar uma abordagem para o problema de seleção de fornecedores utilizando análise de decisão multicritério conjuntamente com programação linear combinatória.
OTHMAN; MUSTAFA, 2012	Este trabalho estuda ferramentas de simulação de gerenciamento da cadeia de suprimentos junto com técnicas de otimização para alcançar o desempenho esperado.
SANTI; FERREIRA; MEDEIROS ROCHA; ALOISE, 2011	Levando em consideração que a seleção de fornecedores, na cadeia de suprimentos, é de grande importância para a competitividade global, este trabalho apresenta um modelo de seleção de fornecedores para a cadeia de suprimentos baseado em lógica <i>fuzzy</i> , teoria de decisão multi-atributo e GRASP.
MALQUIAS, 2006	Utilizando metaheurísticas, o objetivo deste trabalho é otimizar as rotas de distribuição para reduzir o atraso nas entregas de produtos farmacêuticos.
CHEN; LIN; HUANG, 2006	Este trabalho tem como objetivo apresentar uma abordagem para tomada de decisão <i>fuzzy</i> com o objetivo de lidar com o problema de seleção de fornecedores no gerenciamento da cadeia de suprimentos.

O crescimento do agronegócio no Brasil tem colocado o país no ranking mundial dos maiores exportadores de produtos alimentícios, bem como, alavancado a pesquisa e o desenvolvimento em tecnologia de ponta no setor. Neste contexto, a agricultura familiar, por sua vez, tem avançado no mercado interno e, segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, já responde por mais de 50% da comida que chega às mesas dos brasileiros. São também as pequenas áreas rurais conduzidas por famílias que respondem por 70% da mão de obra no campo. Elas agrupam aproximadamente 4,4 milhões de famílias agricultoras, o que representa 84% dos estabelecimentos rurais no país, gerando 38% do valor bruto da produção agropecuária.

Dentre as cadeias produtivas da agropecuária no Brasil, o leite foi a que mais sofreu mudanças no final do século XX, tais mudanças se dão por conta, principalmente, pela interferência do governo, tanto na produção quanto no consumo (GOMES, 2001). Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2018) o Brasil é o responsável pela produção de 7% do leite do mundo e é 5º maior produtor mundial.

O leite está na base da cadeia de suprimentos de muitos produtos, como o iogurte. No Brasil o consumo desse alimento per capita está abaixo de outros importantes mercados da América Latina, portanto o potencial de crescimento é interessante (BORTOLOZI, 2015).

Neste âmbito, a cadeia de suprimentos apresenta uma vasta gama de complexidade ao qual o torna suscetível a modelagem como um problema de pesquisa operacional e otimização combinatória. Assim sendo, o desenvolvimento deste trabalho é motivado por:

1. Estudar e modelar o problema da coleta de produtos da cadeia de suprimentos como um problema de otimização combinatória;
2. Propor uma abordagem aproximativa para resolver o problema na forma como foi proposto;
3. Aplicar os métodos estudados e desenvolvidos em instâncias do mundo real na coleta de leite.

1.1. CONTEXTO E MOTIVAÇÃO

De acordo com a Constituição brasileira, (Lei nº 11.326 de julho de 2006), considera-se agricultor familiar aquele indivíduo que desenvolve atividades econômicas no meio rural e que atende alguns requisitos básicos, tais como: não possuir propriedade rural maior que 4 módulos fiscais (no Brasil varia de 5 a 110 hectares dependendo da região), utilizar predominantemente mão de obra da própria família nas atividades econômicas de propriedade e possuir a maior parte da renda familiar proveniente das atividades agropecuárias desenvolvidas no estabelecimento rural.

A agricultura familiar tem sido um dos pilares da economia interna no Brasil. Dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, informam que a produção agrícola familiar é responsável por mais de 50% da comida que chega às mesas dos brasileiros, além disso, são também as pequenas áreas rurais conduzidas por famílias que respondem por 70% da mão de obra no campo.

Segundo dados do relatório da Organização das Nações Unidas, denominado “Estado da Alimentação e da Agricultura”, a agricultura familiar tem capacidade para colaborar na erradicação da fome mundial e alcançar a segurança alimentar sustentável. Dados neste relatório mostram que o setor produz cerca de 80% dos alimentos que chegam à mesa da população brasileira, como o leite (58%), a mandioca (83%) e o feijão (70%), além de representar 84% de todas as propriedades rurais e emprega, pelo menos, cinco milhões de famílias.

No contexto da produção agrícola familiar este trabalho tem como motivação desenvolver uma ferramenta de apoio à logística de escoamento da produção do pequeno produtor, a qual caracteriza-se como componente de uma sistema mais amplo, que está sendo construído, de forma colaborativa e coordenada. O sistema consiste de um portal regional que será um espaço de sistematização da oferta de produtos da agricultura familiar existentes na Região Nordeste, denominado Plataforma Digital – Portal PAS/NE.

A contribuição deste trabalho no Portal PAS/NE, consistirá da utilização dos métodos de clusterização e roteamento, que comporão o módulo de logística de coleta e distribuição de alimentos do pequeno produtor rural.

Os métodos de otimização desenvolvidos neste trabalho podem ser aplicados à logística (clusterização e roteamento) de qualquer cadeia produtiva,

entretanto serão aplicados, para efeito de validação, à cadeia produtiva do leite no contexto do pequeno produtor do estado do Rio Grande no Norte.

No que diz respeito à cadeia produtiva do leite, os números globais impressionam: “133 milhões de propriedades mantêm 363 milhões de cabeças com aptidão leiteira, ocupando 20% das terras agrícolas do Planeta. Mais de 600 milhões de pessoas vivem em propriedades leiteiras.”

O leite é o terceiro produto agropecuário em produção total e o primeiro em valor monetário, fornecendo 5% da energia, 10% da proteína e 9% da gordura consumida em nível global. (GLOBAL DAIRY PLATFORM, 2018). Os maiores produtores mundiais são, pela ordem: União Européia, Estados Unidos da América, Índia, China, Brasil, Rússia, Nova Zelândia, Turquia, Paquistão e México. O que representou 76% do volume do leite mundial em 2016.

O Brasil é o maior produtor de leite da América Latina e o quarto produtor mundial (XIMENES, 2014), sendo comum neste contexto, a existência de grandes empresas e de pequenos produtores (artesaniais ou familiares), os quais atuam na produção e/ou processamento da cadeia leiteira.

No contexto do pequeno produtor rural, a cadeia produtiva leiteira apresenta características bem particulares. É comum entre os pequenos produtores o emprego de recursos tecnológicos tradicionais, sem o uso de inovações que agreguem valor ao produto, além de limitações na estrutura fundiária, nos meios de transporte, bem como, o uso de processamento artesanal na produção dos derivados. Os lucros para à cadeia produtiva do leite ao alcance do pequeno produtor são limitados, pois, a maioria da vezes o principal destino da sua produção é o mercado informal (GURGEL, et al, 2019).

Considerando as particularidades da produção leiteira “familiar”, fatores relativos à forma de coleta, tipo de transporte e à logística de distribuição dos produtos são determinantes para a ocorrência de baixos lucros, (ou mesmo prejuízos) e funcionam como limitantes do acesso de tais produtores à políticas públicas.

Dado o cenário existente, a implementação de um modelo de otimização que considere como variáveis às atividades de identificação de nichos produtores (*clusters*), a logística de coleta, de transporte e da distribuição do leite e de seus derivados, poderá contribuir fortemente para a melhoria do desempenho do setor na participação, por exemplo, no processo de compras governamentais.

1.2. PROBLEMA DE PESQUISA

Considerando o contexto da produção agrícola familiar, em particular a cadeia de produção leiteira no RN, este trabalho propõe a modelagem do problema de otimização da logística de coleta, com ênfase na clusterização e o roteamento dos veículos de coleta (Problema do Caixeiro Viajante com Coleta de Prêmios – PCVCP), o qual será abordado computacionalmente através de algoritmos não determinísticos denominados Metaheurísticas. O método de otimização a ser desenvolvido poderá ser aplicado como técnica de apoio à tomada de decisão no processo de gestão estratégica no contexto do problema. Um estudo de caso será realizado utilizando como cenário de experimentação dados relativos à produção leiteira, obtidos em cooperativas do estado do Rio Grande do Norte.

1.3. OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é fornecer um método de resolução para o problema da coleta na cadeia produtiva voltado para produtores rurais de baixa renda (agricultura familiar), bem como apresentar uma aplicação prática para a coleta de leite.

1.3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para alcançar os resultados esperados no objetivo geral, faz-se necessário a resolução dos seguintes objetivos específicos:

- Realizar um levantamento bibliográfico sobre a cadeia de suprimentos bem como da metaheurística proposta;
- Realizar estudo de otimização combinatória e metaheurística focado na metaheurística *Greedy Randomized Adaptive Search Procedure*;
- Definir como será abordada a questão da coleta na cadeia produtiva do agronegócio e, se possível, apresentar um modelo genérico para futuros estudos e pesquisas;
- Implementar os métodos computacionais propostos;

- Realizar experimentos computacionais em ambiente controlado e em instâncias do mundo real relativos à coleta de leite;

1.4. METODOLOGIA DE PESQUISA

Inicialmente foi realizada uma revisão bibliográfica acerca dos assuntos abordados nos capítulos e seções anteriores. Com base nos estudos, foi selecionado um conjunto de técnicas para serem aplicadas ao problema, inicialmente para o problema da rota de coleta, no decorrer dos estudos foi localizada a necessidade de agrupar os fornecedores a outros de forma a maximizar a coleta e evitar perdas. A partir dos fatores observados, optou-se pelo desenvolvimento da metaheurística GRASP para o PCVCP e do algoritmo K-means alterado¹ para agrupar os fornecedores que, possivelmente, não serão selecionados no PCVCP.

Foram realizadas a prototipação de duas versões da metaheurística GRASP aplicada ao PCVCP as quais serão detalhadas na próxima seção. Para a concretização dos objetivos deste trabalho, as seguintes etapas serão adotadas:

1. Conclusão e validação do método proposto;
2. Estudo experimental e aplicação do método em instâncias do mundo real;
3. Análise estatística dos resultados computacionais obtidos.

1.5. ESTRUTURA DO DOCUMENTO

A presente pesquisa é dividida em seis capítulos. O primeiro capítulo apresenta a contextualização do problema, mostrando suas definições básicas, bem como as motivações da pesquisa, os objetivos gerais e específicos juntamente com a organização da dissertação.

O capítulo 2 trabalha toda a base conceitual da pesquisa apresentando o referencial teórico técnico referente aos algoritmos além de uma breve revisão da literatura sobre a área de pesquisa e uma explanação em alguns trabalhos de otimização aplicados a agricultura.

O capítulo 3 apresenta o contexto e a abordagem do problema, apresentando

¹ O algoritmo selecionará um vértice escolhido da rota para ser centroide.

como a solução foi trabalhada, a formulação da solução bem como os algoritmos utilizados.

O capítulo 4, que foi dividido em duas partes principais, trabalha os resultados computacionais obtidos através dos experimentos com instâncias fictícias de terceiros além de uma explanação nos resultados obtidos com uma instância contendo dados do mundo real.

O capítulo 5 apresenta as contribuições científicas de forma direta e por fim no capítulo 6 são apresentados as considerações finais bem como as propostas de trabalho futuro.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo tem por objetivo apresentar temas essenciais para a compreensão deste trabalho e que irão servir de base para a o entendimento de temas posteriores. Neste capítulo, será abordado os temas: otimização combinatória, o problema do caixeiro viajante, o problema de clusterização e também as técnicas que são utilizadas comumente para a resolução de problemas de otimização combinatória: as metaheurísticas.

2.1. OTIMIZAÇÃO COMBINATÓRIA

A otimização combinatória (OC) é um ramo da ciência da computação e da matemática aplicada que estuda problemas de otimização em conjuntos finitos. Segundo (OLIVEIRA, 2018) a OC pode ser definida como um conjunto de procedimentos através dos quais se busca encontrar uma direção que maximize ou minimize uma função objetivo, almejando-se sempre o melhor aproveitamento dos recursos disponíveis.

Atualmente, existem uma grande diversidade de problemas relacionados a OC, os quais aparecem com mais frequência na indústria e na academia. (ARENALES et. al, 2015) apresentam diversos exemplos desses tipos de problemas. A seguir, uma lista com a denominação de alguns problemas clássicos apresentados na literatura.

- Vehicle Routing Problem (VRP) (TOTH; VIGO, 2002);
- Bin Packing (MAN; GAREY; JOHNSON, 1996)
- Hub allocation problems (CAMPBELL, 1994)
- Traveling Salesman Problem (TSP)(JÚNIOR, 2009) cujo uma variação será estudada neste trabalho juntamente com o problema das P – medianas(MLADENOVIC, 2007).

Segundo (BLUM; ROLI, 2003), O problema de otimização $P = (S, f)$ pode ser definido como:

- Um conjunto de variáveis $X = \{x_1, \dots, x_n\}$;
- Domínios de variáveis D_1, \dots, D_n ;
- Restrições entre as variáveis;

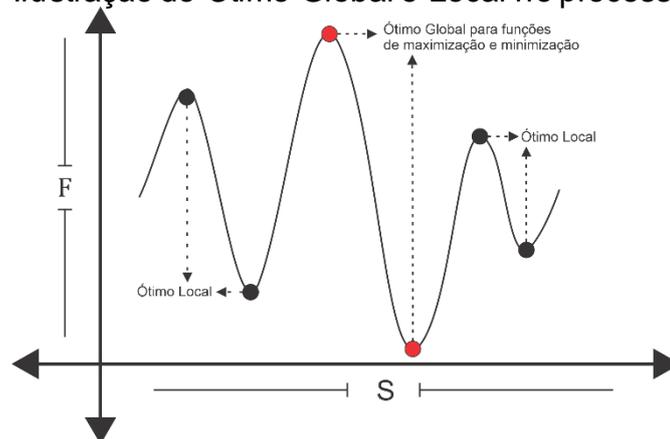
- Uma *função objetivo* a ser minimizada², onde: $f = D_1 \times \dots \times D_n \rightarrow IR^+$;

O conjunto de todas as possíveis soluções é

$$S = \{s = \{(x_1, v_1) \dots, (x_n, v_n)\} \mid v_i \in D_i, s \text{ satisfaz todas as restrições}\}$$

O processo de busca para encontrar o ótimo global pode ser ilustrado na figura 1, em que é apresentado um plano cartesiano onde cada ponto no eixo X representa uma solução distinta dentro das restrições e o eixo Y o valor retornado pela função F. A figura 1, também ilustra a existência de ótimos locais, que por sua vez são soluções aproximativas, dependendo do problema em estudo, os ótimos locais podem ser relevantes. O ponto vermelho superior ilustra o ótimo global para funções de maximização e o inferior para as funções de minimização.

Figura 1 – Ilustração do Ótimo Global e Local no processo de busca



Fonte: Autoria própria

Muitos problemas de otimização combinatória possui uma grande complexidade computacional conforme o tamanho das instâncias³ apresentadas. Apesar do desenvolvimento tecnológico e o avanço da capacidade de processamento e armazenamento dos computadores, essa complexidade torna o problema intratável⁴ e assim, inviabilizando busca por ótimos globais. Para tais problemas, são utilizadas soluções heurísticas aproximativas que apresentam

² A maximização de uma função objetivo é igual a $-f$.

³ Um problema é constituído por: (i) descrição geral dos seus parâmetros e, (ii) descrição das propriedades necessárias para que o problema seja satisfeito. A instância de um problema é a especificação de todos os valores dos parâmetros do problema. (GAREY; JOHNSON, 1979)

⁴ São problemas que podem ser resolvidos na teoria mas que na prática demoram muito tempo para retornar um valor satisfatório. (HOPCROFT; MOTWANI; ULLMAN, 2006)

resultados de boa qualidade, porém, sem garantias de otimalidade. Na secção 2.4 será abordado o método de resolução aproximativa denominado metaheurística.

2.2. PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE

O problema do caixeiro viajante – PCV (do inglês, Traveling Salesman Problem – TSP), considerando um grafo ponderado, pode ser entendido como o problema de otimização combinatória que consistem em determinar um caminho de menor custo que comece e termine no mesmo vértice(circuito) e que todos os vértices do grafo são visitados uma única vez. Este problema está associado a classe NP-Difícil por ser um problema intratável (KARP, 1972).

Segundo (DANTZIG; FULKERSON; JOHNSON, 1954) o PCV teve uma pseudo-aparição entre 1931 e 1934 por Hassler Whitney na *Princeton University*. Com muitas décadas de estudo, se trata de um problema amplamente estudado e difundido na literatura e que possui diversas aplicações práticas, tais como: Oliveira, (2008) que utilizou o problema na coleta de lixo doméstico em zona urbana. (RAMOS; KAMASSURI; DUARTE, 2016) trabalharam utilizando o algoritmo genético, modelou o problema para perfuração em placas de circuito impresso. (YILMAZ; DOĞAN; KOCA, 2015) que utilizaram uma variação do PCV para determinar o comprimento ideal para a destruição de minas terrestres.

O PCV também possui diversas variações que também são amplamente estudadas cada uma com suas respectivas aplicações. O quadro a seguir apresenta exemplos de abordagens utilizando modificações no PCV clássico:

Quadro 2 – Variações do PCV.

Problema	descrição do problema/Aplicação
Caixeiro viajante com coleta de prêmios (PCVCP)	Nesta generalização, o objetivo é encontrar uma rota que visita um subconjunto de vértices de modo a minimizar o custo da rota somado ao somatório dos custos das penalidades associadas a cada vértice (BIENSTOCK, 2993). Oliveira (2018) Utilizou o PCVCP para determinar quais seriam os locais cujo a incidência da rede anelar de alta velocidade Giga Mossoró levará ao maior lucro possível da empresa.
Caixeiro viajante com janelas de tempo	No PCVJT além de encontrar o caminho de custo mínimo que deve ser percorrido por um veículo que parte do depósito e passa por cada cliente uma única vez, cada consumidor deve começar a ser atendido dentro de um intervalo de tempo

(PCVJT)	preestabelecido (REBOUÇAS, 2016).
Caixeiro viajante com grupamentos (PCVG)	Nesta variação, além de determinar a rota de menor custo passando por todas as cidades, os vértices estão distribuídos em conjuntos de modo que a incidência do caminho for um vértice deste grupo, todos os demais vértices desse mesmo grupo devem ser visitados em seguida para que a rota possa continuar. (CHISMAN, 1975) (MESTRIA, 2016).
Caixeiro viajante periódico (PCVP)	Seja um grafo ponderado um conjunto de clientes a serem visitados dado um conjunto de dias, cada cliente deve ser visitado determinado número de vezes ao fim do período. O PCVP consiste em determinar uma rota, para cada dia, com início e fim em um determinado depósito, garantindo que todos os clientes serão visitados o número de vezes que foi solicitado. (CRESPO, 2018) (CHRISTOFIDES; BEASLEY, 1984)
Caixeiro viajante com dependências de tempo (PCVDT)	Nesta variação, cada vértice do grafo deve ser visitado uma única vez com início e fim no mesmo vértice, porém a diferença é que o custo associado a cada vértice varia de acordo com a posição em que o vértice se encontra na rota. (GOUVEIA, 1995) (GODINHO; GOUVEIA; PESNEAU, 2014)
Problema do roteamento de veículos (do inglês <i>vehicle routing problem-VRP</i>)	Este problema é definido por uma frota que deve percorrer um determinado percurso e voltar a um depósito de modo a minimizar o custo total de transição. Caso a frota seja composta por apenas um veículo o problema se torna o PCV clássico. A descrição supracitada representa a sua versão mais básica, na literatura existem diversas variações que podem ser adaptadas as mais diversas situações. (GOLDEN; RAGHAVAN; WASIL, 2008) (DANTZIG; FULKERSON; JOHNSON, 1954)

Seja $G = (V, A)$ um grafo completo direcionado contendo um conjunto V de vértices e um conjunto A de arestas, cada aresta (i, j) , sendo i o vértice de origem e j o vértice de destino da aresta, possui um custo associado C_{ij} e uma variável binária de atribuição X_{ij} , onde o valor 1 representa que o caminho foi selecionado na rota e 0 caso contrário. O modelo matemático do PCV é:

$$\text{Min} \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} C_{ij} X_{ij}$$

S.T.

$$\sum_{i \in V} X_{ij} = 1 \quad j \in V \quad (1)$$

$$\sum_{j \in V} X_{ij} = 1 \quad i \in V \quad (2)$$

$$u_i - u_j + nX_{ij} \leq n - 1, i \neq j, i \in V, j \in V, n = \text{Conjunto de cidades} \quad (3)$$

$$X_{ij} \in \{1,0\} \quad (4)$$

O propósito da função objetivo é minimizar o somatório do custo de deslocamento, a primeira e a segunda restrição indicam se um vértice foi selecionado, devera existir caminho de entrada e saída de apenas 1 unidade em cada um dos vértices do grafo, a terceira restrição assegura a inexistência de sub-rotas na solução final, a quarta restrição indica que a variável X deve ser binária. Este modelo é uma variação do modelo proposto por Balas (2007) adicionando a restrição de eliminação de sub-rotas de Aplegate et al.(2006)

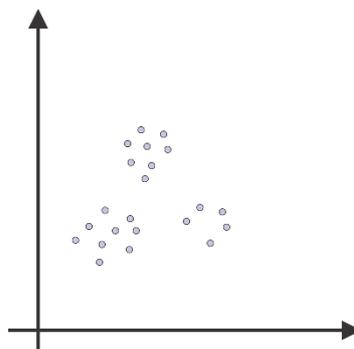
2.3. CLUSTERIZAÇÃO

A clusterização (do inglês *clustering*) é uma técnica utilizada para agrupar dados de acordo com a semelhança entre eles (JAIN; MURTY; FLYNN, 1999). Assim, um problema de clusterização (PC) trata-se de agrupar objetos de uma base de dados X , de modo que os mais similares fiquem no mesmo cluster e os mais distintos sejam alocados para clusters diferentes (OCHI; DIAS; SOARES, 2004).

Em um PC o número de clusters pode ser atribuído previamente antes da análise dos dados, mas caso esses números não sejam definidos, o PC denota-se problema de clusterização automática (PCA) (BERKHIN, 2006) (DOVAL; MANCORIDIS; MITCHELL, 1999). As figuras 1 e 2 Ilustram em um plano cartesiano um exemplo de clusterização simples de dados.

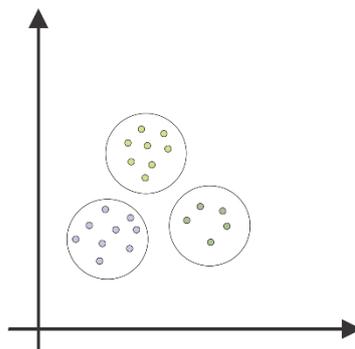
Figura 2: Processo de clusterização.

Figura 2a – Dados a serem clusterizados.



Fonte: Autoria própria com base em Hugo (2017).

Figura 2b – Dados após a clusterização



Fonte: Autoria própria com base em Honda (2017)

No plano cartesiano de duas dimensões ilustrado nas figuras 2 e 3, cada dimensão representa uma característica a ser analisada para depois ser agrupada de acordo com essas duas características. A figura 3 nos apresenta 3 clusters que foram formados a partir da análise dos dados obtidos na figura 2. Das diversas técnicas e algoritmos para resolver um PC, neste trabalho será abordado o algoritmo *K-means*, que na próxima seção será detalhado.

Vários trabalhos foram feitos com aplicações práticas com clusterização, a seguir, será listado algumas aplicações de PC e mineração de dados com clusterização.

- Identificação de padrões de consumo de energia (BARCELLOS; VITERBO; BERNARDINI, 201-);
- Clusterização em sistemas de manufatura (TRINDADE, 2004);
- Clusterização em grafos (DIAS, 2004);
- Identificação de grupos de aprendizado do ensino presencial (PIMENTEL; DE FRANÇA; OMAR; 2003).
- Entre outras

Em termos gerais, algoritmos de clusterização são implementados com 3 objetivos: Aquisição de informações sobre os dados, indicar o grau de similaridade entre as formas e organizar os dados e resumi-los em forma de clusters (JAIN, 2010).

2.3.1. O ALGORITMO K-MEANS

Dos algoritmos de clusterização, o algoritmo *K-means* é um dos mais populares, segundo Jain et al(1999) isso se dá devido a sua simplicidade de implementação e por ele ser um algoritmo $O(n)$, onde n é o número de clusters. Seu funcionamento ocorre através de centróides como representantes dos grupos (clusters), o objetivo desse algoritmo é minimizar o somatório do custo da distância entre todos os objetos até o centroide do grupo a que ele pertence. (PIMENTEL; DE FRANÇA; OMAR; 2003).

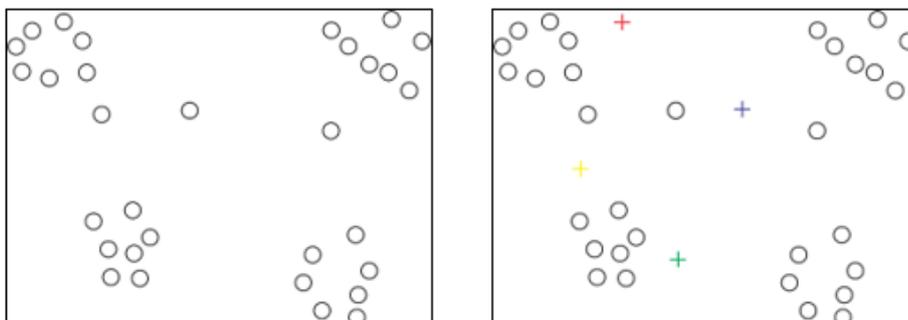
O algoritmo *K-means* funciona da seguinte maneira (FONTANA; NALDI, 2009):

1. Atribuem-se valores iniciais para os protótipos⁵ seguindo algum critério, por exemplo, sorteio aleatório desses valores dentro dos limites de domínio de cada atributo;
2. Atribui-se cada objeto ao grupo cujo protótipo possui maior similaridade com o objeto;
3. Recalcula-se o valor do centróide (protótipo) de cada grupo, como sendo a média dos objetos atuais do grupo;
4. Repete-se os passos 2 e 3 até que os grupos se estabilizem;

A figura 3 ilustra o funcionamento do algoritmo de acordo com os passos descritos nesta seção:

Figura 3: Processo de clusterização.

(a) - Conjunto de dados e seleção de centróides.

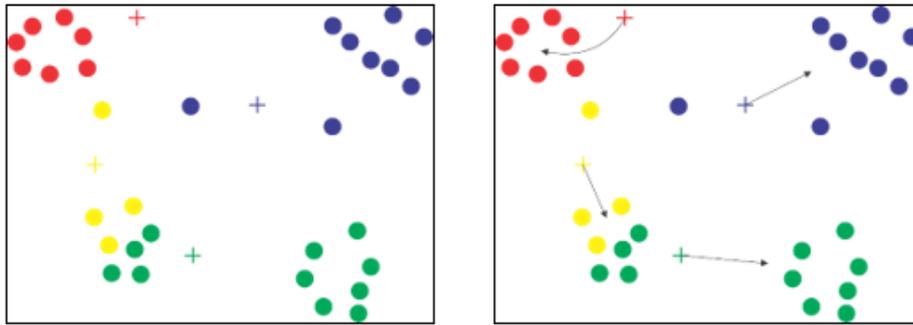


Fonte: Autoria própria com base em (FONTANA; NALDI, 2009).

⁵ Centróides escolhidos como representante do grupo.

A figura 3a apresenta um conjunto de dados e o passo 1, definição de centroides, o algoritmo atribuiu 4 centróides de forma aleatória (representados pelo +, cada qual com uma cor representando seu cluster).

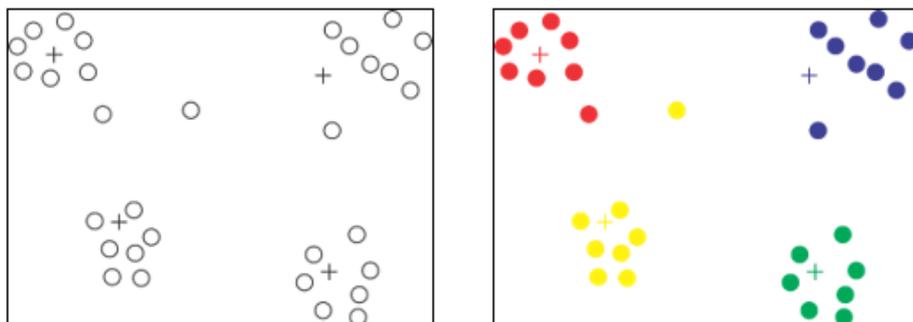
(b) - Etapas 2 e 3.



Fonte: Autoria própria com base em (FONTANA; NALDI, 2009)

Segundo a figura 3b, os dados são atribuídos ao grupo cujo centróide é mais parecido e em seguida, é realizada uma alteração na localização do centróide, ele se desloca para a posição relativa à média dos valores dos objetos pertencentes ao seu grupo.

(c) Continuação da execução.



Fonte: Autoria própria com base em (FONTANA; NALDI, 2009)

A figura 3c encerra a execução do algoritmo repetindo os passos 2 e 3, neste exemplo trivial, uma execução apenas foi necessário para que os centróides se estabilizassem, assim, encerrando a execução com os objetos atribuídos aos seus respectivos grupos.

2.4. METAHEURÍSTICAS

Nas áreas de estudo da computação, pesquisa operacional e engenharia, existe recorrência de problemas reais de difícil solução que requerem uma abordagem mais sofisticadas tais como:

- Determinar uma sequência ótima de processos de trabalho em uma cadeia de produção;
- Estabelecer o caminho mais curto entre vários pontos de demanda de um serviço;
- Determinar o melhor roteamento de dados na internet;
- Encontrar uma designação ótima de trabalhos e tarefas a serem realizadas;
- Etc;

Esses problemas tem em comum sua alta complexidade que impossibilita a utilização de métodos exatos⁶ em virtude de sua grande demanda de processamento, e/ou pela dificuldade na elaboração de um modelo analítico e preciso das tarefas a serem realizadas. Uma alternativa para tais problemas é a utilização soluções aproximativas, como metaheurísticas, onde sacrificamos a garantia de encontrar soluções ótimas para obter boas soluções em um tempo significativamente reduzido (LIMA JUNIOR, 2009), (BLUM; ROLI, 2008).

O termo metaheurística foi introduzido por (GLOVER, 1986) e é uma técnica que permite a geração de soluções de "alta qualidade" para esses tipos de problemas em tempos de computação relativamente curtos. Historicamente, eles têm sido aplicados principalmente em cenários simplificados onde a incerteza da vida real⁷ geralmente não é levada em conta (JUAN; FAULIN; GRASMAN; RABE; FIGUEIRA, 2015).

Existem diversos tipos de metaheurísticas que podem ser usadas e adaptadas aos mais diversos tipos de problemas de otimização combinatória. (GOLDBARG et. al 2017), (GASPAR-CUNHA et. Al, 2012) apresentam e detalham um conjunto geral de metaheurísticas. Neste trabalho, será utilizado a metaheurística *greedy randomized adaptive search procedure* clássica e algumas variações que serão detalhadas em seções posteriores.

⁶ Relaxações, Branch-and-Bound, Programação Dinâmica, etc.

⁷ Comportamento estocástico ou aleatório.

2.4.1. METAHEURÍSTICA GRASP

Greedy randomized adaptive search procedure – GRASP, é uma metaheurística que foi desenvolvida por (FEO; RESENDE, 1995). Seu funcionamento ocorre de forma iterativa em que cada iteração é composta por duas fases, a fase de construção e a de busca local. A primeira é responsável pela criação de uma solução inicial e a segunda de aprimorar a solução gerada anteriormente. Cada fase será discriminada nas próximas seções.

As iterações da metaheurística GRASP funcionam de forma independente, ou seja, em cada iteração, uma nova solução é formada sem levar em consideração a solução que foi formada da iteração anterior. O número de iterações é estabelecido de acordo com a necessidade do desenvolvedor⁸. O algoritmo 1 apresenta o pseudocódigo de uma versão simplificada da metaheurística GRASP onde:

Algoritmo 1 – Metaheurística GRASP

Algoritmo 01 – GRASP

```

01: procedure GRASP(D,  $\alpha$ )
02:   S  $\leftarrow$   $+\infty$ 
03:   while “critério de parada” do
04:     S1  $\leftarrow$  GulosoAleatorio(D,  $\alpha$ )
05:     S2  $\leftarrow$  BuscaLocal(S1)
06:     if S2 < S then
07:       S  $\leftarrow$  S2
08:     end if
09:     “Atualiza critério de parada”
10: end procedure

```

- D – Representa a instância do problema (No PCV, uma matriz de distância);
- α – É o parâmetro que indica o nível de aleatoriedade e o comportamento guloso;
- S – Representa o valor da solução final;
- S1 – É a solução inicial depois de realizar o procedimento de construção de solução de forma gulosa aleatória;
- S2 – É o processo de refinamento onde há uma tentativa de melhora na solução inicial S1 através de pequenas mudanças nessa solução.

⁸ Podendo ser número fixo de iterações, tempo decorrido, uma solução satisfatória, etc.

2.4.1.1. FASE DE CONSTRUÇÃO

Na fase de construção, o algoritmo cria uma solução de forma randômica e/ou gulosa, o valor Alpha (α) é o parâmetro que indica o grau de aleatoriedade. A solução é construída um elemento por vez, esse elemento é retirado de uma lista contendo uma parte dos elementos da instância, tal conjunto é denominado lista restrita de candidatos (LRC), a lista que contém todos os elementos da instância é nomeada de lista de candidatos (LC) e é dessa lista que é formada a LRC.

O tamanho da LRC (TLRC) é igual a $1 + \alpha(N-1)$ onde N é o número de elementos da LC, o parâmetro alfa (α) é um valor entre 0 e 1 e define a aleatoriedade da fase de construção. É importante lembrar que se o valor α receber 1, a fase vai ser completamente aleatória, se for 0 a solução será totalmente gulosa e o algoritmo vai retornar sempre o mesmo valor em cada iteração e isso não é interessante pois o objetivo é aprimorar os resultados no decorrer das iterações.

A LRC é preenchida com os correspondentes aos primeiros elementos da LC⁹. Com a LRC preenchida, um elemento é selecionado de maneira aleatória e é adicionado a solução inicial, este mesmo elemento é removido da LC. A etapa é concluída quando a LC não tiver mais elementos e assim, a solução inicial está concluída. O algoritmo 2 apresenta o pseudocódigo da etapa de construção de forma gulosa aleatória.

Algoritmo 02 - Algoritmo Guloso Aleatório

Algoritmo 02 – Algoritmo Guloso Aleatório

```

01: procedure GulosoAleatorio(D,  $\alpha$ )
02:   LC <- ordena (D)
03:   while "solução incompleta" do
04:     LRC <- ConstruirLRC(LC,  $\alpha$ )
05:     e <- SeleccionaElementoAleatorio(LRC)
06:     S <- S U {e}
07:     LC <- LC – {e}
08:   end while
09:   return S
10: end procedure

```

⁹ A LC deve ser ordenada previamente, como apresenta o algoritmo 2, o critério de ordenação é preestabelecido de acordo com o problema a ser tratado.

2.4.1.2. FASE DE BUSCA LOCAL

Fase de busca local é um procedimento que tem por objetivo encontrar um conjunto de soluções S que sejam formadas a partir de pequenas modificações feitas a partir de uma solução inicial S_i , este conjunto de soluções é denominado vizinhança de S_i . Esta fase tem por objetivo melhorar a solução que foi criada a partir da fase de construção.

São exemplos de busca local algoritmos como melhoria iterativa e descida mais rápida. Neste trabalho, foi utilizado o algoritmo de busca local vizinhança 2opt. Esse algoritmo foi proposto por (Croes 1959) e é um algoritmo simples de busca local. Aplicado ao problema do caixeiro viajante, ele remove duas arestas formando duas sub rotas, e reconecta usando uma rota alternativa. O quadro 3 exemplifica parte do funcionamento do algoritmo com uma rota de 5 elementos (a, b, c, d, e) e o algoritmo 2 é o pseudocódigo.

Algoritmo 02 - Algoritmo de busca local 2opt

Algoritmo 02 – Algoritmo 2opt

```

01: procedure 2opt( $S_i$ )
02:    $S^* \leftarrow S_i$ 
03:    $melhorS \leftarrow S^*$ 
04:   For ( $i \leftarrow 0$ ;  $i < S.length$ ;  $i++$ ):
05:     For ( $j \leftarrow 1$ ;  $j < S.length$ ;  $j++$ ):
06:        $auxS \leftarrow S^*[i]$ 
07:        $S^*[i] \leftarrow S^*[j]$ 
08:        $S^*[j] \leftarrow auxS$ 
09:       if ( $avalia(S^*) < avalia(melhorS)$ )
10:          $melhorS \leftarrow S^*$ 
11:     End For
12:   End For
13:   Return  $melhorS$ 
14: end procedure

```

- S – Representa o vetor da solução a ser aprimorada;
- S^* – É um vetor auxiliar onde serão feitas as trocas;
- $melhorS$ – É um vetor que vai armazenar o melhor resultado no decorrer das iterações e que armazenará o resultado a ser retornado;
- $avalia()$ – É uma função de avaliação;
- $auxS$ – É uma variável para auxiliar as trocas.

O conjunto de soluções S são todas as soluções obtidas no decorrer das

iterações do algoritmo.

Quadro 3 – Exemplo de busca local 2opt para o PCV.

[a, b, c, d, e]
[b, a, c, d, e]
[e, c, a, d, b]
[d, b, c, a, e]
[a, c, b, d, e]
[a, d, e, b, c]
[a, b, e, c, d]
[a, d, b, c, e]

Fonte – autoria própria

Cada modificação na rota é avaliada e ao fim de todas as modificações, a que será selecionada é a que oferecer o melhor desempenho (menor custo).

2.5. TRABALHOS RELACIONADOS

Diversos estudos de otimização foram realizados na área da agricultura e para a gestão de recursos na cadeia de suprimentos. Neste contexto, esta seção fará uma breve explanação sobre trabalhos que foram realizados além de fazer um comparativo entre este trabalho e os outros aqui apresentados.

FÖRSTER JUNIOR(2019) desenvolveu um método para realizar o planejamento de rotas em campos agrícolas buscando minimizar a compactação do solo nas cabeceiras, a distância percorrida e os gastos de combustível. Para tal, foi desenvolvido o Algoritmo de Otimização por Nuvem de Partículas (PSO) e o Algoritmo de Colônia de Formigas (ACO) onde o ACO é utilizado de forma auxiliar ao PSO.

DUDA (2014) propôs um sistema de apoio a tomada de decisão a ser aplicado nas rotas de distribuição de produtos agrícolas com o objetivo de minimizar os custos relacionados a entrega desses produtos. Foi desenvolvida 2 heurísticas, uma de varredura e uma construtiva, além da metaheurística Busca Tabu.

No trabalho de BADARUDIN et. al.(2009) foi feito um estudo com o objetivo de fornecer métodos inteligentes a fim de alocar os recursos(plantas, vias de irrigação, etc) nas terras agrícolas de forma ideal e organizar a área de plantio com propósito de se obter o melhor layout. Das metaheurísticas implementadas a que

obteve melhores resultados foi o Algoritmo Genético (AG).

SILVA (2016) utilizou o problema do caixeiro viajante com coleta de prêmios para reduziros custos de deslocamento no serviço de terraplanagem em municípios de pequeno porte. Para tal, foi utilizado apenas modelagem exata utilizando o software Lingo.

O trabalho aqui descrito trabalha utilizando métodos exatos, heurísticos e aproximativos. Devido as peculiaridades deste trabalho, não foram identificados outros trabalhos que estudassem a mesma problematica da forma que está aqui descrito.

3. ABORDAGEM DE SOLUÇÃO PROPOSTA

Neste capítulo o problema a ser resolvido, bem como o modelo e método de resolução propostos serão definidos e detalhados, além de apresentar as estruturas de dados e de resolução do problema.

3.1. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA PROPOSTO

A coleta de produtos no Brasil é de extrema importância para a economia nacional. No 4º trimestre de 2018 o Brasil produziu mais de 6 bilhões de litros de leite, aos quais, são direcionados a indústria para seguir na cadeia de suprimentos (IBGE, 2018). São 1.3 milhões de produtores, 2 mil indústrias processadoras (ZOCCAL, 2016).

No interior do Brasil grande parte dos produtores de leite são de baixa renda, aos quais estão associados em cooperativas que são responsáveis pela coleta, processamento e distribuição do leite. Embora diversos trabalhos tenham sido realizados na cadeia de suprimentos direcionado a coleta de produtos, a maioria está direcionado a indústrias de maior renda, e estão direcionados na seleção de produtores. Este trabalho tem foco na coleta generalizada para produtores de baixa renda.

Devido a distribuição geográfica dos pontos de produção, o problema passa a ser de grande complexidade. Se tratando apenas de definir qual a melhor rota, o problema já passa a ser considerado NP-Difícil, pois é um PCV. O problema não se resume a melhor rota passando por todos, mas selecionar a melhor, definir quais são as localizações que afetam o custo de coleta e definir um conjunto de clusters aos quais devem ser organizados a fim de maximizar o lucro associado a rota.

Devido a suas peculiaridades o presente trabalho se trata de um caso particular do PCVCP ao qual é necessário que todos os vértices do grafo que não foram selecionados sejam alocados a um dos vértices que foram selecionados na rota principal.

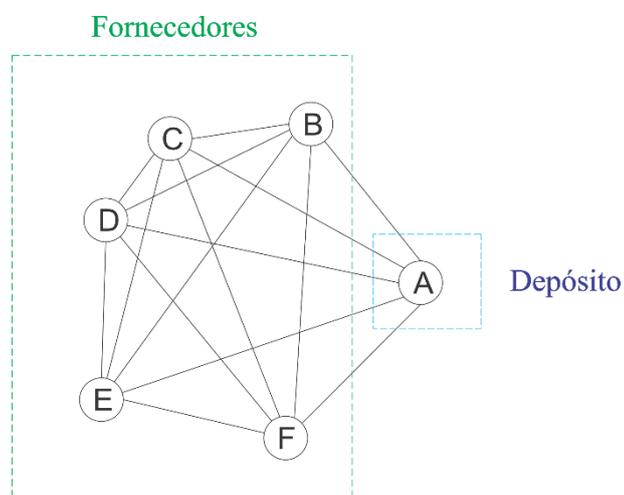
Por ser um problema indecidível, métodos computacionais exatos se tornam

inviáveis, pois para instâncias de grande porte o tempo de processamento, nas máquinas atuais, cresce exponencialmente à medida que as instâncias passam a crescer. Faz-se necessário o uso de métodos aproximativos. Para este trabalho utilizaremos a metaheurística GRASP mais a adição de uma função externa para resolver o problema da coleta de produtos na cadeia de suprimentos.

3.2. MODELO E MÉTODO DE RESOLUÇÃO PROPOSTO

Para resolver o problema da coleta de produtos na rede de suprimentos, é necessário que a instância real seja modelada em forma de um grafo ponderado G , um vértice representa a cooperativa ou depósito a coletar os produtos e os demais vértices representam os produtores a qual o depósito irá recolher os produtos. As arestas representam os caminhos entre eles cujo valor é a distância. A figura 4 ilustra uma instância do problema em forma de grafo para a coleta do leite

Figura 4 – Grafo representando uma situação real.



Fonte: Autoria própria.

Na figura 4 o vértice A representa o depósito a qual será feito a coleta e armazenamento do leite presente nos fornecedores B, C, D, E e F. O objetivo é encontrar a rota em que a coleta seja feita com o menor custo possível. Devido às características do problema optou-se por modelar o problema como sendo uma instância do PCVCP, onde cada fornecedor tem um lucro e um custo associado a ele de modo que o prêmio representa o ganho do depósito em visitar esse vértice e

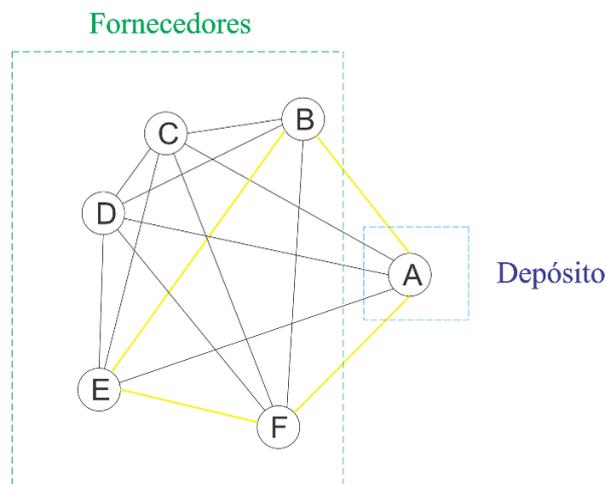
a penalidade é referente a todas as perdas do depósito em abandonar aquele fornecedor (distância, coleta que ele teria, etc.).

Em algumas execuções, a rota selecionada pode optar por não coletar o leite em algum dos fornecedores. A solução para que nenhum fornecedor deixe de oferecer seu produto e não aumente o custo da coleta, foi decidido realizar um agrupamento de fornecedores, onde aqueles vértices que não estiverem na incidência da rota definida pelo algoritmo inicialmente, devem agrupar e enviar seus recursos ao vértice mais próximo que faz parte da rota de coleta. O passo a passo pode ser visualizado na figura 5.

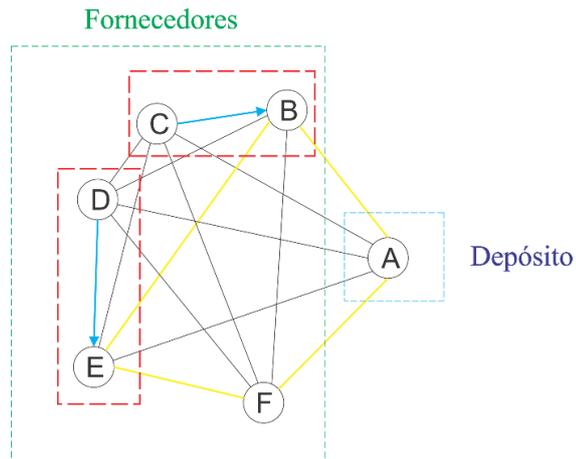
A figura 5 ilustra a rota obtida pelo PCVCP, o algoritmo julgou como inviável a coleta dos fornecedores representados pelos vértices C e D e forneceu a rota: A-B-E-F-A, com o início e fim da rota sendo o depósito, ou seja, o vértice A. A figura 5a forneceu dois clusters juntando o depósito C com o B e o depósito D com o E.

Figura 5 – Representação gráfica de uma solução viável para o problema proposto.

(a) Representação do caminho após execução do PCVCP.



(b) Representação dos clusters para agrupar os vértices não selecionados.



Fonte: Autoria própria.

O objetivo da presente pesquisa é encontrar uma rota que possibilite a redução da complexidade da coleta na cadeia de suprimentos, voltado para a agricultura familiar de pequeno porte, através da utilização de uma modelagem de otimização com uma abordagem metaheurística para a solução.

3.3. METODOLOGIA

Para resolver o PCVCP, a metaheurística GRASP foi implementada utilizando como critério de parada o número de execuções igual a 500000 e o parâmetro alfa igual a 0.30, ou seja, com 30% de aleatoriedade. Além disso, a solução é composta por um vetor de vértices que é a rota a ser seguida pela coleta. Esse vetor é avaliado segundo a função objetivo do PCVCP:

$$\min \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} C_{ij} X_{ij} + \sum_{i \in V} P_i * (1 - Y_i)$$

Ou seja, o somatório dos custos mais o somatório das penalidades dos vértices que não foram escolhidos. O algoritmo 3 apresenta como foi desenvolvido a metaheurística GRASP:

Algoritmo 3 – GRASP desenvolvido inicialmente.

Algoritmo 01: GRASPv1

```

1   S ← ∞
2   Enquanto condição de parada não atingida, faça:
3     S* ← Solução Inicial Gulosa Aleatória
4     S* ← Busca Local (S*, α)
5     Se S* < S então
6       S ← S*
```

```

7      Fim Enquanto
8       $S^* \leftarrow S$ 
9      Enquanto condição de parada não atingida, faça:
10      $S^* \leftarrow \text{Remover Vértices}(S^*)$ 
11     Se  $S^* < S$  então
12      $S \leftarrow S^*$ 
13     Fim Enquanto

```

A heurística de remoção de cidade presente no algoritmo 3 funciona de forma gulosa aleatória e sua execução de parada é o número de execuções (igual a condição de parada do GRASP original). Antes de remover qualquer elemento é feito um teste para verificar se a nova solução gerada continua dentro do limite de restrições.

De acordo com a modelagem feita por Chaves, (2003), foi feita uma alteração no algoritmo GRASP, que passou a ser executado dentro do primeiro laço (linha 2) somente a criação de solução inicial, a busca local passou a ser executada apenas na melhor solução inicialmente criada após o critério de parada ser alcançado. O algoritmo 4 apresenta o algoritmo com tais mudanças. Esse método permite que apenas uma solução de boa qualidade seja utilizada nos procedimentos posteriores.

Algoritmo 4 – Segunda versão do algoritmo GRASP.

```

Algoritmo 01: GRASPV2


---


1       $S \leftarrow \infty$ 
2      Enquanto condição de parada não atingida, faça:
3       $S^* \leftarrow \text{Solução Inicial Gulosa Aleatória}$ 
4      Se  $S^* < S$  então
5       $S \leftarrow S^*$ 
6      Fim Enquanto
7       $S^* \leftarrow \text{Busca Local}(S, \alpha)$ 
8      Enquanto condição de parada não atingida, faça:
9       $S^* \leftarrow \text{Remover Vértices}(S^*)$ 
10     Se  $S^* < S$  então
11      $S \leftarrow S^*$ 
12     Fim Enquanto

```

A alteração supracitada ocasionou em uma redução média de 1% nos resultados da função objetivo, porém, esse resultado mostrou uma melhora significativa no tempo de execução, assim, ele se torna uma versão mais suscetível a melhora com a adição de novas heurísticas e técnicas já que seu tempo de execução é mínimo.

4. RESULTADOS COMPUTACIONAIS

Neste capítulo será explorado a execução dos métodos utilizados e será dividido em duas partes, a seção 4.1 serão abordadas as instâncias fictícias e de outros trabalhos onde o desempenho poderá ser avaliado, já a seção 4.2 será abordada uma instância que foi feita com base em dados do mundo real.

4.1 TESTES PRELIMINARES

O problema foi dividido em duas partes as quais estão sendo, a priori, trabalhadas individualmente, a primeira parte foi o desenvolvimento da metaheurística GRASP aplicada ao PCVCP, já a segunda se trata da alocação dos vértices não selecionados anteriormente. Para validar a formulação matemáticas e avaliar os resultados obtidos pela metaheurística, o modelo matemático foi implementado no *software* CPLEX versão 12.8 integrado na linguagem de programação C++. Todos os testes computacionais foram feitos em uma máquina com processador intel® core™ i5-8250U @ 1.6GHz com 8GB de memória RAM, com sistema operacional *Windows* 10 64 bits – processador x64.

A validação qualitativa dos dados foi feita com base apenas na primeira parte do problema, a alocação dos vértices não selecionados é feita de forma gulosa e os seus resultados são sempre ótimos, então a validação desta se torna desnecessária.

Os testes foram executados em dois tipos de instância, as instâncias

presentes no trabalho de Chaves, (2003) e nas do trabalho de Oliveira, (2018). As primeiras podem ser acessadas em <http://www.decom.ufop.br/prof/marcone/Orientacoes/OrientacoesConcluidas.htm>, elas possuem 11 e 21 vértices (com depósito incluso na contagem). O outro é formado por instâncias de 10, 20 e 30 localizações. Em todas as instâncias foi utilizado o prêmio mínimo de 75% do total.

Tabela 1: Resultados exatos obtidos com as instâncias de Chaves, (2003).

Instância	Função Objetivo	Tempo(s)	Prêmio Mínimo	Coletado	Penalidade	Não Visitados
PCVCP_11	1.765	0.09	287,25	332	10	2
PCVCP_21	3.303	0.28	756	920	101	2

Fonte: Autoria própria

Tabela 2: Resultados exatos obtidos com as instâncias de Oliveira, (2018).

Instância	Função Objetivo	Tempo(s)	Prêmio Mínimo	Coletado	Penalidade	Não Visitados
PCVCP_10	19.670	0,09	5.866,5	6.679	90	1
PCVCP_20	20.091	26,83	17.659,5	18.441	350	5
PCVCP_27	20.611	4573,75	27.186,8	28.529	490	7

Fonte: Autoria própria

As tabelas a seguir apresentam a execução das duas versões do GRASP apresentadas neste capítulo.

Tabela 3: Análise comparativa entre o método exato e a metaheurística GRASPv01.

	Instância	Exato	GRASPv01	ElevaçãoV01
PCV_ CP10	Função objetivo	19.670	19.670	0,00%
	Tempo (s)	0,09	1,4	93,57%
PCV_ CP11	Função objetivo	1765	1.892	6,71%
	Desvio Padrão	NE	259,75	NE
	Tempo (s)	0,09	1,78	94,94%
PCV_ CP20	Função objetivo	20091	22953,67	12,47%
	Desvio Padrão	NE	707,18	NE
	Tempo (s)	26,83	9,26	-189,74%
PCV_ CP21	Função objetivo	2302	4323	46,75%
	Desvio Padrão	NE	412,86	NE

	Tempo (s)	0,28	22,42	98,75%
PCV_ CP27	Função objetivo	20.611	27.729,93	25,67%
	Desvio Padrão	NE	1.335,94	NE
	Tempo (s)	4.573,75	23,84	-19085,19%

Fonte: Autoria própria

Tabela 4: Análise comparativa entre o método exato e a metaheurística GRASPV02.

	Instância	Exato	GRASPV02	ElevaçãoV02
PCV_CP10	Função objetivo	19.670	19.670	0,00%
	Tempo (s)	0,09	0,48	81,25%
PCV_CP11	Função objetivo	1.765	1.959,06	9,91%
	Desvio Padrão	NE	338,08	NE
	Tempo (s)	0,09	0,6	85,00%
PCV_CP20	Função objetivo	20.091	23.165,97	13,27%
	Desvio Padrão	NE	637,65	NE
	Tempo (s)	26,83	1,55	-1630,97%
PCV_CP21	Função objetivo	2.302	4.358,77	47,19%
	Desvio Padrão	NE	442,15	NE
	Tempo (s)	0,28	3,03	90,76%
PCV_CP27	Função objetivo	20.611	27.974,30	26,32%
	Desvio Padrão	NE	1.579,18	NE
	Tempo (s)	4.573,75	2,16	-211647,69%

Fonte: Autoria própria

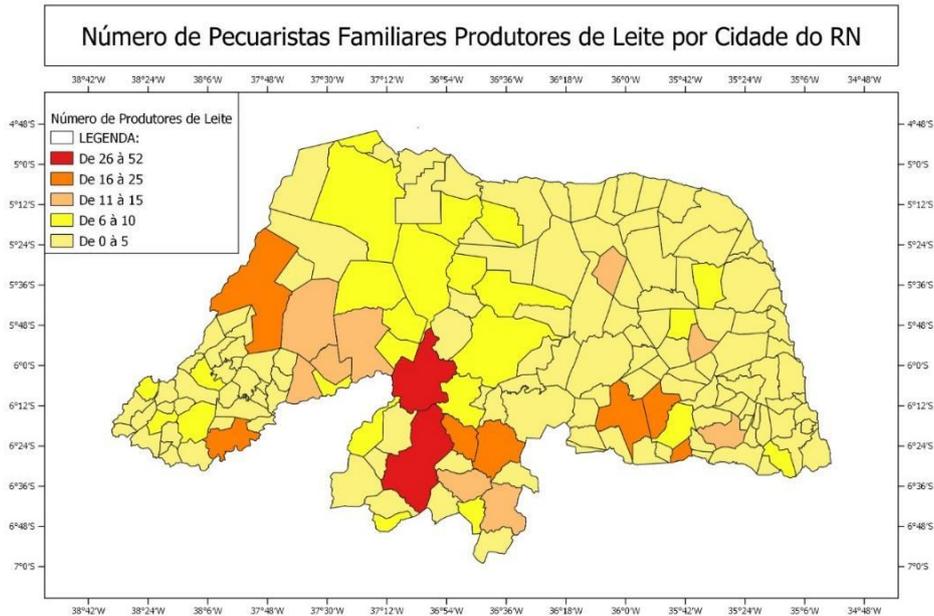
4.2 EXPERIMENTO COM INSTÂNCIA REAL

Como apresentado em capítulos anteriores, a agropecuária no Brasil é de suma importância levando renda e produtos a diversas famílias dentro e fora do país. O Rio Grande do Norte(RN) é uma das regiões que mais contribuem para os grandes números que o Brasil representa como é possível ver na figura 6.

A figura 7 apresenta a realidade do RN, essa produção equivale a 12% da participação na produção nacional do leite (SILVA, 2014). Das regiões nesta figura, a região do sertão do Apodí possui uma vasta extensão e produção de leite considerável. Os experimentos realizados neste trabalho foram feitos com base

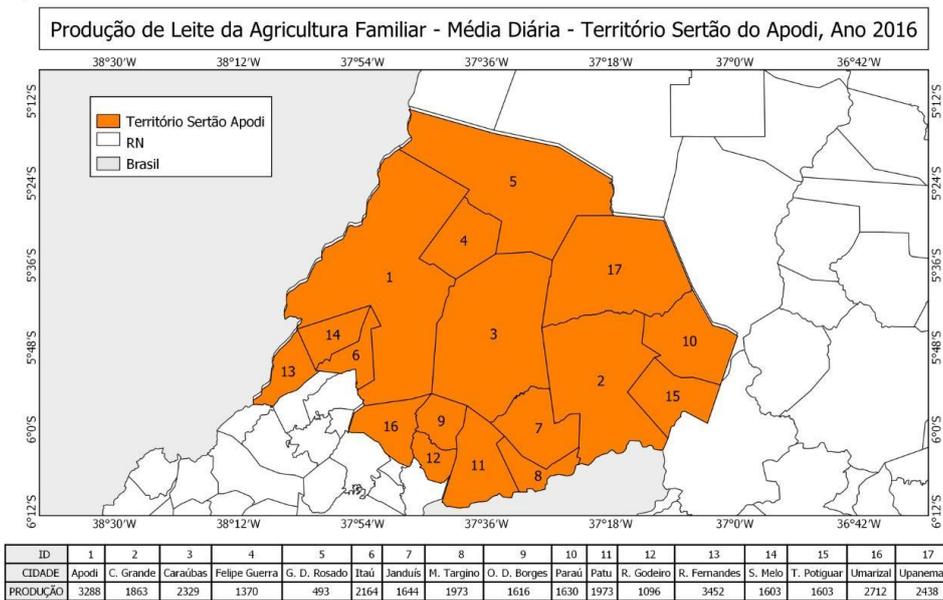
nessa região.

Figura 6: Número de produtores por cidade do RN



Fonte: SILVA 2014

Figura 7: Produção leiteira da região do sertão do apodi



Fonte: GURGEL, et al, 2019.

Neste trabalho foi criada uma instância para o PCVCP com base no mapa representado na figura 8, onde cada cidade da região é um vértice, a distância entre elas foi feita com base no Google Maps, o prêmio de cada vértice é a produção média da cidade e a penalidade é a média da distância de uma cidade para todas as outras dividido pelo número de cidades. A matriz de custo está inserida no apêndice C, o detalhamento do prêmio e penalidades de cada cidade pode ser visualizado na tabela abaixo:

Tabela 5: Prêmios e penalidades de todos municípios da instância

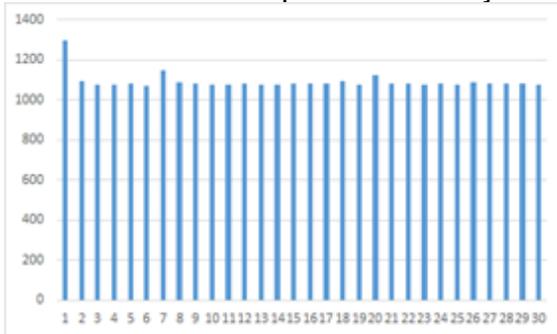
	CIDADES	PRÊMIOS	PENALIDADES
1	Apodi	1200	61
2	Campo Grande	680	52
3	Caraúbas	850	45
4	Felipe Guerra	500	63
5	Governador D Rosado	180	71
6	Itaú	790	62
7	Janduís	600	55
8	Messias Targino	720	55
9	Olho D'agua do Borges	590	47
10	Paraú	595	75
11	Patú	720	51
12	Rafael Godeiro	400	59
13	Rodolfo Fernandes	1260	72
14	Severiano Melo	585	65
15	Triunfo Potiguar	585	64
16	Umarizal	990	53
17	Upanema	890	75

Fonte: Autoria própria

O apêndice A apresenta o resultado de 30 execuções da segunda versão do algoritmo GRASP sobre essa instância. Todas as execuções também foram padronizadas com alfa igual a 0.3 pois esse valor foi o que obteve, em média, melhores resultados de execuções. Também está inserido nos apêndices uma tabela contendo a informação de forma resumida e com análise superficial dos dados.

Em algumas execuções, o algoritmo GRASP encontrou uma solução em que nem todas as cidades foram inseridas na rota principal. Em tais situações, a segunda etapa do algoritmo entra em ação seleciona uma das cidades principais ao qual a cidade não escolhida deverá enviar seu produto para ser encaminhado para a produção. Os gráficos a seguir apresentam as informações do valor das funções objetivo e dos tempos de execução:

Gráfico 1: Tempos de execução.



Fonte: Autoria própria.

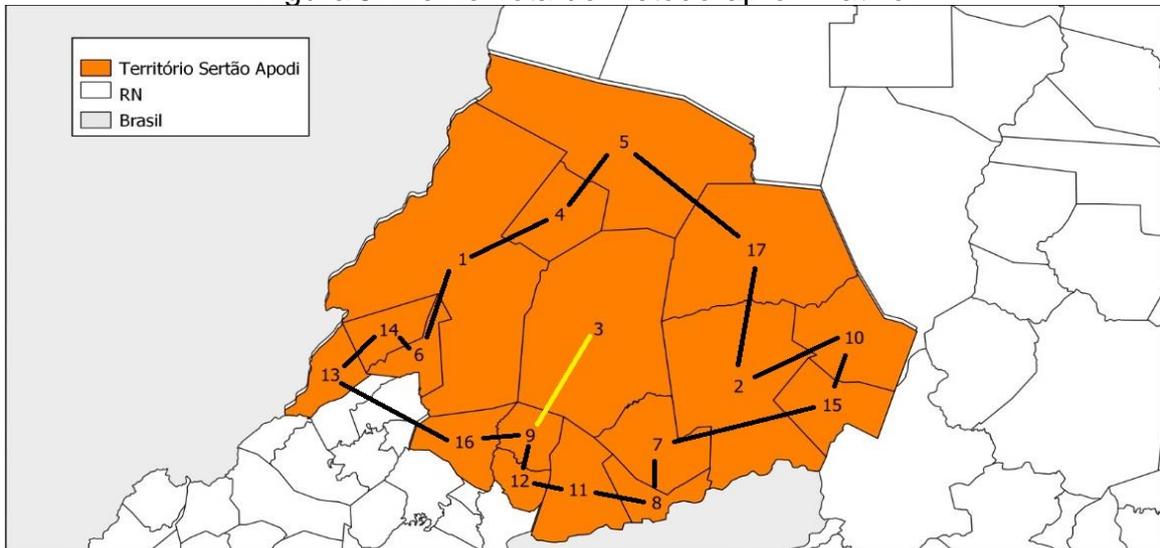
Gráfico 2: FO das execuções



Fonte: Autoria própria.

Em relação ao tempo de execução (por se tratar de instâncias pequenas), a metaheurística obteve valores formidáveis onde o maior tempo de execução é inferior a 1.5 segundos e com a mínima ocorrência de variação. Os valores da função objetivo também tiveram baixa variação dos resultados onde a execução 6 foi a que obteve o melhor resultado, a rota correspondente pode ser visualizada na figura abaixo:

Figura 8: Melhor rota do método aproximativo.



Fonte: Autoria Própria.

O algoritmo definiu que o município de caraúbas não deveria estar na rota principal devido aos parâmetros do algoritmo e das informações da instância, e neste caso ele foi atribuído ao município mais próximo, ou seja, Olho D'agua do Borges.

5. CONTRIBUIÇÃO CIENTÍFICA

Esta pesquisa apresenta material de grande importância para o estudo e implementação, e aplicação à tomada de decisão referente ao problema da coleta na cadeia produtiva. Durante toda a pesquisa não foi encontrado estudos que resolvessem o problema na forma como foi proposto.

Além disso, uma instância foi criada baseada em dados reais que poderá ser utilizada em pesquisas futuras na área de otimização e pesquisa operacional. Tal instância está presente no repositório do github: <https://github.com/roberval1994/OTIMIZA-O-NO-CONTEXTO-DA-CADEIA-PRODUTIVA-DO-AGRONEGOCIO>. No repositório está contido o Javadoc e os todos os arquivos da aplicação e todas as instâncias que foram criadas.

Nesta pesquisa também está descrito uma variação do PCVCP que envolve um alto nível de complexidade e que pode englobar diversas outras situações do mundo real.

Levando em conta o crescimento demográfico e a crescente necessidade de fornecedores e produtos disponíveis para o consumidor final, esta pesquisa contribui com uma solução para este problema com um modelo inteligente de tomada de decisão para a coleta na cadeia produtiva.

Deste modo, o presente trabalho também contribui como uma fonte de pesquisa para futuros estudos acerca do tema, levando em conta que a falta de literatura sobre o tema, na forma que foi proposto, foi perceptível.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A definição de uma rota para a coleta dos produtos de agricultores de pequena renda é um processo de extrema importância do ponto de vista econômico, pois leva a uma redução no consumo de combustíveis, reduz o impacto dos transportes ao meio ambiente além de aumentar a disponibilidade de diversos produtos no consumidor final. Definir tal percurso não se trata de uma tarefa simples porque tal tarefa envolve diversas análises e cálculos em que dependendo do número de produtores pode ser muito problemática.

No decorrer da pesquisa foram observadas diversas limitações relativas ao produtor rural de baixa renda do Brasil tais como tecnologia limitada, estradas de má qualidade e distribuição geográfica complexa. O conjunto de todos os fatores mencionados ocasiona a existência de um problema de alta complexidade prática e computacional.

Dentro do tempo estipulado e do foco da pesquisa foi possível definir métodos inteligentes de tomada de decisão para reduzir a complexidade da coleta dos produtores. Para tal, o problema foi modelado como uma variação do PCVCP onde além da rota principal, foi estipulado certas cidades da rota principal para receber produtos dos produtores que ficaram de fora. Para resolver o problema, foi elaborado duas versões da metaheurística GRASP aos quais podem ser utilizadas em diversos outros contextos com poucas alterações.

Os resultados obtidos neste trabalho se mostram satisfatórios, tendo em vista que os mesmos foram gerados com base em uma análise detalhada das informações obtidas durante a pesquisa e não apresentaram problemas quando em confronto com a instância com informações do mundo real relacionados a coleta de leite.

6.1. TRABALHOS FUTUROS

A ausência de alguns recursos impossibilitou que algumas análises fossem feitas, logo para futuras pesquisas relacionadas ao tema, faz-se necessário realizar uma análise dos resultados dos métodos obtidos para verificar seu desempenho computacional econômico em relação a rota seguida pela coleta atualmente.

Para o futuro da presente pesquisa tem-se a necessidade de aprimorar a prioridade do algoritmo, a figura 8, onde o melhor resultado foi apresentado, nota-

se que devido ao fato de que a prioridade do algoritmo é a distância percorrida e não uma ponderação de fatores (como produção e outros), o município de caraúbas ficou de fora da rota principal, na prática, isso foi uma limitação devido ao grande porte e produção dessa cidade. Para tal, recomenda-se a criação de um parâmetro semelhante ao parâmetro alfa, que define a taxa de prioridade ao construir a rota.

Para o futuro, novos métodos de busca local e aprimoramento de solução podem ser desenvolvidos para a variação do GRASP desenvolvida. A mudança realizada neste trabalho causou grande redução no tempo de execução e essa mudança fornece espaço para que aprimoramentos possam ser realizados.

Devido ao formato da modelagem realizada, o algoritmo também pode ser aplicado a diversos outros tipos de produção rural de pequeno porte além do leite com pouca ou nenhuma mudança. Indica-se que novas instâncias sejam criadas e que possa ser incluídos nos testes, para instancias de grande porte.

Outro ponto de destaque é a elaboração de novas metaheurísticas como VNS ou colônia de formigas, para análise e comparação. Uma vez que o comportamento de outras metaheurísticas pode ser mais eficaz do que a solução aqui apresentada além de solidificar as futuras tomadas de decisão.

REFERÊNCIAS

- APPLEGATE, David L. et al. The traveling salesman problem: a computational study. Princeton university press, 2006.
- ARENALES, M., MORABITO, R., ARMENTANO, V., & YANASSE, H. (2015). Pesquisa operacional: para cursos de engenharia. Elsevier Brasil.
- BADARUDIN, Ismadi et al. Metaheuristic approaches for optimizing agricultural land areas. In: 2009 2nd Conference on Data Mining and Optimization. IEEE, 2009. p. 28-31.
- BALAS, Egon. The prize collecting traveling salesman problem and its applications. In: The traveling salesman problem and its variations. Springer, Boston, MA, 2007. p. 663-695.
- BALLOU, Ronald H. Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos-: Logística Empresarial. Bookman Editora, 2009.
- BARCELLOS, Raissa; VITERBO, José; BERNARDINI, Flavia C. Uso de algoritmos de clusterização para identificação de padrões de energia elétrica, 2016.
- BEAMON, Benita M. Supply chain design and analysis:: Models and methods. International journal of production economics, v. 55, n. 3, p. 281-294, 1998.
- BERKHIN, Pavel. A survey of clustering data mining techniques. In: Grouping multidimensional data. Springer, Berlin, Heidelberg, 2006. p. 25-71.
- BIENSTOCK, Daniel et al. A note on the prize collecting traveling salesman problem. Mathematical programming, v. 59, n. 1-3, p. 413-420, 1993.
- BLUM, Christian; ROLI, Andrea. Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison. ACM computing surveys (CSUR), v. 35, n. 3, p. 268-308, 2003.
- BLUM, cristão; ROLI, Andrea. Metaheurísticas híbridas: uma introdução. Em: Metaheurísticas híbridas . Springer, Berlim, Heidelberg, 2008. p. 1-30.
- BORTOLOZI, Tatiane, General Mills compra fabricante brasileira de iogurte Carollina, Valor Econômico, 2015. Disponível em: <<https://www.valor.com.br/empresas/4369350/general-mills-compra-fabricante-brasileira-de-iogurte-carolina>> Acesso em 20 de maio de 2019.
- CAMPBELL, James F. Integer programming formulations of discrete hub location problems. European Journal of Operational Research, v. 72, n. 2, p. 387-405, 1994.
- CHAVES, Antônio Augusto et al. Modelagens exata e heurística para resolução do problema do caixeiro viajante com coleta de prêmios. Relatório Técnico–DECOM, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. Disponível em <http://www.decom.ufop>.

br/prof/marcone/Orientacoes/OrientacoesConcluidas. htm, 2003.

CHEN, Chen-Tung; LIN, Ching-Torng; HUANG, Sue-Fn. Uma abordagem difusa para avaliação e seleção de fornecedores na gestão da cadeia de suprimentos. Revista internacional de economia de produção , v. 102, n. 2, p. 289-301, 2006.

CHISMAN, J. A. The clustered traveling salesman problem. Computers & Operations Research, v. 2, n. 2, p. 115 – 119, 1975. ISSN 0305-0548. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0305054875900155>>. Acesso em 29 de maio de 2019

CHRISTOFIDES, Nicos; BEASLEY, John E. O problema de roteamento de período. Networks , v. 14, n. 2, p. 237-256, 1984.

CHRISTOPHER, Martin. Logistics & supply chain management. Pearson UK, 2016.

CRESPO, Ana Margarida Garcia. Modelos para o Problema do Caixeiro Viajante Periódico. 2018. Tese de Doutorado. Universidade de Lisboa

CROES, Georges A. A method for solving traveling-salesman problems. Operations research, v. 6, n. 6, p. 791-812, 1958.

DANTZIG, George; FULKERSON, Ray; JOHNSON, Selmer. Solution of a large-scale traveling-salesman problem. Journal of the operations research society of America, v. 2, n. 4, p. 393-410, 1954.

DANTZIG, George; FULKERSON, Ray; JOHNSON, Selmer. Solução de um problema de vendedor em grande escala. Jornal da sociedade de pesquisa de operações da América , v. 2, n. 4, p. 393-410, 1954.

DIAS, Carlos R. Algoritmos evolutivos para o problema de clusterização de grafos orientados: Desenvolvimento e análise experimental. Rio de Janeiro, 2004.

DOVAL, Diego; MANCORIDIS, Spiros; MITCHELL, Brian S. Automatic clustering of software systems using a genetic algorithm. In: STEP'99. Proceedings Ninth International Workshop Software Technology and Engineering Practice. IEEE, 1999. p. 73-81.

DUDA, Robson Fernando et al. APLICAÇÃO DE HEURÍSTICAS E META-HEURÍSTICAS NO DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE APOIO A DECISÃO PARA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS DE ROTEAMENTO DE VEÍCULOS APLICADOS À AGRICULTURA. 2014.

FEO, Thomas A .; RESENDE, Mauricio GC. Procedimentos de busca adaptativa randomizados gananciosos. Jornal de otimização global , v. 6, n. 2, p. 109-133, 1995.

FONTANA, André; NALDI, Murilo Coelho. Estudo e comparação de métodos para estimação de números de grupos em problemas de agrupamento de dados., 2009.

FÖRSTER JUNIOR, Alfred et al. Método para otimização de rotas na agricultura. 2019.

GARY, Michael R.; JOHNSON, David S. Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-completeness. 1979.

GASPAR-CUNHA, António; TAKAHASHI, Ricardo; ANTUNES, Carlos Henggeler. Manual de computação evolutiva e metaheurística. Imprensa da Universidade de Coimbra/Coimbra University Press, 2012.

GIACON, Joice Cavalheiro Ribeiro. Seleção de fornecedores por análise de decisão multicritério e otimização combinatória considerando aspectos de logística e sustentabilidade. 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

GLOBAL DAIRY PLATFORM, Annual Review Report. 2018, Rosemont, Illinois, USA.

GLOVER, Fred. Future paths for integer programming and links to artificial intelligence. Computers & operations research, v. 13, n. 5, p. 533-549, 1986.

GODINHO, Maria Teresa; GOUVEIA, Luis; PESNEAU, Pierre. Natural and extended formulations for the time-dependent traveling salesman problem. Discrete Applied Mathematics, v. 164, p. 138-153, 2014.

GOLDBARG, Elizabeth; GOLDBARG, Marco; LUNA, Henrique. Otimização combinatória e metaheurísticas: algoritmos e aplicações. Elsevier Brasil, 2017.

GOLDEN, Bruce L. ; RAGHAVAN, Subramaniano; WASIL, Edward A. (Ed.). O problema de roteamento de veículos: os últimos avanços e novos desafios . Springer Science & Business Media, 2008.

GOMES, Sebastião Teixeira. Evolução recente e perspectivas da produção de leite no Brasil. O agronegócio do leite no Brasil. Brasília: Embrapa Gado de Leite, 2001.

GOUVEIA, Luis; VOß, Stefan. A classification of formulations for the (time-dependent) traveling salesman problem. European Journal of Operational Research, v. 83, n. 1, p. 69-82, 1995.

GODOY Paredes, Felipe & Eduardo Bortoleto Barbosa, Joao & Junior, Euclides.. Cadeia de suprimentos do leite: da produção até o produto final. (2016)

GURGEL, L. A.; NUNES, E. M. A dinâmica socioeconômica da pecuária do Rio Grande do Norte: análise da cadeia produtiva do leite do território da cidadania sertão do Apodi. Revista. Economia. NE, Fortaleza, v. 50, n. 2, p. 59-76, abr./jun., 2019.

HONDA, H. Introdução básica á clusterização. 5 de outubro de 2017. Disponível em https://lamfo-unb.github.io/2017/10/05/Introducao_basica_a_clusterizacao/. Acesso em 31 de maio de 2019.

HOPCROFT, John E.; MOTWANI, Rajeev; ULLMAN, Jeffrey D. Automata theory, languages, and computation. International Edition, v. 24, n. 2.2, 2006.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2019. Pesquisa trimestral de 2018.

JAIN, Anil K .; MURTY, M. Narasimha; FLYNN, Patrick J. Agrupamento de dados: uma revisão. Pesquisas de computação ACM (CSUR) , v. 31, n. 3, p. 264-323, 1999.

JAIN, Anil K. Data clustering: 50 years beyond K-means. Pattern recognition letters, v. 31, n. 8, p. 651-666, 2010.

JAIN, Anil K.; MURTY, M. Narasimha; FLYNN, Patrick J. Data clustering: a review. ACM computing surveys (CSUR), v. 31, n. 3, p. 264-323, 1999.

JUAN, A. A., FAULIN, J., GRASMAN, S. E., RABE, M., & FIGUEIRA, G. (2015). A review of simheuristics: Extending metaheuristics to deal with stochastic combinatorial optimization problems. Operations Research Perspectives, 2, 62-72.

KARP, Richard M. Reducibilidade entre problemas combinatórios. In: complexidade dos cálculos computacionais . Springer, Boston, MA, 1972. p. 85-103.

LIMA JÚNIOR, Francisco Chagas de. Algoritmo Q-learning como estratégia de exploração e/ou exploração para metaheurísticas GRASP e algoritmo genético. 2009. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

MALAQUIAS, Neli Gomes Lisboa. Uso dos algoritmos genéticos para a otimização de rotas de distribuição. 2006.

MAN JR, EG Co; GAREY, M. R.; JOHNSON, D. S. Approximation algorithms for bin packing: A survey. Approximation algorithms for NP-hard problems, p. 46-93, 1996.

MARTINS, Roberta. Você conhece as diferenças entre logística e cadeia de suprimentos?, Cargox, 22, Janeiro de 2018. Disponível em: <https://cargox.com.br/blog/voce-conhece-as-diferencas-entre-logistica-e-cadeia-de-suprimentos>. Acesso em: 23 mai.2019.

MATEUS, Geraldo R.; RESENDE, Mauricio GC; SILVA, Ricardo MA. GRASP: Procedimentos de busca gulosos, aleatórios e adaptativos. 2a Escola Luso-Brasileira de Computação Evolutiva, 2010.

MESTRIA, Mário. UM ALGORITMO HEURÍSTICO HÍBRIDO PARA O PROBLEMA DE VENDEDOR DE VIAGEM CLUSTERED. Pesqui. Oper. Rio de Janeiro, v. 36, n. 1, p. 113-132, abril de 2016. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-74382016000100113&lng=en&nrm=iso>. acesso em 29 de maio de 2019.

MLADENOVIĆ, Nenad et al. The p-median problem: A survey of metaheuristic approaches. European Journal of Operational Research, v. 179, n. 3, p. 927-939, 2007.

OCHI, Luiz Satoru; DIAS, Carlos Rodrigo; SOARES, Stênio S. Furtado. Clusterização em mineração de dados. Instituto de Computação-Universidade Federal Fluminense-Niterói, p. 26, 2004.

OLIVEIRA, Charles Miller de Góis et al. Modelo e método de resolução para rede de alta

velocidade, uma abordagem do problema do caixeiro viajante com coleta de prêmios. 2018. Dissertação. Universidade Federal Rural do Semi-Árido.

OLIVEIRA, Manuel Joaquim da Silva et al. Otimização de circuitos de recolha de lixos domésticos em zonas urbanas. 2008.

OTHMAN, Siti Norsyahida; MUSTAFFA, Noorfa Haszlinna. Supply chain simulation and optimization methods: an overview. In: 2012 Third International Conference on Intelligent Systems Modelling and Simulation. IEEE, 2012. p. 161-167.

PIMENTEL, Edson P.; DE FRANÇA, Vilma F.; OMAR, Nizam. A identificação de grupos de aprendizes no ensino presencial utilizando técnicas de clusterização. In: Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE). 2003. p. 495-504.

RAMOS, Eliaquim Monteiro; KAMASSURY, Jorge Kysnney Santos; DUARTE, Wandesson Gomes. APLICAÇÃO DO ALGORITMO GENÉTICO NO PROBLEMA DE PERFURAÇÃO EM PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO: INTEGRANDO INTELIGÊNCIA COMPUTACIONAL E ELETRÔNICA. 2018.

REBOUÇAS, Ramom Santana et al. Problema do caixeiro viajante com coleta de prêmios e janelas de tempo. 2016.

SANTI, É., FERREIRA, L., de MEDEIROS ROCHA, C. T., & ALOISE, D. (2011). Um modelo híbrido de seleção de fornecedores para cadeias de suprimentos. XLIII SBPO: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Ubatuba.

SILVA, Danilo Moraes. Utilização do problema do caixeiro viajante com coleta de prêmios para o planejamento de rotas em serviços de terraplanagem em um município de pequeno porte. 2016.

SILVA, Rafael Pereira da. Produção do espaço e reestruturação produtiva do setor de laticínio no Rio Grande do Norte. 2014. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

TALBI, El-Ghazali. Metaheuristics: from design to implementation. John Wiley & Sons, 2009.

TOTH, Paolo; VIGO, Daniele (Ed.). The vehicle routing problem. Society for Industrial and Applied Mathematics, 2002.

TRINDADE, A. R. Metaheurísticas para o Problema de Clusterização de Células de Manufatura. Orientador: Luiz Satoru Ochi. Programa de Pós Grad. Computação, IC/UFF, 2004.

YILMAZ, Hicran; DOĞAN, Şengül; KOCA, Gonca Özmen. Optimal length determination for mine destruction using 3D traveling salesman problem on a sphere. In: 2015 23rd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU). IEEE, 2015. p. 312-315.

XIMENES, L. J. F. Bovinocultura leiteira no Nordeste: uso racional dos fatores de produção para maiores lucratividade e rentabilidade. Escritório Técnico de Estudos Econômico do Nordeste – Etene. Banco do Nordeste, 2014.

ZOCCAL, R. Alguns números do leite - Balde Branco, 13 de setembro de 2016. Disponível em: < <http://www.baldebranco.com.br/alguns-numeros-do-leite/>>. Acesso em 02 de Junho de 2019.

APÊNDICE A – RESUMO DAS EXECUÇÕES

Execução	FO	Prêmio Coletado	Tempo em Milissegundos	Novas atribuições
1	475	12135	1299	
2	500	10685	1094	3-9, 7-8
3	502	12135	1077	
4	474	12135	1075	
5	524	12135	1080	
6	448	11285	1073	3-9
7	516	12135	1150	
8	468	12135	1089	
9	490	10295	1082	3-9,16-9
10	462	11415	1077	11-12
11	458	11285	1074	3-9
12	504	12135	1080	
13	507	12135	1079	
14	474	11285	1077	3-9
15	468	11285	1081	3-9
16	487	11415	1081	11-12
17	492	11285	1083	3-9
18	487	11285	1095	3-9
19	486	12135	1079	
20	504	12135	1126	
21	506	12135	1081	
22	484	11285	1080	3-9
23	493	12135	1079	
24	493	11285	1083	3-9
25	451	11285	1077	3-9
26	499	12135	1087	
27	511	11285	1085	3-9
28	499	12135	1081	
29	488	12135	1080	
30	477	11545	1078	9-16
Menor valor:	448	10295	1073	
Média:	489	11840	1080,5	
Desvio Padrão:	19,029348	516,3394589	42,08524464	

APÊNDICE B – EXECUÇÕES DETALHADAS

Execução 1:

Solução final:

3 4 1 14 13 6 16 11 8 9 12 7 15 10 2 17 5

Função Objetivo: 475

Prêmio total coletado: 12135

475 12135 1298

Tempo de execução Final: 1299 Milissegundos

Execução 2:

Solução final:

4 1 14 13 6 16 9 11 12 8 10 15 2 17 5

Função Objetivo: 500

Prêmio total coletado: 10685

500 10685 1093

NÃO SELECIONADO: 3

DESTINO: 9

CUSTO DE DESLOCAMENTO: 26

NÃO SELECIONADO: 7

DESTINO: 8

CUSTO DE DESLOCAMENTO: 14

Tempo de execução Final: 1094 Milissegundos

Execução 3:

Solução final:

3 4 1 6 13 14 16 7 11 8 9 12 15 10 2 17 5

Função Objetivo: 502

Prêmio total coletado: 12135

502 12135 1077

Tempo de execução Final: 1077 Milissegundos

Execução 4:

Solução final:

3 1 4 14 13 6 16 11 12 9 8 7 2 15 10 17 5

Função Objetivo: 474

Prêmio total coletado: 12135

474 12135 1075

Tempo de execução Final: 1075 Milissegundos

Execução 5:

Solução final:

1 4 3 6 14 13 16 9 12 15 10 2 7 8 11 17 5

Função Objetivo: 524

Prêmio total coletado: 12135

524 12135 1080

Tempo de execução Final: 1080 Milissegundos

Execução 6:

Solução final:

4 1 6 14 13 16 9 12 11 8 7 15 10 2 17 5

Função Objetivo: 448

Prêmio total coletado: 11285

448 11285 1073

NÃO SELECIONADO: 3

DESTINO: 9

CUSTO DE DESLOCAMENTO: 26

Tempo de execução Final: 1073 Milissegundos

Execução 7:

Solução final:

1 4 3 14 6 13 16 9 12 7 11 8 2 10 15 17 5

Função Objetivo: 516

Prêmio total coletado: 12135

516 12135 1150

Tempo de execução Final: 1150 Milissegundos

Execução 8:

Solução final:

3 4 1 14 6 13 16 12 9 8 11 7 10 15 2 17 5

Função Objetivo: 468

Prêmio total coletado: 12135

468 12135 1089

Tempo de execução Final: 1089 Milissegundos

Execução 9:

Solução final:

4 1 14 6 13 9 12 11 8 7 2 15 10 17 5

Função Objetivo: 490

Prêmio total coletado: 10295

490 10295 1082

NÃO SELECIONADO: 3

DESTINO: 9

CUSTO DE DESLOCAMENTO: 26

NÃO SELECIONADO: 16

DESTINO: 9

CUSTO DE DESLOCAMENTO: 13

Tempo de execução Final: 1082 Milissegundos

Execução 10:

Solução final:

3 4 1 14 13 6 16 9 12 8 7 2 15 10 17 5

Função Objetivo: 462

Prêmio total coletado: 11415

462 11415 1077

NÃO SELECIONADO: 11

DESTINO: 12

CUSTO DE DESLOCAMENTO: 14

Tempo de execução Final: 1077 Milissegundos

Execução 11:

Solução final:

4 1 14 13 6 9 16 12 11 8 7 2 10 15 17 5

Função Objetivo: 458

Prêmio total coletado: 11285

458 11285 1074

NÃO SELECIONADO: 3

DESTINO: 9

CUSTO DE DESLOCAMENTO: 26

Tempo de execução Final: 1074 Milissegundos

Execução 12:

Solução final:

1 4 3 14 13 6 16 12 9 8 11 7 2 10 15 17 5

Função Objetivo: 504

Prêmio total coletado: 12135

504 12135 1080

Tempo de execução Final: 1080 Milissegundos

Execução 13:

Solução final:

3 16 6 13 14 4 1 12 9 11 8 7 15 10 2 17 5

Função Objetivo: 507

Prêmio total coletado: 12135

507 12135 1079

Tempo de execução Final: 1079 Milissegundos

Execução 14:

Solução final:

4 1 14 13 6 16 9 12 11 8 2 10 15 7 17 5

Função Objetivo: 474

Prêmio total coletado: 11285

474 11285 1076

NÃO SELECIONADO: 3

DESTINO: 9

CUSTO DE DESLOCAMENTO: 26

Tempo de execução Final: 1077 Milissegundos

Execução 15:

Solução final:

4 1 14 13 6 16 9 11 12 15 10 7 8 2 17 5

Função Objetivo: 468

Prêmio total coletado: 11285

468 11285 1081

NÃO SELECIONADO: 3

DESTINO: 9

CUSTO DE DESLOCAMENTO: 26

Tempo de execução Final: 1081 Milissegundos

Execução 16:

Solução final:

3 4 1 14 13 6 9 16 12 8 7 2 10 15 17 5

Função Objetivo: 487

Prêmio total coletado: 11415

487 11415 1081

NÃO SELECIONADO: 11

DESTINO: 12

CUSTO DE DESLOCAMENTO: 14

Tempo de execução Final: 1081 Milissegundos

Execução 17:

Solução final:

4 1 13 14 6 16 12 9 8 11 7 15 10 2 17 5

Função Objetivo: 492

Prêmio total coletado: 11285

492 11285 1083

NÃO SELECIONADO: 3

DESTINO: 9

CUSTO DE DESLOCAMENTO: 26

Tempo de execução Final: 1083 Milissegundos

Execução 18:

Solução final:

1 4 14 6 13 16 9 11 7 8 12 15 10 2 17 5

Função Objetivo: 487

Prêmio total coletado: 11285

487 11285 1094

NÃO SELECIONADO: 3

DESTINO: 9

CUSTO DE DESLOCAMENTO: 26

Tempo de execução Final: 1095 Milissegundos

Execução 19:

Solução final:

4 1 6 13 14 16 12 8 7 11 9 3 2 15 10 17 5

Função Objetivo: 486

Prêmio total coletado: 12135

486 12135 1079

Tempo de execução Final: 1079 Milissegundos

Execução 20:

Solução final:

3 1 4 6 14 13 16 12 9 11 7 8 2 10 15 17 5

Função Objetivo: 504

Prêmio total coletado: 12135

504 12135 1126

Tempo de execução Final: 1126 Milissegundos

Execução 21:

Solução final:

4 1 14 13 6 16 11 12 9 8 7 10 2 17 15 3 5

Função Objetivo: 506

Prêmio total coletado: 12135

506 12135 1081

Tempo de execução Final: 1081 Milissegundos

Execução 22:

Solução final:

4 1 14 6 13 16 11 8 7 9 12 15 10 2 17 5

Função Objetivo: 484

Prêmio total coletado: 11285

484 11285 1080

NÃO SELECIONADO: 3

DESTINO: 9

CUSTO DE DESLOCAMENTO: 26

Tempo de execução Final: 1080 Milissegundos

Execução 23:

Solução final:

3 4 1 13 6 14 16 9 8 11 12 15 7 2 10 17 5

Função Objetivo: 493

Prêmio total coletado: 12135

493 12135 1079

Tempo de execução Final: 1079 Milissegundos

Execução 24:

Solução final:

1 4 14 13 6 16 9 11 12 15 10 8 7 2 17 5

Função Objetivo: 493

Prêmio total coletado: 11285

493 11285 1083

NÃO SELECIONADO: 3

DESTINO: 9

CUSTO DE DESLOCAMENTO: 26

Tempo de execução Final: 1083 Milissegundos

Execução 25:

Solução final:

4 1 14 6 13 16 9 11 12 8 7 10 15 2 17 5

Função Objetivo: 451

Prêmio total coletado: 11285

451 11285 1077

NÃO SELECIONADO: 3

DESTINO: 9

CUSTO DE DESLOCAMENTO: 26

Tempo de execução Final: 1077 Milissegundos

Execução 26:

Solução final:

4 1 6 14 13 16 12 11 8 9 3 10 15 7 2 17 5

Função Objetivo: 499

Prêmio total coletado: 12135

499 12135 1087

Tempo de execução Final: 1087 Milissegundos

Execução 27:

Solução final:

1 4 14 13 6 16 9 12 15 10 2 7 8 11 17 5

Função Objetivo: 511

Prêmio total coletado: 11285

511 11285 1085

NÃO SELECIONADO: 3

DESTINO: 9

CUSTO DE DESLOCAMENTO: 26

Tempo de execução Final: 1085 Milissegundos

Execução 28:

Solução final:

1 4 14 6 13 9 16 12 11 8 7 17 15 10 2 3 5

Função Objetivo: 499

Prêmio total coletado: 12135

499 12135 1081

Tempo de execução Final: 1081 Milissegundos

Execução 29:

Solução final:

4 1 6 13 14 16 9 12 8 11 7 17 15 10 2 3 5

Função Objetivo: 488

Prêmio total coletado: 12135

488 12135 1080

Tempo de execução Final: 1080 Milissegundos

Execução 30:

Solução final:

3 4 1 6 14 13 16 12 11 8 7 2 10 15 17 5

Função Objetivo: 477

Prêmio total coletado: 11545

477 11545 1078

NÃO SELECIONADO: 9

DESTINO: 16

CUSTO DE DESLOCAMENTO: 14

Tempo de execução Final: 1078 Milissegundos

APÊNDICE C – MATRIZ DE DISTÂNCIA DA REGIÃO DO SERTÃO DO APODI

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	0	72	39	20	52	33	89	96	64	98	83	81	42	29	85	62	100
2	72	0	32	65	68	91	21	35	58	30	50	61	100	87	17	71	28
3	39	32	0	34	38	60	52	58	26	61	44	43	69	56	48	38	63
4	20	65	34	0	47	53	84	91	59	93	78	77	62	49	80	82	95
5	52	68	38	47	0	96	88	95	63	97	82	80	105	92	84	76	43
6	33	91	60	53	96	0	86	73	41	119	60	58	14	12	106	29	121
7	89	21	52	84	88	86	0	14	45	49	29	41	101	98	35	58	50
8	96	35	58	91	95	73	14	0	32	63	15	27	87	85	49	45	64
9	64	58	26	59	63	41	45	32	0	86	18	17	55	53	73	13	88
10	98	30	61	93	97	119	49	63	86	0	77	89	128	115	17	99	57
11	83	50	44	78	82	60	29	15	18	77	0	14	74	72	64	32	79
12	81	61	43	77	80	58	41	27	17	89	14	74	72	64	32	79	91
13	42	100	69	62	105	14	101	87	55	128	74	73	0	21	115	44	130
14	29	87	56	49	92	12	98	85	53	115	72	70	21	0	102	41	117
15	85	17	48	80	84	106	35	49	73	17	64	76	115	102	0	86	44
16	62	71	38	82	76	29	58	45	13	99	32	30	44	41	86	0	101
17	100	28	63	95	43	121	50	64	88	57	79	91	130	117	44	101	0

Onde:

- 1 **Apodi**
- 2 **Campo Grande**
- 3 **Caraúbas**
- 4 **Felipe Guerra**
- 5 **Governador D Rosado**
- 6 **Itaú**
- 7 **Jánuis**
- 8 **Messias Targino**
- 9 **Olho D'agua do Bobes**
- 10 **Paraú**
- 11 **Patú**
- 12 **Rafael Godeiro**
- 13 **Rodolfo Fernandes**
- 14 **Severiano Melo**
- 15 **Triunfo Potiguar**
- 16 **Umarizal**
- 17 **Upanema**