

Elmo Melquíades de Souza Júnior

**Estudo de Métodos para Resolução do Problema
Dinâmico da Coleta e Entrega Utilizando
Algoritmos Genéticos**

Projeto de pesquisa apresentado ao
Departamento de Ciência da Computação da
Universidade Federal de Lavras como parte das
exigências da disciplina Projeto Orientado I.

Orientador

Prof. Guilherme Bastos Alvarenga

Lavras
Minas Gerais – Brasil 2003

Elmo Melquíades de Souza Júnior

**Estudo de Métodos para Resolução do Problema
Dinâmico da Coleta e Entrega Utilizando
Algoritmos Genéticos**

Projeto de pesquisa apresentado ao
Departamento de Ciência da Computação da
Universidade Federal de Lavras como parte das
exigências da disciplina Projeto Orientado I.

Prof. Guilherme Bastos Alvarenga

Prof. Ricardo Martins

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

Resumo

Cada vez mais os Problemas de Coleta e Entrega têm atraído o interesse de pesquisadores interessados no desenvolvimento de novos métodos para solução dos problemas em questão. Este trabalho tem por objetivo especificar um método que seja eficiente para a resolução de Problemas Dinâmicos da Coleta e Entrega.

Abstract

Pickup and Delivery Problems has got attraction of the community international on the development of new methods for this kind of problem. This paper has the objective to development a method to esolve the Dynamic Pickup an Delivery Problems.

Sumário

1. Introdução	1
2. Referencial Teórico	5
2.1. Problema Geral da Coleta e Entrega	5
2.1.1. Formulação do Problema	6
2.1.2. Características do Problema	10
2.1.2.1. Requisições de Transporte	10
2.1.2.2. Restrições de Tempo	11
2.1.2.3. Complexidade Computacional dos Problemas	12
2.1.2.4. Funções Objetivas	12
2.2. Algoritmos Genéticos	14
2.2.1. Introdução	14
2.2.2. Funcionamento dos Algoritmos Genéticos	15
2.2.3. O Processo de Reprodução	17
2.2.4. Geração da População Inicial	18
2.2.5. Os Operadores Genéticos	18
2.2.6. Operadores de Cruzamento	18
2.2.7. Operadores de Mutação	20
2.2.8. Função Aptidão	22
2.2.9. Esquemas de Seleção	22
Convergência e Diversidade Populacional	23
3. Proposição	24
3.1. Constantes do Algoritmo Genético	24
3.2. Criação da População Inicial	25
3.3. Função Avaliação	26
3.4. Função Adaptabilidade	26
3.5. Seleção de Indivíduos	26
3.6. Reprodução	27
3.7. Mutação	27
3.8. Estratégias do Modelo Dinâmico	28
4. Resultados	30

4.1. Análise dos Resultados	30
4.1.1. Instancia 1	30
4.1.2. Instancia 2	32
4.1.3. Instancia 3	33
4.2. Análise Geral dos Resultados	35
5. Discussão	36
6. Conclusões	38
7. Referencias Bibliográfica	40

1. Introdução

Atualmente é de fácil percepção que competitividade é a palavra de ordem utilizada pela maioria das empresas, geralmente motivadas pela concorrência existente no mercado. É notório que cada vez mais o mercado consumidor expande-se, mas nem por isso está se tornando menos exigente. Diante destes fatos o universo empresarial é cada vez exigido, sendo obrigado a oferecer e realizar serviços cada mais rápidos, com boa qualidade e com preços competitivos para poder sobreviver em condições dignas no cenário econômico atual.

A partir das constatações referenciadas, nota-se que a administração de uma empresa deve cada vez mais ser dinâmica, adaptando-se rapidamente a novas situações e buscar formas de melhorar o desempenho das empresas, utilizando as mais diversas formas disponíveis para se atingir os objetivos.

Uma destas formas vem tendo um grande destaque atualmente, a logística. Segundo [JAN01] a logística objetiva fazer provisões e/ou serviços a pontos de consumo, a partir de pontos de suprimento. Um sistema logístico completo deve ser capaz de controlar o processo de obtenção, estoque e distribuição de produtos sobre uma rede de demanda. Já sobre o conceito de [DAS85] a logística é definida como projeto e a operação dos sistemas físicos, administrativo e de comunicação necessários para permitir que as mercadorias superem obstáculos de tempo e espaço. O projeto toma decisões de longo prazo que englobam a aquisição de frota e a facilidade de localização, já a parte de operação é responsável pelas atividades de curto prazo, como carregamento e roteamento de veículos e gerenciamento de estoque.

Percebe-se então a importância da logística na organização das empresas devido a ela tratar diversos fatores que geram fortes impactos econômicos nas organizações. Porém neste trabalho será abordada a parte referente ao transporte.

Vários exemplos podem ser vistos em nosso dia a dia sem que possamos imaginar a complexidade dos estudos que aparecem embutidos nestes serviços, exemplos como coleta de lixo, roteamento de ônibus escolares, distribuição de jornais, controle de tráfego dentre outros.

No processo de construção de sistemas de roteamento, existem pontos que devem ser estudados com bastante atenção, para que possam ser tomadas decisões baseadas nestes pontos, considerando ainda que estas decisões têm a capacidade de produzirem fortes impactos sobre as atividades de organização das empresas. Decisões como:

- Número de rotas;
- Forma de contratação de mão-de-obra;
- Regimes de trabalho;
- Localização de centros de operações, garagens e centros de manutenção.

Diante destas dificuldades, é necessário elaborar planos eficientes de coleta e entrega capazes de atender às especificações requeridas pelo serviço de transporte. Deste ponto surge então a classe de problemas, geralmente de difícil solução chamado de problema geral da coleta e entrega. Esta classe de problemas considera alguns elementos importantes:

- Área de trabalho da frota;
- O tamanho da frota disponível;
- Regras que definirão a forma de alocação da carga à frota, como tempo de entrega, prioridade da carga e tipo de carga.

Depois dos elementos fundamentais da entrada terem sido devidamente organizados, ocorre a fase do roteamento dos veículos de forma que conduza à

minimização do custo da atividade. Os custos podem ser reduzidos em função de alguns parâmetros segundo [JAN01]:

- Prazos de entrega (serviços de emergência, produtos perecíveis, etc);
- Caminhos a percorrer (combustível, manutenção, tempo de operação);
- Emprego de mão-de-obra;
- Número de veículos;
- Intervalos de trabalho (evitando engarrafamentos, taxa de estacionamento);
- Carregamento (otimizando a relação carga/rota/meio de transporte);
- Alocação meio de transporte vezes tarefa (otimizando a relação carga/rota/meio de transporte);
- Políticas para atendimento da demanda dos clientes, demanda essa, normalmente de natureza estocástica e nem sempre imediatamente econômica. Nesse caso, o “valor do cliente” é uma variável composta que inclui desde a perda do cliente e o conseqüente avanço da concorrência, até a dificuldade de sua futura recuperação.
- Políticas de controle de estoque e investimento em instalações e meios diversos (compra ou aluguel de veículos, esquema de manutenção e disponibilidade da frota, etc).

Motivado pela grande notoriedade que este tema assumiu nos últimos anos, meu interesse sobre logística e otimização, é que surgiu a idéia de se desenvolver este projeto.

O objetivo deste trabalho é propor e avaliar o método proposto através da implementação do algoritmo. Destes objetivos citados, este trabalho

conseguiu atingir a parte relacionada à proposição do método, mas porém a parte da avaliação do método não foi concluída devido à não utilização de uma base de testes para comparação entre os resultados.

A estrutura do trabalho consiste é organizada da seguinte forma:

- Introdução sobre o tema;
- Passagem sobre o referencial teórico utilizado;
- Proposição do modelo para solução dos Problemas Dinâmicos de Coleta e Entrega;
- Explicação de alguns resultados
- Discussão
- Conclusão

2. Referencial Teórico

2.1. Problema Geral da Coleta e Entrega

No Problema Geral de Coleta e Entrega (*General Pickup and Delivery Problem - GPDP*) o objetivo é construir um conjunto de rotas ordenando os pontos de demanda, de forma a satisfazer as necessidades existentes para a realização do transporte das cargas em questão. Para a realização do transporte uma frota de veículos está à disposição para transitar nas rotas determinadas. Cada veículo tem uma capacidade de carga própria, um local de partida e um local de destino. Já por sua vez, cada carga a ser transportada possui um volume específico, um local onde deve ser coletada (origem) e um local onde deve ser descarregada (destino). Cada carregamento tem que ser transportado por um único veículo desde seu conjunto de origens até o conjunto de destinos.

O Problema Geral de Coleta e Entrega (GPDP) pode ser configurado de forma a tratar de vários problemas práticos de coleta e entrega, por exemplo, casos onde as encomendas têm várias origens diferentes, mas possuem um destino comum, ou casos onde a origem é única, mas os destinos das cargas são diferentes, ou ainda casos que envolvem tempo real.

Vários problemas de coleta e entrega envolvem situações onde as requisições de transporte ficam disponíveis em tempo real e devem ser imediatamente consideradas pelo problema. Conseqüentemente, o conjunto de rotas deve ser reformulado para atender as novas requisições de transporte. É importante observar que no tempo da reformulação das rotas os veículos estão percorrendo as rotas, deixando a noção de depósito vaga. Por estes motivos é importante o estudo dos modelos dinâmicos deste problema.

Alguns problemas de roteamento são casos especiais do Problema Geral da Coleta e Entrega e já foram bastante estudados, destacando-se o Problema da Coleta e Entrega e o Problema do Roteamento de Veículos.

- Problema do Roteamento de Veículos (*Vehicle Routing Problem - VRP*): no problema de roteamento de veículos mais comum, em um depósito central utiliza-se um número qualquer de veículos, que possuem capacidade heterogênea, para atender uma certa demanda de encomendas que devem ser levadas a determinados clientes. Os trechos entre os clientes possuem custos associados e o objetivo da resolução deste problema é atender a todos os consumidores atingindo um custo mínimo.
- Problema de Coleta e Entrega (*Pickup and Delivery Problem - PDP*): o problema da coleta e entrega possui basicamente as mesmas características do Problema de Roteamento de Veículos, mas no caso deste problema não existe um depósito central. Pelo fato das coletas e das entregas das mercadorias ocorrerem em uma única viagem aparece a necessidade de se criar modelos dinâmicos para o problema.

2.1.1. Formulação do Problema

Considerando N o conjunto de encomendas para serem transportadas. Para cada encomenda requerida $i \in N$, a carga de tamanho $\bar{q}_i \in \mathbb{N}$ tem que ser transportada de um conjunto de origens N_i^+ para um conjunto de destinos N_i^- . Cada carga pode ser subdividida como se segue:

$$q_i = \sum_{j \in N_i^+} q_j = - \sum_{j \in N_i^-} q_j$$

Os valores positivos representam as coletas e os negativos representam as entregas. Definindo $N^+ := \bigcup_{i \in N} N_i^+$ como o conjunto de todas as origens

e $N^- := \bigcup_{i \in N} N_i^-$ como o conjunto de todos os destinos. Sendo $V := N^+ \cup N^-$.

Agora, sendo M o conjunto de veículos, cada veículo $k \in M$ tem uma capacidade de carga $Q_k \in \mathbb{N}$, um local de partida k^+ e o local de destino k^- . Define-se $M^+ := \{k^+ \mid k \in M\}$ como o conjunto de locais de partida e $M^- := \{k^- \mid k \in M\}$ como o conjunto de pontos de chegada. Então $W := M^+ \cup M^-$.

Para todo $i, j \in V \cup W$ vamos considerar $d_{i,j}$ como a distância de viagem, $t_{i,j}$ como o tempo de viagem e $c_{i,j}$ como o custo da viagem.

Definição 1: Uma rota de coleta e entrega R_k para o veículo k é uma rota direcional através do subconjunto $V_k \subset V$ assim definida:

1. R_k começa em k^+ .
2. $(N_i^+ \cup N_i^-) \cap V_k = \emptyset$ ou $(N_i^+ \cup N_i^-) \cap V_k = N_i^+ \cup N_i^-$ para todo $i \in N$.
3. Se $N_i^+ \cup N_i^- \subseteq V_k$, então todas as localidades em N_i^+ são visitadas antes de todas as localidades em N_i^- .
4. O veículo k visita cada localidade em V_k exatamente uma vez.
5. A carga do veículo nunca excede Q_k .
6. R_k termina em k^- .

Definição 2: Um plano de coleta e entrega é um conjunto de rotas $R := \{R_k \mid k \in M\}$ assim definido:

1. R_k é uma rota de coleta e entrega para o veículo k , para cada $k \in M$.

2. $\{V_k \mid k \in M\}$ é uma divisão de V .

Definindo $f(R)$ como o preço do plano de rotas R corresponde a um certo objetivo da função f . Agora nós podemos definir o problema geral da coleta e entrega como o problema:

$$\min\{f(R) \mid R \text{ é um plano de coleta e entrega}\}$$

Para formular o GPDP como um programa matemático, temos que introduzir quatro tipos de variáveis: $z_i^k (i \in N, k \in M)$ igual a 1 se a requisição de transporte i é satisfeita pelo veículo k e 0 em caso contrário, $x_{ij}^k ((i, j) \in (V \times V) \cup \{(k^+, j) \mid j \in V\} \cup \{(j, k^-) \mid j \in V\}, k \in M)$ é igual a 1 se o veículo k viaja da localidade i para a localidade j e 0 em caso contrário, $D_i (i \in V \cup W)$, especifica o tempo de partida do vértice i , e $y_i (i \in V \cup W)$, especifica o a carga do veículo no vértice i . Define-se $q_{k^+} = 0$ para todo $k \in M$. O problema agora é minimizar a função $f(x)$.

$\min f(x)$

sujeito a:

$$1. \sum_{k \in M} z_i^k = 1, \text{ para todo } i \in N;$$

$$2. \sum_{j \in V \cup W} x_{lj}^k = \sum_{j \in V \cup W} x_{jl}^k = z_l^k, \text{ pa ra}$$

todo $i \in N, l \in N_i^+ \cup N_i^-, k \in M$;

$$3. \sum_{j \in V \cup K^-} x_{k^+j}^k = 1, \text{ para todo } k \in M;$$

4. $\sum_{j \in V \cup K^+} x_{ik^-}^k = 1$, para todo $k \in M$;
5. $D_{k^+} = 0$, para todo $k \in M$;
6. $D_p \leq D_q$, para todo $i \in N, p \in N_i^+, q \in N_i^-$;
7. $x_{ij}^k = 1 \Rightarrow D_i + t_{ij} \leq D_j$, para todo $i, j \in V \cup W, k \in M$;
8. $y_{k^+} = 0$, para todo $k \in M$;
9. $y_l \leq \sum_{k \in M} Q_k z_i^k$, para todo $i \in N, l \in N_i^+ \cup N_i^-$;
10. $x_{ij}^k = 1 \Rightarrow y_i + q_i = y_j$, para todo $i, j \in V \cup W, k \in M$;
11. $x_{ij}^k \in \{0, 1\}$, para todo $i, j \in V \cup W, k \in M$;
12. $z_i^k \in \{0, 1\}$, para todo $i \in N, k \in M$;
13. $D_i \geq 0$, para todo $i \in V \cup W$;
14. $y_i \geq 0$, para todo $i \in V \cup W$.

A restrição (1) assegura que cada carga é transportada apenas por um único veículo. Já a restrição (2) garante que um veículo somente entra ou sai de uma localidade l se esta é uma origem ou um destino de uma determinada carga daquele veículo. Restrições (3) e (4) deixam garantido que cada veículo começa e termina no local correto. As restrições (5), (6), (7) e (13) juntas formam as

restrições de precedência. Enquanto as restrições (8), (9), (10) e (14) juntas formam as restrições de capacidade.

2.1.2. Características do Problema

2.1.2.1. Requisições de Transporte

Nos problemas de roteamento de veículos, uma característica muito importante é a forma na qual as requisições do transporte são apresentadas. Na implementação de um problema de roteamento estático, todas as requisições para o transporte são conhecidas antes de se construir as rotas para a solução do problema. Já no caso de uma situação dinâmica, algumas requisições são apresentadas anteriormente à construção das rotas, mas algumas outras só aparecem em tempo real, ou seja, no momento em que as rotas já estão sendo executadas. Em consequência disto, em uma situação dinâmica, quando uma nova requisição do transporte torna-se disponível, pelo menos uma rota tem que ser alterada em relação à solução inicial para atender a nova configuração do problema. O maior parte dos problemas de roteamento de veículos (VRP) é estático, enquanto os problemas de coleta e entrega (PDP) em sua maioria são dinâmicos.

O conceito de depósito é um outro conceito importante que deve ser levado em conta nos problemas de roteamento. Na literatura em geral, o depósito é considerado como o lugar onde os veículos iniciam e terminam suas rotas. Mas na prática, tratando-se de problemas dinâmicos, percebe-se que o conceito de depósito pode variar de acordo com o problema em questão. Quando se está fazendo um plano de rotas para um longo prazo surge alguns problemas, por exemplo, o motorista deve dormir no local onde houve a última entrega do dia ou no local onde vai ser a primeira entrega do dia seguinte. Também para

problemas com um planejamento de curto prazo, geralmente planejamento de um único dia, quando os veículos iniciam e terminam em um depósito central surgem problemas tais como, se uma nova requisição de transporte torna-se disponível, como atualizar as rotas se os veículos estão espalhados por toda a área planejada.

2.1.2.2. Restrições de Tempo

Na maioria das situações práticas envolvendo coleta e entrega, restrições relacionadas ao tempo estão presentes. Com isso, cada vez mais restrições de tempo fazem parte da formulação dos modelos para os problemas de roteamento de veículos (VRP), e também estão presentes na grande maioria dos problemas da coleta e entrega (PDP), porque o problema de coleta e entrega mais estudado é o dial-a-ride, que trata do transporte de pessoas especificando tempo de coleta e de entrega.

Segundo [SS95], a presença destas restrições de tempo complica os problemas de roteamento consideravelmente. Pois se não houvesse restrições de tempo criar um plano inicial de rotas para o problema da coleta e entrega seria trivial, bastaria selecionar arbitrariamente os veículos necessários para os carregamentos e também arbitrariamente escolher uma ordem para que os carregamentos fossem entregues pelos veículos e processar cada requisição de transporte separadamente. Seguindo ainda [SS95], com a presença das restrições de tempo encontrar uma possível solução para o problema da coleta e entrega é NP-hard, conseqüentemente, pode ser muito difícil construir uma solução possível para o problema. Mas por outro lado, um método de otimização pode ser beneficiado pela presença de restrições de tempo no problema, já que o espaço de soluções também vai ser restringido consideravelmente.

2.1.2.3. Complexidade Computacional dos Problemas de Coleta e Entrega

O tempo computacional associado às técnicas para solução dos problemas da coleta e entrega é de suma importância. Sendo assim o tempo computacional torna-se um fator determinante na escolha de um método para resolução dos problemas em questão, acabando na maioria das vezes impossibilitando a aplicação de algumas técnicas de solução para situações reais.

Segundo [JAN01] a maioria dos problemas de roteamento podem ser formulados como sendo problemas de rede. O tamanho do problema é avaliado de acordo com o número de nós e/ou de arcos da rede resultante, sendo problemas do tipo NP-hard, problemas de redes e combinatórios onde ainda não foram determinados algoritmos polinomiais, ou seja, problemas com tempo computacional muito grande, tornando-se praticamente impossível sua solução por métodos exatos. Por esse motivo são utilizadas heurísticas para tentarem fornecer soluções ótimas ou muito próximas da ótima.

Uma heurística é uma forma matemática, que utiliza a estrutura do problema para fornecer soluções factíveis ou próximas do ótimo. [JAN01] Uma heurística é considerada eficiente se as soluções fornecidas estão muito próximas da solução ótima.

2.1.2.4.As Funções Objetivo

Uma grande variedade de funções objetivo é encontrada nos problemas de coleta e entrega, as mais importantes serão descritas abaixo.

Para começar a descrição vou apresentar primeiro as funções objetivo relacionadas ao problema da coleta e entrega de um único veículo:

- Minimizar a duração das viagens: a duração de uma rota é o tempo total que um veículo necessita para executar a rota. Esta

duração inclui os tempos de viagens, os tempos de espera, tempos de carga e descarga dos veículos além dos tempos de quebra.

- Minimizar o tempo de conclusão: o tempo de conclusão de uma rota é o tempo que o serviço do último cliente é finalizado. Se o tempo de início do serviço começar do zero, o tempo de conclusão será o tempo de duração da rota.
- Minimizar o tempo de viagem: o tempo de viagem de uma rota refere-se ao tempo de viagem entre duas localidades diferentes.
- Minimizar o tamanho das rotas: o tamanho da rota é a distância total viajada entre localidades diferentes.
- Minimizar a inconveniência dos clientes: função objetivo utilizada geralmente quando se está transportando pessoas englobam problemas como demora em se coletar um cliente, atraso em viagens devido a rotas mal planejadas levar mais tempo que o necessário para serem completadas e atendimento imediato de cargas mais importantes para os clientes.

Agora serão apresentadas funções objetivo para problemas de coleta e entrega com vários veículos:

- Minimizar o número de veículos: geralmente é a função objetivo mais utilizada nos problemas de coleta e entrega porque na prática o número de veículos é o que representa maior custo para a maioria das empresas. Como o próprio nome diz, o objetivo é reduzir ao máximo o número de veículos necessários para realizar as tarefas solicitadas.
- Maximizar a lucratividade: esta função é usada na maioria das vezes em situações onde a empresa tem a possibilidade de rejeitar uma encomenda que seja desfavorável em termos de

custo para a empresa. Em problemas onde se tem que transportar pessoas geralmente não se pode dispensar um serviço.

Hoje em dia é bastante discutido na literatura este assunto, tentando determinar quais funções objetivo são mais vantajosas para problemas dinâmicos de coleta e entrega. O que consigo perceber é que a função objetivo ideal depende somente da situação em que será implementada a solução para o problema.

2.2. Algoritmos Genéticos

2.2.1. Introdução

O problema do Roteamento de Veículos busca a definição da melhor rota para realização de uma tarefa de distribuição, de coleta ou de prestação de serviços. Procura-se minimizar a distância total percorrida, respeitando-se as restrições impostas.

Como já foi mencionado, o problema de roteamento de veículos pertence à categoria de problemas NP-hard, na qual o tempo computacional é uma função exponencial do tamanho do problema. Dessa forma, na grande maioria das aplicações, o uso de métodos heurísticos tem demonstrado ser mais adequado, resultando em soluções freqüentemente de boa qualidade e tempo reduzido. No entanto, a dificuldade de criar heurísticas de caráter geral que sejam eficientes na solução de uma classe mais ampla de problemas práticos, como a classe de problemas de roteamento de veículos.

As meta-heurísticas, como o *simulated annealing*, a busca tabu, *guided local search* e o algoritmo genético, são heurísticas genéricas que se adaptam facilmente a uma classe de problemas e são direcionadas à otimização global de

um problema. Dentre as meta-heurísticas, o algoritmo genético apresenta um tempo de execução geralmente mais curto e uma flexibilidade maior para tratar as restrições do modelo, conseguindo assim solucionar deficiências históricas dos algoritmos convencionais de busca heurística.

Os Algoritmos Genéticos (AG`s) constituem um método de otimização inspirado nas idéias de Darwin sobre a seleção natural dos seres vivos. Na realidade, os AG`s fazem parte de uma classe de paradigmas e técnicas computacionais inspiradas na evolução natural, denominada de Computação Evolucionista.

Dentre os principais fatores que têm feito do AG uma técnica bem sucedida: a simplicidade de operação; facilidade de implementação; eficácia na busca da região onde, provavelmente, encontra-se o máximo ou mínimo global; ser aplicável em situações onde não se conhece o modelo matemático ou se este for impreciso; em funções lineares e não-lineares.

Contudo, em virtude da lenta e, até mesmo crítica convergência dos AG`s quando o erro torna-se pequeno, recomenda-se utilizá-lo de forma híbrida. Nesse caso, o AG seria encarregado da aproximação necessária do máximo global e outros métodos, como o do gradiente, ficariam encarregados do ajuste fino.

2.2.2. Funcionamento dos Algoritmos Genéticos

Um Algoritmo Genético é um procedimento iterativo que mantém uma população de estruturas, chamadas de “indivíduos”, que representam as possíveis soluções para um determinado problema. A cada iteração os indivíduos da população passam por uma avaliação que verifica sua capacidade em oferecer uma solução satisfatória para o problema. Essa avaliação é feita conforme uma função que recebe o nome de função aptidão, ou função de *fitness*.

Com essa avaliação, alguns indivíduos são selecionados, de acordo com uma regra probabilística, para passar por um processo de reprodução. Na verdade, aplica-se sobre os indivíduos selecionados os chamados operadores genéticos, gerando uma nova população de possíveis soluções. Pressupõe-se que a população, em média, vai ficando, incrementalmente mais apta para solucionar o problema. Após um grande número de gerações, de acordo com o critério de término do algoritmo, o indivíduo mais apto até então é uma possível solução para o problema.

Embora os AG`s nem sempre possam encontrar a solução ótima para um determinado problema, na maioria das vezes, são capazes de encontrar uma solução quase ótima, o que é aceitável quando se considera problemas muito complexos, como os de otimização combinatória, onde os métodos convencionais, normalmente, são inviáveis em razão do esforço computacional que seria necessário para resolvê-los. Convém lembrar que muitos problemas apresentam tantas dificuldades, que se fica satisfeito em encontrar em solução que atenda todas as restrições impostas.

Algumas das principais características que diferenciam os AG`s de outras técnicas de programação matemática, são as seguintes:

- a) Empregam uma população de indivíduos que pode ter tamanho fixo ou variável, ao contrário da maioria das técnicas que efetuam uma busca “ponto-a-ponto”;
- b) Não trabalham diretamente com as possíveis soluções do problema, chamadas de *fenótipos*, mas sobre uma codificação das mesmas chamadas de *genótipo*;
- c) Empregam regras de transição probabilísticas ou estocásticas, sendo que a maioria dos algoritmos tradicionais usam regras determinísticas;
- d) Não exigem maiores informações adicionais sobre a função a otimizar.

Os maiores atrativos dos AG`s têm sido a sua capacidade de implementação e a eficiência, sendo que grande parte desta eficiência deve-se a eficácia dos AG`s em realizar um passo na direção de uma busca global .

O seguinte pseudocódigo genérico, capaz de englobar a maioria dos AG`s:

Algoritmo AG genérico

Inicie a população

Avalie indivíduos na população

Repita

 Selecione indivíduos para reprodução

 Aplique operadores de recombinação e mutação

 Avalie indivíduos na população

 Selecione indivíduos para sobreviver

Até critério de parada satisfeito

Fim

2.2.3. O Processo de Reprodução

Na classe dos AG`s são considerados dois tipos extremos de Algoritmos Genéticos no que diz respeito à maneira pela qual os indivíduos criados são inseridos na população.

O primeiro tipo é conhecido como Algoritmo Genético Generacional, onde toda a população é substituída pelos novos indivíduos gerados depois do processo de seleção e aplicação dos operadores genéticos. Como neste processo toda a população é substituída pela nova, corre-se o risco de se perder bons indivíduos. Para evitar esta possibilidade utiliza-se um procedimento conhecido como *elitismo*, que consiste em passar para a geração seguinte uma cópia de alguns dos melhores indivíduos.

O outro tipo de AG é conhecido como “*steady-state*”, o qual caracteriza-se por criar apenas um indivíduo de cada vez, sendo que o indivíduo gerado pode ou não ser passado para a geração seguinte. Normalmente ele é transmitido

para a próxima geração, se o seu valor de *fitness* for melhor do que o pior valor de *fitness* da população antiga.

2.2.4. Geração da População Inicial

O processo de inicialização de uma população é quase sempre realizado aleatoriamente utilizando-se um gerador de números pseudo-aleatórios com distribuição uniforme dos indivíduos numa faixa previamente definida pelo usuário. Essa faixa é definida levando-se em consideração algum conhecimento prévio do problema a ser otimizado.

Uma vantagem dos Algoritmos Genéticos é a possibilidade de se introduzir um ou mais indivíduos “interessantes”, ou seja, soluções aproximadas conhecidas ou contendo algum tipo de informação prévia.

O número de elementos na população, a probabilidade de ocorrer cruzamento e probabilidade de acontecer mutação são denominados *parâmetros de controle* do AG.

2.2.5. Os Operadores Genéticos

Os operadores genéticos possuem como objetivo operar sobre os indivíduos que foram selecionados para a reprodução, produzindo um ou mais descendentes. Os operadores são construídos depois de definida uma codificação para os elementos do espaço de busca. Entre os diversos operadores genéticos os dois tipos de operadores mais utilizados são: os operadores de cruzamento e os operadores de mutação.

2.2.6. Operadores de Cruzamento

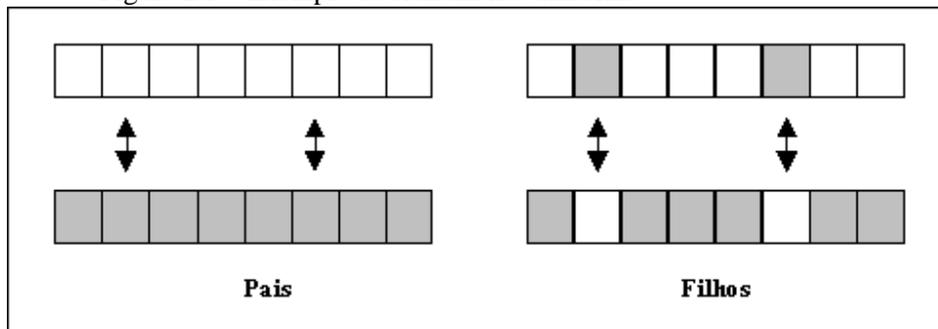
O operador genético de cruzamento corresponde a uma generalização do que ocorre na reprodução sexuada. Atuam sobre os *genótipos* dos indivíduos selecionados, promovendo uma recombinação do material genético dos “pais”

gerando os elementos “filhos”. Este tipo de operador costuma se chamar na literatura de *operadores de crossover*.

A troca de partes do cromossomo pode ocorrer de várias formas, como o cruzamento uniforme, cruzamento com 1-partição, cruzamento 2-partições e cruzamento com n-partições.

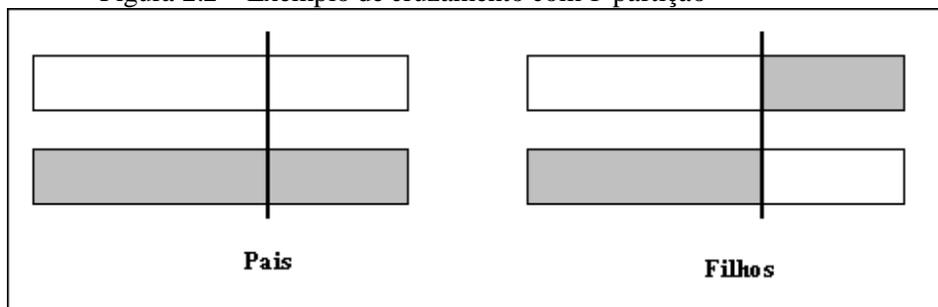
O cruzamento uniforme consiste no emparelhamento de dois cromossomos pais e cada lócus do cromossomo possui cinquenta por cento (50%) de chance de ser trocado, conforme apresenta a figura 2.1:

Figura 2.1 – Exemplo de cruzamento uniforme

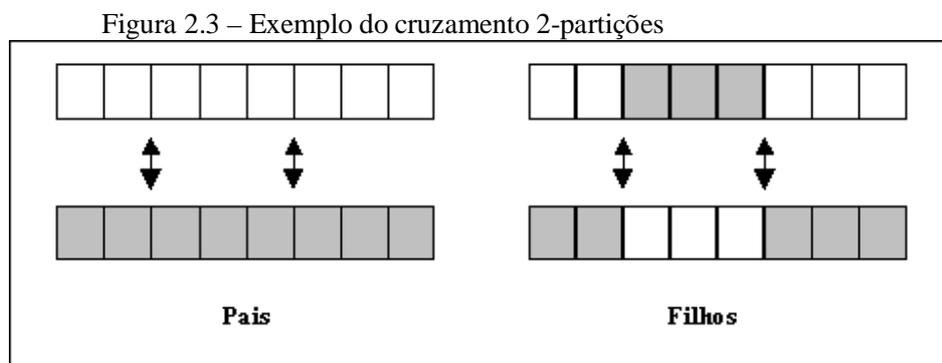


O cruzamento com 1-partição consiste na escolha aleatória de somente um ponto de corte. Todo material genético à direita deste corte será trocado. Esta situação está ilustrada na figura 2.2:

Figura 2.2 – Exemplo de cruzamento com 1-partição



No caso do cruzamento 2-partições ocorre uma escolha aleatória de dois pontos de corte e todo material genético dos pais presentes entre estes dois pontos será trocado, conforme ilustra a figura 2.3:



Já o cruzamento n-partições consiste em n cruzamentos com 2-partições.

2.2.7. Operadores de Mutação

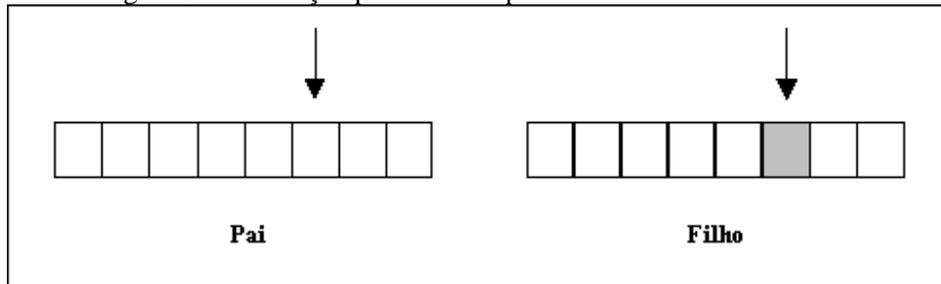
Os operadores de mutação exploram globalmente o espaço de busca, possibilitando inclusive, a recuperação de um bom material genético que eventualmente venha a ter sido perdido durante os sucessivos cruzamentos.

Considerando o alfabeto binário, uma posição do cromossomo é sorteada e o bit correspondente é invertido. A probabilidade de se efetuar uma mutação deve ser relativamente baixa, caso contrário o algoritmo se comportará como se fizesse uma busca aleatória dificultando a convergência.

Entre os operadores de mutação, os principais mecanismos de alteração genética são: *troca simples*, *inversão* e *translocação*.

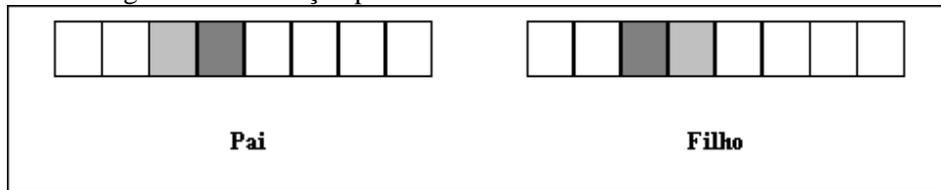
O mecanismo da troca simples consiste de um erro de cópia de um ou mais genes da cadeia, conforme mostrado na figura 2.4:

Figura 2.4 – Mutação por troca simples



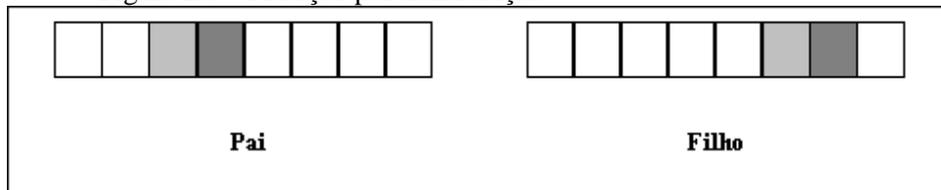
A inversão consiste da retirada e inserção de parte da cadeia, porém a inserção ocorre na ordem inversa em que foi retirado o material genético, conforme a figura 2.5:

Figura 2.5 – Mutação por inversão



Já a translocação parte da cadeia genética é retirada e colocada em outra posição do cromossomo, mas mantendo a ordem na qual foi retirada, conforme ilustrado na figura 2.6:

Figura 2.6 – Mutação por translocação



2.2.8. Função Aptidão

O grau de adaptação de cada indivíduo é a aptidão, também conhecida como *fitness*, e é obtido pela avaliação do indivíduo através da função a ser otimizada. A função de aptidão deve refletir a qualidade de um elemento em solucionar o problema.

A regra que determina a função de aptidão depende do tipo de problema com o qual se está trabalhando, e nos problemas de otimização, minimização ou maximização, geralmente está diretamente relacionada com a função objetivo. Considerando que no decorrer das iterações os indivíduos vão se tornando cada vez mais semelhantes, pode ser interessante aumentar a pressão de seleção, utilizando como função de aptidão uma composição da função objetivo com alguma função conveniente.

2.2.9. Esquemas de Seleção

A classe dos AG`s apresenta diversos esquemas de seleção, mas sem dúvida o mais utilizado deles é o esquema de seleção conhecido como *seleção proporcional*. Neste esquema a probabilidade de um indivíduo ser selecionado para participar do processo de reprodução é proporcional a medida relativa do grau de fitness do indivíduo relativamente à população. Sendo assim, a probabilidade p_i do indivíduo a_i ser selecionado, f é a função de aptidão e n o tamanho da população, poderia ser dada pela fórmula:

$$p_i = \frac{f(a_i)}{\sum_{j=1}^n f(a_j)}$$

Na prática, neste esquema de seleção tudo se passa como se o sorteio dos elementos fosse feito através de um jogo de roleta, onde a probabilidade de cada indivíduo ser selecionado é proporcional ao seu fitness.

Em algumas situações, pode-se deixar de lado a magnitude do grau de fitness de um indivíduo, levando em consideração apenas o seu *ranking*, ou posição relativa da medida de aptidão.

2.2.10. Convergência e Diversidade Populacional

Um dos critérios para convergência de uma população e de um gene em um cromossomo é definido da seguinte forma, um gene converge quando noventa e cinco por cento (95%) da população possui o mesmo gene, enquanto que uma população converge todos os seus genes convergem.

O termo diversidade diz respeito à falta de semelhança entre os indivíduos de uma população e sua perda está diretamente ligada à convergência da mesma. Em uma situação ideal, um AG deveria convergir sem perda de diversidade genética. Isso aumentaria as chances de se encontrar o ótimo global através de um equilíbrio entre uma exploração global e local. Para diminuir a perda da diversidade, alguns AG's utilizam a chamada *redução de incesto* que reduz a operação de *crossover* entre elementos muito semelhantes.

3. Proposição

Este trabalho se propõe a definir e explicar os mecanismos necessários para a solução de Problemas Dinâmicos de Coleta e Entrega através da utilização de um Algoritmo Genético. A escolha desta ferramenta, o Algoritmo Genético, foi devido às vantagens citadas durante a revisão de literatura.

É importante ressaltar que o objetivo deste trabalho é mostrar e discutir os mecanismos estudados, com o intuito que estas discussões venham servir como base para trabalhos futuros sobre esta área, tais como: aplicação visando utilização comercial, utilização em pesquisas científicas.

Com o objetivo de mostrar os métodos para se solucionar o Problema Dinâmico de Coleta e Entrega, cada uma das seguintes etapas utilizadas na ideia do algoritmo será mostrada, procurando-se evidenciar as características determinantes para o modelo dinâmico: definição das constantes do AG, criação da população inicial, criação da função de avaliação, cálculo da função de adaptabilidade, seleção de indivíduos para operadores genéticos, definição dos métodos de reprodução e mutação, e as estratégias do modelo dinâmico.

3.1. Constantes do Algoritmo Genético

Um Algoritmo Genético necessita de alguns parâmetros para que possa executar, estes parâmetros são passados através de constantes globais que vão delimitar as características do algoritmo. Estas constantes serão explicadas abaixo:

- **Número de Gerações:** esta constante define o número de iterações que o algoritmo genético vai realizar na busca pela solução. Ela é utilizada como critério de parada do algoritmo. É importante ressaltar que quanto

maior o número de iterações realizadas pelo algoritmo, maior é a probabilidade de se encontrar uma boa solução para o problema.

- Quantidade de Indivíduos: esta constante representa o número de possíveis soluções que o algoritmo estará tratando a cada iteração do algoritmo. É importante que a número de indivíduos com os quais o algoritmo vai tratar seja condizente como o tamanho da instância do problema em questão, pois quanto maior o número de indivíduos maior a chance de se encontrar uma solução satisfatória para o problema, porém mais esforço computacional será necessário.
- Quantidade de Genes: a quantidade de genes representa o número de pontos da instância do problema que estiver sendo tratada. No caso do modelo dinâmico como o número de pontos pode variar, é necessário que esta constante seja atualizada. Ela é utilizada para limitar o tamanho máximo de uma possível rota, pois caso um veículo tenha capacidade para atender todas as requisições da instância, não faz sentido a rota ter mais pontos do que os existentes na instância.
- Taxa de Ocorrência: representa a probabilidade de um indivíduo da população entrar no processo de reprodução.
- Taxa de Mutação: representa a probabilidade de um indivíduo da população sofrer uma operação de mutação. No modelo dinâmico é necessário que este valor seja um pouco maior do que os valores definidos na maioria dos modelos estáticos, este fato ocorre devido à necessidade de se explorar um pouco mais o espaço de busca, mas que não torne a busca em uma busca aleatória.

3.2. Criação da População Inicial

A criação da população inicial para o modelo dinâmico não necessita ter nenhuma diferença em relação aos métodos conhecidos e utilizados para o

modelo estático. Isto se deve ao fato de que a população inicial é apenas um ponto de partida para o começo da busca por uma solução adequada.

Diversas heurísticas são capazes de gerar “boas” populações iniciais para problemas de roteamento de veículos, mas com a utilização de Algoritmos Genéticos até mesmo a inicialização randômica da população pode atingir bons resultados no final da busca, pois uma das características dos AG's é proporcionar uma grande convergência para a população.

3.3. Função Avaliação

A função chamada de função de avaliação tem como objetivo calcular o custo da rota especificada por cada cromossomo. O custo de uma rota é o somatório da distância percorrida por cada veículo para conseguirem atender as requisições de transporte passadas.

3.4. Função Adaptabilidade

A função adaptabilidade tem como objetivo calcular a adaptabilidade relativa para cada indivíduo da população e retornar a adaptabilidade média da população. Esta função avalia entre outras coisas a repetibilidade do melhor indivíduo, faz a normalização da adaptabilidade dos indivíduos da população, verifica a estagnação da evolução da população além de retornar um vetor indicando quais indivíduos serão utilizados quando da reprodução.

3.5. Seleção de Indivíduos

A forma sugerida para selecionar os indivíduos que sofrerão as operações tanto de reprodução quanto de mutação é realizada de maneira bem parecida, nos dois casos ocorre o um sorteio dos indivíduos de forma randômica

e respeitando-se as probabilidades de acontecerem estas operações definidas de acordo com o problema em questão.

Geralmente nos Algoritmos Genéticos utiliza-se uma taxa alta de chance de ocorrer a o fenômeno da reprodução de um indivíduo para que se consiga bons indivíduos filhos, e assim aproxime-se bastante da solução desejada. Já em relação à taxa de probabilidade de ocorrer mutação em um indivíduo, ela tem que ser definida de forma a conseguir varrer uma boa parte do espaço de solução mas sem que torne esta busca uma busca aleatória.

3.6. Reprodução

O modelo de reprodução que pode ser utilizado para solução destes tipos de problema é o de reprodução por recombinação. Este tipo de reprodução pode acontecer de varias maneiras, uma delas é o cruzamento uniforme. O cruzamento uniforme consiste no emparelhamento de dois cromossomos pais, onde cada segmento (gene) do cromossomo possui cinquenta por cento (50%) de chance de ser trocado, conforme foi apresentado na Figura 2.1 do trabalho.

3.7. Mutação

Os operadores de mutação exploram globalmente o espaço de busca, possibilitando inclusive, a recuperação de um bom material genético que eventualmente venha a ter sido perdido durante os sucessivos cruzamentos. Dentre os vários mecanismos existentes que realizam a alteração genética, pode-se utilizar a Troca Simples. O mecanismo da troca simples consiste de um erro de cópia de um ou mais genes da cadeia, conforme mostrado na Figura 2.4.

3.8. Estratégias do Modelo Dinâmico

Para conseguir tratar os problemas dinâmicos como sugerido no trabalho, é necessária a utilização de alguns artifícios que inicialmente podem ser considerados simples, mas que podem ser alterados de diversas formas com o intuito de aprimorar cada vez mais a capacidade do algoritmo em buscar a solução ótima.

A primeira estratégia tratada neste modelo é a forma de se inserir um novo ponto de demanda no problema. Para que isto seja possível é necessário que seja implementada uma forma de se paralisar a execução do algoritmo temporariamente para que o novo ponto seja passado ao problema. Após o novo ponto de demanda ser passado, é necessário que o algoritmo possua a capacidade de atualizar os valores que dependem do número de pontos de demanda, caso por exemplo, da quantidade de genes de um indivíduo. Se estes passos forem concluídos e o algoritmo reinicia-se sua execução a partir do zero, este já poderia ser considerado um modelo dinâmico para solução de Problemas de Coleta e Entrega.

A segunda estratégia que proponho é após a o algoritmo receber as coordenadas de cada novo ponto de demanda e atualizar-se, ele não reinicie do zero, ou seja, criando uma nova população inicial, e sim utilize a melhor solução encontrada até o momento para fazer parte da sua nova população inicial. Para que esta estratégia possa ser utilizada, é necessário que o algoritmo implementado tenha uma forma de ir guardando a população da qual surgiu a melhor solução do problema até o momento da interrupção do algoritmo para entrada de novos pontos. Após a passagem dos novos pontos e as devidas atualizações é necessário que o algoritmo seja reiniciado, a partir do ponto da avaliação dos indivíduos.

Com estas duas estratégias aparentemente simples se é capaz de resolver Problemas Dinâmicos de Coleta e Entrega. É claro que existem diversas formas

de se aprimorar este modelo em busca de uma maior eficiência através da utilização de heurísticas para determinadas funções e até mesmo a hibridização deste modelo com outros também já estudados.

4. Resultados

O objetivo deste trabalho foi o de propor um modelo de algoritmo para a solução de instancias do *Problema Dinâmico da Coleta e Entrega*. Apesar da eficiência do algoritmo também ser discutida, a intenção deste trabalho é promover o debate sobre os modelos e formas que podem ser utilizados para a solução da categoria de problemas citados acima.

Neste capítulo já de posse da noção geral do modelo proposto e de sua implementação, o objetivo principal é fornecer uma análise dos resultados, destacando sempre as idéias que estão por trás de cada solução que vai ser apresentada.

4.1. Análise dos Resultados

A análise dos resultados obtidos através dos testes do algoritmo será dividida em duas etapas, na primeira será testada a capacidade do algoritmo em minimizar a distancia percorrida pelos veículos, na segunda a capacidade de minimizar o número de veículos.

Em todas as etapas serão testadas as mesmas três instâncias, estas instancias foram criadas por mim, com o intuito apenas de testar se o método realmente funciona. Elas não estão baseadas em nenhuma base de dados já existentes, por isto não se pode fazer um comparativo de resultados.

4.1.1. Instância 1

A instância 1 possui 10 pontos de coleta e entrega e um depósito central, ela foi utilizada com o intuito de testar a capacidade do algoritmo para problemas pequenos, onde dá para visualizar se os passos dados pelo algoritmo na busca da solução estão de acordo com o que foi planejado. É importante lembrar que o ponto de demanda que possui o identificador de número dez (10)

foi inserido durante a execução do programa, pois este é o objetivo em se testar o problema de forma dinâmica.

Esta instância, assim como serão testadas as outras, foi testada com duas formas de entrada: uma onde a capacidade do veículo é um número tal que um só veículo consiga atender toda a demanda, esta opção de teste proporciona verificar qual seria o custo mínimo para que um veículo cobrisse todos os pontos de demanda. E a outra forma de entrada mostra uma distribuição entre veículos com uma capacidade determinada de forma que sejam necessários mais do que um veículo.

4.1.1.1. Primeira Etapa

As constantes utilizadas para o primeiro teste da Instância 1 foram:

- Gerações = 1000
- Quantidade de Indivíduos = 1000
- Quantidade de Genes Iniciais = 9
- Capacidade dos Veículos = 300
- Probabilidade de Mutação = 4%
- Probabilidade de Reprodução = 95%

O resultado obtido após este teste foi o seguinte:

- Número de veículos = 1
- Custo = 522.477417

Fica claro após a observação dos resultados desta primeira etapa que como a capacidade de um dos veículos era maior que o somatório de todas as demandas, a única necessidade do algoritmo era achar a menor rota possível para este veículo. Como a instância 1 é bem pequena o algoritmo conseguiu convergir rapidamente para uma solução.

4.1.1.2. Segunda Etapa

As constantes utilizadas para o primeiro teste da Instância 1 foram:

- Gerações = 1000
- Quantidade de Indivíduos = 1000
- Quantidade de Genes Iniciais = 9
- Capacidade dos Veículos = 30
- Probabilidade de Mutação = 4%
- Probabilidade de Reprodução = 95%

O resultado obtido após este teste foi o seguinte:

- Número de veículos = 4
- Custo = 832.905518

Observando os resultados desta etapa percebe-se que mesmo com a inclusão de um novo ponto de demanda durante a execução do algoritmo ele convergiu rapidamente para uma solução. O interessante foi observar que na resposta um mesmo veículo conseguiu executar duas rotas distintas, devido ao fato de ter executado rotas de pequeno custo.

4.1.2. Instância 2

A instância 2 possui 100 pontos de coleta e entrega e um depósito central, ela foi utilizada com o intuito de testar a capacidade do algoritmo para problemas de um tamanho razoável, onde a solução obtida depende desde a quantidade de gerações até ao número de indivíduos da população.

4.1.2.1. Primeira Etapa

As constantes utilizadas para o primeiro teste da Instância 2 foram:

- Gerações = 1000

- Quantidade de Indivíduos = 1000
- Quantidade de Genes Iniciais = 99
- Capacidade dos Veículos = 3000
- Probabilidade de Mutação = 4%
- Probabilidade de Reprodução = 95%

O resultado obtido após este teste foi o seguinte:

- Número de veículos = 1
- Custo = 2751.740967

Após a observação dos resultados desta primeira etapa e como a capacidade de um dos veículos era maior que o somatório de todas as demandas, a única necessidade do algoritmo era achar a menor rota possível para este veículo.

4.1.2.2. Segunda Etapa

As constantes utilizadas para o segundo teste da Instância 2 foram:

- Gerações = 1000
- Quantidade de Indivíduos = 1000
- Quantidade de Genes Iniciais = 99
- Capacidade dos Veículos = 300
- Probabilidade de Mutação = 4%
- Probabilidade de Reprodução = 95%

O resultado obtido após este teste foi o seguinte:

- Número de veículos = 5
- Custo = 3222.239014

4.1.3. Instância 3

A instância 3 possui 200 pontos de coleta e entrega e um depósito central, ela foi utilizada com o intuito de testar os mesmos requisitos testados na instância 2. Como nas outras instâncias o último ponto de demanda foi inserido durante a execução do programa.

4.1.3.1. Primeira Etapa

As constantes utilizadas para o primeiro teste da Instância 2 foram:

- Gerações = 1000
- Quantidade de Indivíduos = 1000
- Quantidade de Genes Iniciais = 199
- Capacidade dos Veículos = 30000
- Probabilidade de Mutação = 4%
- Probabilidade de Reprodução = 95%

O resultado obtido após este teste foi o seguinte:

- Número de veículos = 1
- Custo = 5563.604980

Após a observação dos resultados desta primeira etapa e como a capacidade de um dos veículos era maior que o somatório de todas as demandas, a única necessidade do algoritmo era achar a menor rota possível para este veículo. Acredito que se as variáveis do problema fossem modificadas seria possível encontrar soluções melhores.

4.1.3.2. Segunda Etapa

As constantes utilizadas para o segundo teste da Instância 2 foram:

- Gerações = 1000
- Quantidade de Indivíduos = 1000

- Quantidade de Genes Iniciais = 199
- Capacidade dos Veículos = 300
- Probabilidade de Mutação = 4%
- Probabilidade de Reprodução = 95%

O resultado obtido após este teste foi o seguinte:

- Número de veículos = 11
- Custo = 6742.710938

4.2. Análise Geral dos Resultados

Baseando-se nas informações fornecidas na seção anterior, não é aconselhável afirmar que o modelo proposto é bom ou não. Isto fato acontece porque neste trabalho não utilizou nenhuma base de dados para comparar os resultados obtidos. Esta falta de comparações práticas foi proposital, pois não esta área de problemas dinâmicos ainda não é muito bem definido pela bibliografia pesquisada.

Outro motivo de não se poder fazer muitas inferências sobre os resultados mostrados é o fato de não ter sido feito nenhum tipo de análise experimental sobre as soluções.

O que é notório nestes resultados é a capacidade do modelo implementado buscar sempre convergir em busca de uma solução satisfatória.

5. Discussão

Após todos os assuntos descritos no corpo do trabalho, alguns pontos merecem uma atenção especial, pois, são pontos que ainda geram muita discussão tanto no meio científico quanto no meio comercial.

O primeiro ponto que gera uma certa polêmica é a definição da função objetivo para problemas dinâmicos. Como descrito na revisão de literatura, existem vários tipos de funções objetivo que podem ser adaptadas a diversos problemas de otimização de veículos, porém esta diversidade de opções gera um certo conflito na avaliação dos modelos existentes. Esta polêmica é causada porque alguns autores publicam resultados de pesquisas sobre esta classe de problemas afirmando que seus resultados são melhores do que os dos outros, porém utilizam funções com objetivos diferentes. Como a única forma de definir qual o ponto a ser otimizado em um problema é mais importante depende da aplicação de cada caso, o mais sensato seria que cada proposta de pesquisa tenha os objetivos bem definidos para que não gere um conflito de resultados.

O segundo assunto que necessita de um pouco mais de atenção é a forma de se avaliar as vantagens e desvantagens de um modelo dinâmico em relação a um modelo estático para solução de Problemas de Coleta e Entrega. O ponto questionado desta vez, é o quanto uma solução encontrada dinamicamente representa realmente uma vantagem para uma determinada aplicação. Alguns autores justificam este questionamento dizendo que para a maioria dos casos é mais vantajoso aplicar um bom modelo estático e não aceitar novos pontos de demanda, do que utilizar um modelo dinâmico que pode inserir um novo ponto de demanda mesmo que aconteça um grande aumento no custo associado ao problema. Outra parte dos autores se defendem dizendo que a utilização do modelo dinâmico ou não, pode deve ser avaliada para cada problema, deixando a opção de tratar ou não o novo ponto de demanda.

Um terceiro ponto de divergências refere-se à comparação direta de um modelo estático em relação a um dinâmico. Alguns autores sugerem que sejam feitos testes sobre os modelos de forma que se possam comparar diretamente os resultados como número de veículos e tamanho total da rota. Já a outra parte dos autores defendem que o que deve ser comparado é o custo associado a cada elemento do problema, por exemplo, o prejuízo causado pelo aumento do número de veículos para se atender o conjunto de demandas pode ser compensado pela diminuição do tempo de atendimento.

6. Conclusão

A crescente adoção de sistemas de otimização na solução de problemas encontrados no dia a dia das empresas justifica o porque da necessidade de um grande enfoque nesta área de problemas, como o problema de roteamento de veículos. Pesquisas em todo o mundo, no entanto, surgem objetivando explorar ainda mais este campo de potencial notável, de forma a criar e facilitar os modelos para solução de problemas de otimização. Modelos que tratam os vários tipos de problemas de otimização existentes estão sendo utilizados cada vez mais no auxílio para criação de ferramentas e softwares com o objetivo de atender cada vez melhor as necessidades existentes neste grande mercado consumidor.

Considerando as dificuldades algumas vezes encontradas: na definição dos modelos existentes de solução de problemas de otimização, a falta de referências específica sobre determinados assuntos e as dificuldades em relação à implementação dos modelos existentes, o modelo pode ser considerado satisfatório apesar de ser possível e necessário o aperfeiçoamento do modelo apresentado.

Com base no que foi realizado neste trabalho: proposição do modelo dinâmico e boa apresentação do referencial teórico; e apesar de alguns pontos não terem sido atingidos: avaliação completa do modelo, comparação de resultados encontrados; considero que este trabalho serve como base para possíveis interessados no assunto, ou para outros trabalhos voltados para a mesma área, servindo como uma introdução ao tratamento do dinamismo no Problema de Coleta e Entrega.

Alguns trabalhos futuros podem ser sugeridos de forma a propiciar o aperfeiçoamento deste modelo proposto, trabalhos estes:

- Aprimoramento do modelo proposto através do estudo e inserção de novas heurísticas com o objetivo de tornar o modelo mais eficiente,
- Implementação de um modelo prático, que utilize as idéias do modelo apresentado para solucionar instancias e problemas práticos desta classe de problemas tratada,
- Testes do modelo relacionando bases de dados confiáveis, e utilização de estatística experimental para uma boa avaliação da capacidade do modelo.
-

Dessa forma, fica registrada a relevância dos conhecimentos teóricos e práticos adquiridos durante o Curso de Ciência da Computação, desde o básico, como a aprendizagem de ferramentas matemáticas, até as ultimas disciplinas, apresentando tecnologias avançadas, concluindo a formação do profissional.

7. Referencias Bibliográfica

- [SS95] M.W.P. Savelsbergh and M. Sol, “*The general pickup and delivery problem*”, *Transportation Research*, 29, 17-29, (1995).
- [XCA01] H. Xu, Z.-L. Chen, S. Rajagopal, and S. Arunapuram “*Solving a practical pickup and delivery problem*”. Tech. Rep., Department of Systems Engineering, University of Pennsylvania, 2001.
- [KPS98] P. Kilby, P. Prosser and P. Shaw. “*Dynamic VRPs: A Study of Scenarios*”. Report APES-06-1998 (1998).
- [LA99] Jesper Larsen, “*Vehicle routing with time windows - finding optimal solutions efficiently*”, DORSnyt, August 1999.
- [JAN01] J.A.A. Colombo, “*Localização e Roteamento para Serviços de Atendimento Emergencial – O Caso da Segurança Eletrônica*”. Universidade Federal do Paraná, 2001.
- [LAR00] Allan Larsen, “*The Dynamic Vehicle Routing*”, Phd. Thesis. Department of Mathematical Modelling (IMM) at the Technical University of Denmark (DTU), (2000).
- [RKPT00] T.K. Ralphs, L. Kopman, W.R. Pulleyblank, and L.E. Trotter Jr., “*On the Capacitated Vehicle Routing Problem*”, submitted to *Math Programming* (2000).

- [DAS85] Daskin, Mark S. “*Logistics: an overview of the state of the art and perspective of future research*” *Transportation Research*, v.196, n.5/6, 1985.
- [GBA] *Alvarenga, Guilherme B.* “Problema de Coleta e Entrega Dinâmico Utilizando Posicionamento Real (DPDP-RP)”, *Departamento de Ciência da Computação, Universidade Federal de Minas Gerais.*
- [LEE 93] Lee, M. A. e H. Takagi (1993). *Dynamic Control of Genetic Algorithms using Fuzzy Logic Techniques*. 5º Conferência Internacional de Algoritmos Genéticos, Urbana-Champaign, IL.
- [GOL 00] Goldberg, M. C. e H. P. Luna (2000). *Otimização Combinatória e Programação Linear*. Editora Campus.
- [MIR] Miranda, M. N. *Algoritmos Genéticos: Fundamentos e Aplicações*. Disponível em <http://www.gta.ufrj.br/~marcio/genetic.html>. Acessado em 29/06/2003.

Anexo A

Neste anexo do trabalho será mostrada a representação das instancias utilizadas como base para a apresentação dos resultados obtidos, através dos testes realizados, mostrados no trabalho no capitulo quatro.

- **Instancia 1**

Ponto	X	Y	Demanda
1	10	10	7
2	50	50	30
3	60	20	16
4	90	90	9
5	20	60	21
6	100	0	15
7	0	100	19
8	30	40	23
9	30	50	11
10	50	80	5

- **Instancia 2**

Ponto	X	Y	Demanda	Ponto	X	Y	Demanda
1	41	49	10	51	49	58	10
2	35	17	7	52	27	43	9
3	55	45	13	53	37	31	14
4	55	20	19	54	57	19	18
5	15	30	26	55	63	23	2
6	25	30	3	56	53	12	6
7	20	50	5	57	32	12	7
8	10	43	9	58	36	26	18
9	55	60	16	59	21	24	28
10	30	60	16	60	17	34	3
11	20	65	12	61	12	24	13
12	50	35	19	62	24	58	19
13	30	25	23	63	27	69	10
14	15	10	20	64	15	77	9
15	30	5	8	65	62	77	20

16	10	20	19	66	49	73	25
17	5	30	2	67	67	5	25
18	20	40	12	68	56	39	36
19	15	60	17	69	37	47	6
20	45	65	9	70	37	56	5
21	45	20	11	71	57	68	15
22	45	10	18	72	47	16	25
23	55	5	29	73	44	17	9
24	65	35	3	74	46	13	8
25	65	20	6	75	49	11	18
26	45	30	17	76	49	42	13
27	35	40	16	77	53	43	14
28	41	37	16	78	61	52	3
29	64	42	9	79	57	48	23
30	40	60	21	80	56	37	6
31	31	52	27	81	55	54	26
32	35	69	23	82	15	47	16
33	53	52	11	83	14	37	11
34	65	55	14	84	11	31	7
35	63	65	8	85	16	22	41
36	2	60	5	86	4	18	35
37	20	20	8	87	28	18	26
38	5	5	16	88	26	52	9
39	60	12	31	89	26	35	15
40	40	25	9	90	31	67	3
41	42	7	5	91	15	19	1
42	24	12	5	92	22	22	2
43	23	3	7	93	18	24	22
44	11	14	18	94	26	27	27
45	6	38	16	95	25	24	20
46	2	48	1	96	22	27	11
47	8	56	27	97	25	21	12
48	13	52	36	98	19	21	10
49	6	68	30	99	20	26	9
50	47	47	13	100	18	18	17

• Instancia 3

Ponto	X	Y	Demanda	Ponto	X	Y	Demanda
1	41	49	10	101	37	52	7
2	35	17	7	102	49	49	30
3	55	45	13	103	52	64	16
4	55	20	19	104	20	26	9
5	15	30	26	105	40	30	21
6	25	30	3	106	21	47	15
7	20	50	5	107	19	63	19
8	10	43	9	108	31	62	23
9	55	60	16	109	52	33	11
10	30	60	16	110	51	21	5
11	20	65	12	111	42	41	19
12	50	35	19	112	31	32	29
13	30	25	23	113	5	25	23
14	15	10	20	114	12	42	21
15	30	5	8	115	36	16	10
16	10	20	19	116	52	41	15
17	5	30	2	117	27	23	3
18	20	40	12	118	17	33	41
19	15	30	17	119	13	13	9
20	45	65	9	120	57	58	28
21	45	20	11	121	62	42	8
22	45	10	18	122	42	57	8
23	55	5	29	123	16	57	16
24	65	35	3	124	8	52	10
25	65	20	6	125	7	38	28
26	45	30	17	126	27	68	7
27	35	40	16	127	30	48	15
28	41	37	16	128	43	67	14
29	64	42	9	129	58	48	6
30	40	60	21	130	58	27	19
31	31	52	27	131	37	69	11
32	35	69	23	132	38	46	12
33	53	52	11	133	46	10	23
34	65	55	14	134	61	33	26
35	63	65	8	135	62	63	17
36	2	60	5	136	63	69	6
37	20	20	8	137	32	22	9

38	5	5	16	138	45	35	15
39	60	12	30	139	59	15	14
40	40	25	9	140	5	7	7
41	42	7	5	141	10	17	27
42	24	12	5	142	21	10	13
43	23	3	7	143	5	64	11
44	11	14	18	144	30	15	16
45	6	38	16	145	39	10	10
46	2	48	1	146	32	39	5
47	8	56	27	147	25	32	25
48	13	52	36	148	25	55	17
49	6	68	30	149	48	28	18
50	47	47	13	150	56	37	10
51	49	58	10	151	22	22	18
52	27	43	9	152	36	26	26
53	37	31	14	153	21	45	11
54	57	29	18	154	45	35	30
55	63	23	2	155	55	20	21
56	53	12	6	156	33	34	19
57	32	12	7	157	50	50	15
58	36	26	18	158	55	45	16
59	21	24	28	159	26	59	29
60	17	34	3	160	40	66	26
61	12	24	13	161	55	65	37
62	24	58	19	162	35	51	16
63	27	69	10	163	62	35	12
64	15	77	9	164	62	57	30
65	62	77	20	165	62	24	8
66	49	73	25	166	21	36	19
67	67	5	25	167	33	44	20
68	56	39	36	168	9	56	13
69	37	47	6	169	62	48	15
70	37	56	5	170	66	14	22
71	57	68	15	171	44	13	28
72	47	16	25	172	26	13	12
73	44	17	9	173	11	28	6
74	46	13	8	174	7	43	27
75	49	11	18	175	17	64	14
76	49	42	13	176	41	46	18
77	53	43	14	177	55	34	17

78	61	52	3	178	35	16	29
79	57	48	23	179	52	26	13
80	56	37	6	180	43	26	22
81	55	54	26	181	31	76	25
82	15	47	16	182	22	53	28
83	14	37	11	183	26	29	27
84	11	31	7	184	50	40	19
85	16	22	41	185	55	50	10
86	4	18	35	186	54	10	12
87	28	18	26	187	60	15	14
88	26	52	9	188	47	66	24
89	26	35	15	189	30	60	16
90	31	67	3	190	30	50	30
91	15	19	1	191	12	17	15
92	22	22	2	192	15	14	11
93	18	24	22	193	16	19	18
94	26	27	27	194	21	48	17
95	25	24	20	195	50	30	21
96	22	27	11	196	51	42	27
97	25	21	12	197	50	15	19
98	19	21	10	198	48	21	20
99	20	26	9	199	12	38	5
100	18	18	17	200	0	0	2