

Um Modelo Híbrido Estocástico para Tratamento do Problema de Roteamento de Veículos com Janela de Tempo

Dissertação de mestrado (CIn-UFPE)

Humberto César Brandão de Oliveira

Orientador: Germano Crispim Vasconcelos



- Objetivos e motivação
- Problema de Roteamento de Veículos com Janela de Tempo
- Modelo híbrido proposto
 - Resultados experimentais
- Ajuste paramétrico
 - Resultados experimentais
- Conclusões
- Trabalhos futuros

- Impacto da distribuição no valor final dos produtos;
- Poluição.

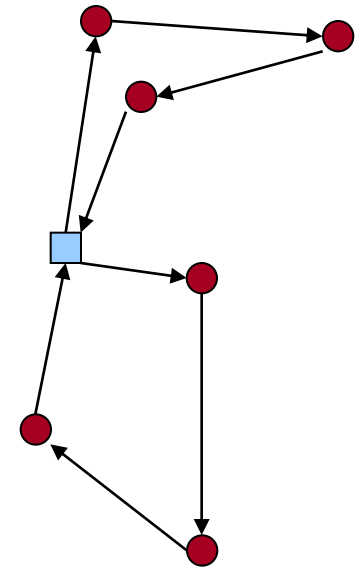
Obs.: 2,53% do PIB brasileiro está em serviços relacionados a transporte [Fraga, 2007];

- Criar um modelo heurístico para solucionar um tipo de problema de roteamento de veículos;
- Comparar modelo proposto com os melhores modelos da literatura;
- Criar um arcabouço para ajuste paramétrico de sistemas estocásticos;

- Objetivos e motivação
- Problema de Roteamento de Veículos com Janela de Tempo
- Modelo híbrido proposto
 - Resultados experimentais
- Ajuste paramétrico
 - Resultados experimentais
- Conclusões
- Trabalhos futuros

Problema de Roteamento de Veículos com Janela de Tempo – PRVJT – (1)

- Conceitos:
 - Têm-se um conjunto C de consumidores de recursos;
 - Têm-se um conjunto V de veículos, localizados a princípio no depósito central;
 - Deve-se criar uma alocação para os veículos, buscando redução custos com o atendimento de todos os consumidores;
- Restrições adicionais do PRVJT:
 - Capacidade;
 - Janela de tempo



Problema de Roteamento de Veículos com Janela de Tempo – PRVJT – (2)

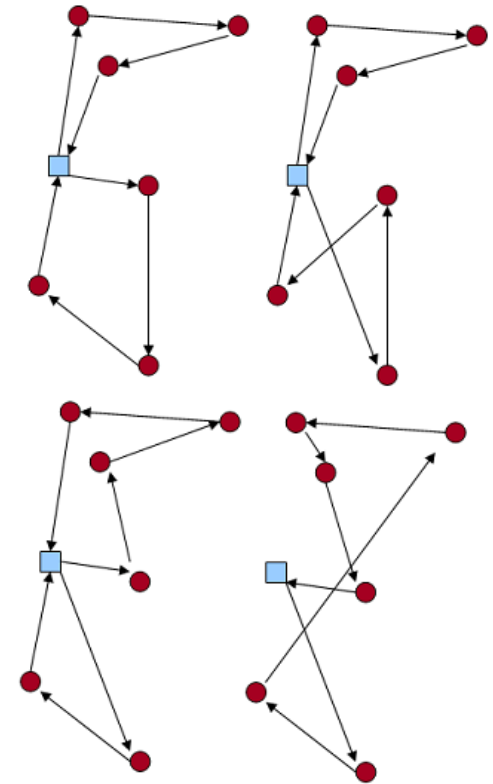
- Visualizando o PRVJT como um problema de otimização:
 - F : conjunto com pontos no espaço de soluções;
 - c : função de custo;

$$c : F \rightarrow R^1$$

- Deve-se encontrar o ponto y de menor custo;

$$c(y) \leq c(f) \quad \forall \quad f \in F$$

- y é o ótimo global.



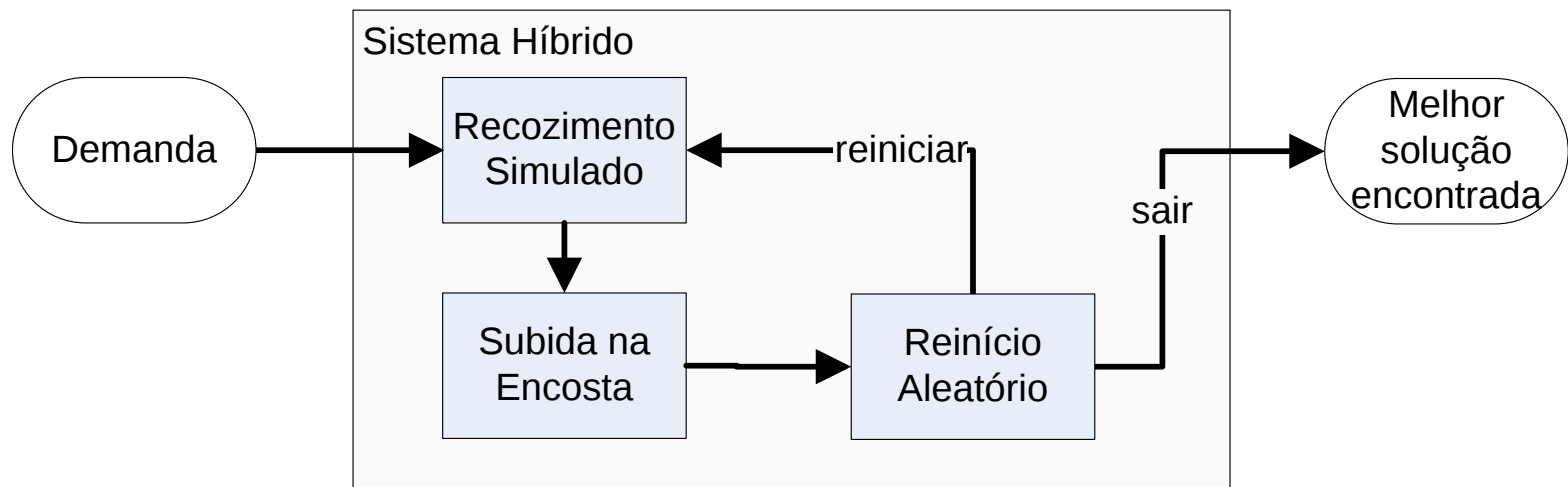
Problema de Roteamento de Veículos com Janela de Tempo – PRVJT – (3)

- Aplicações:
 - Transporte escolar;
 - Distribuição e coleta de dinheiro em caixas eletrônicos;
 - Serviços de entrega de alimentos de restaurantes;
 - Coleta de lixo em centros urbanos;
 - etc.

- Objetivos e motivação
- Problema de Roteamento de Veículos com Janela de Tempo
- Modelo híbrido proposto
 - Resultados experimentais
- Ajuste paramétrico
 - Resultados experimentais
- Conclusões
- Trabalhos futuros

Modelo Híbrido (1)

- Composto de três meta-heurísticas:
 - Recozimento simulado (*simulated annealing*) [Kirkpatrick et Al., 1983];
 - Subida na encosta (*hill climbing*) [Russel e Norvig, 2003];
 - Reinício aleatório (*multi-start*) [Russel e Norvig, 2003];



Modelo Híbrido (2)

Recozimento Simulado Não Monotônico (RSNM)

- O RSNM:
 - É uma especialização do método RS, conhecido como *Simulated Annealing*. [Kirkpatrick et al. em 1983];
 - O RS (computacional) foi abstraído de um conhecimento centenário utilizado para criação de vidros e metais resistentes;
 - Em adição ao RS, o RSNM não apenas reduz a temperatura simulada do sistema, efetuando acréscimos ‘quando necessário’;
 - O RNSM não privilegia a intensificação;

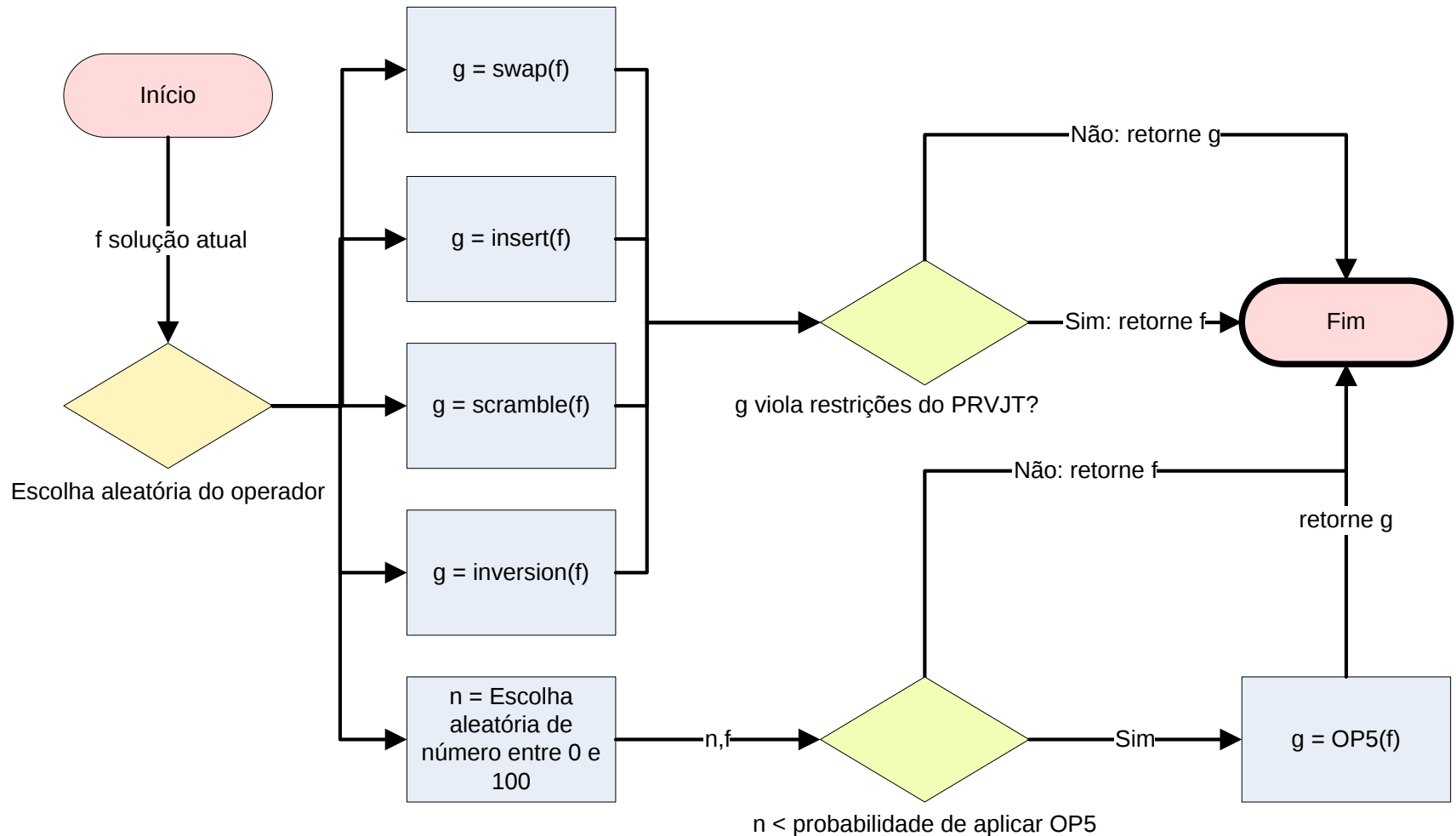
Modelo Híbrido (3)

Recozimento Simulado Não Monotônico (RSNM)

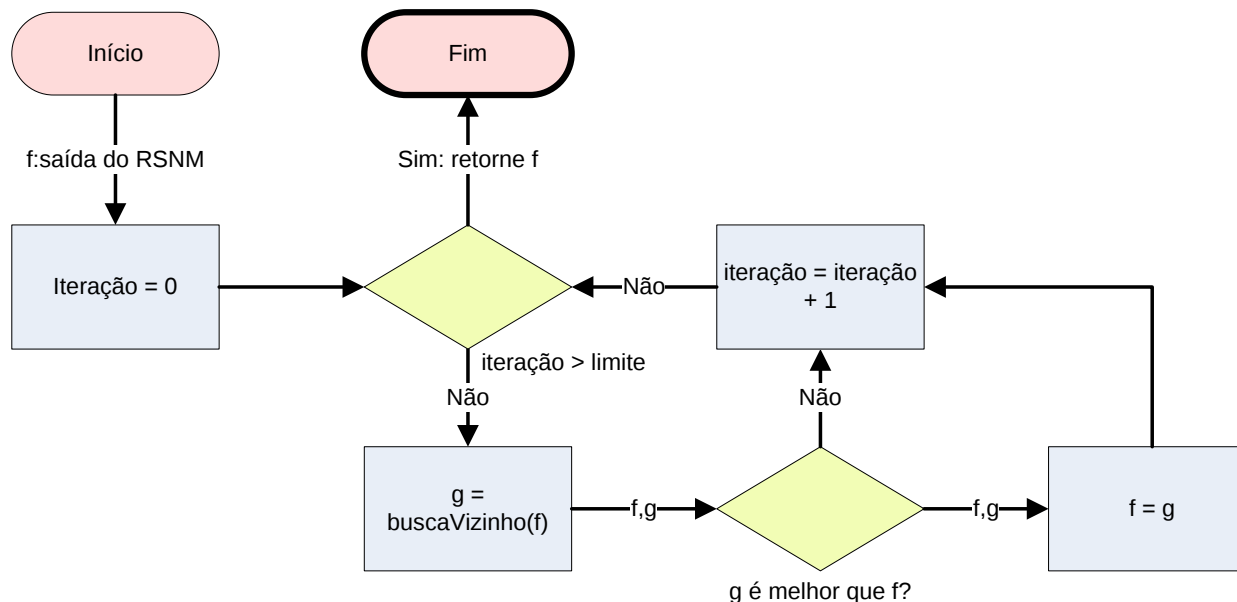
- Solução inicial do RSNM:
 - Método construtivo: *push forward insertion heuristic* (PFIH);
- Movimentação no espaço de buscas:
 - 4 operadores básicos de vizinhança (troca, inserção, inversão e mistura), [Eiben et Al., 2003], todos $O(1)$;
 - 1 operador heurístico (OP5), $O(n^2)$;
 - Como os operadores de vizinhança são aplicados?

Modelo Híbrido (4)

Vizinhança Utilizada no RSNM e na SE



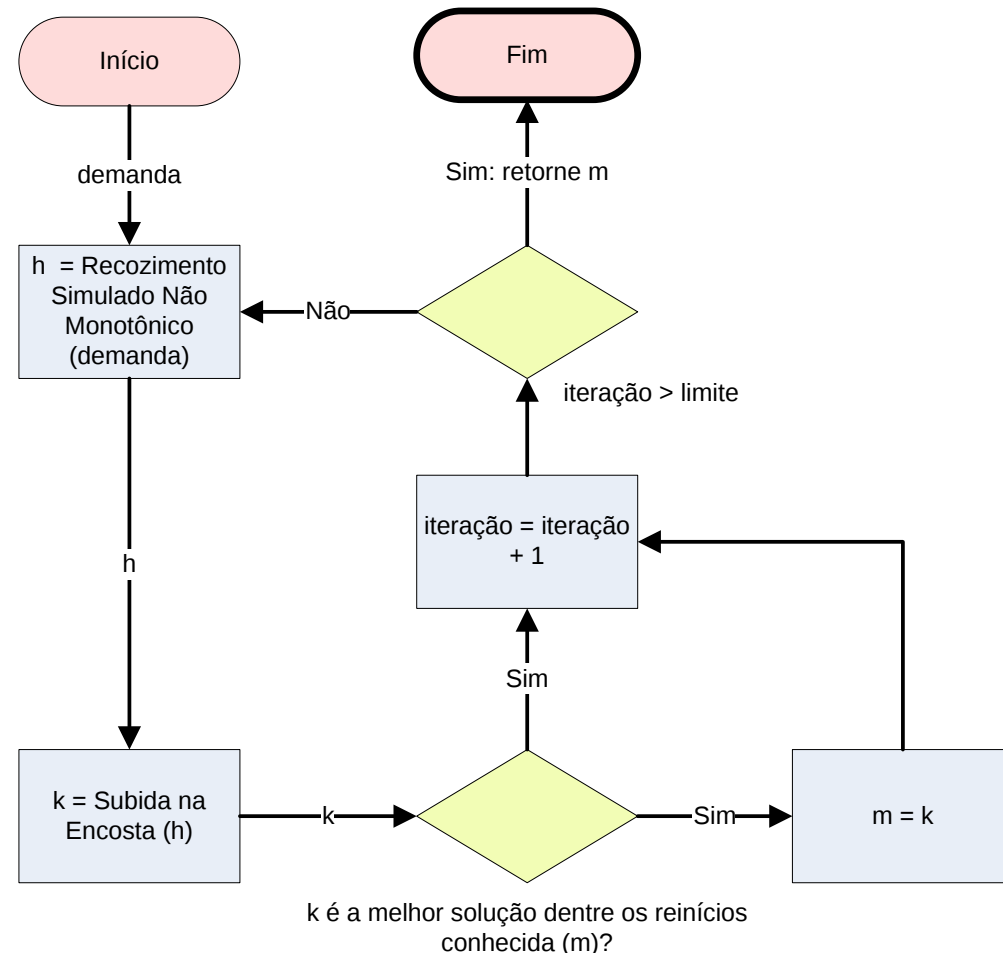
- Para compensar a carência de um mecanismo intensificador do RSNM, foi adicionada uma SE ao modelo;
- Mecanismo iterativo onde apenas movimentos de melhoria são aceitos;



Modelo Híbrido (6)

Reinício Aleatório (RA)

- A união do RSNM com a SE se apresentou um sistema de qualidade, mas este não possuía robustez;
- O RA é utilizado basicamente para reduzir a variância de sistemas estocásticos;



Modelo Híbrido (7)

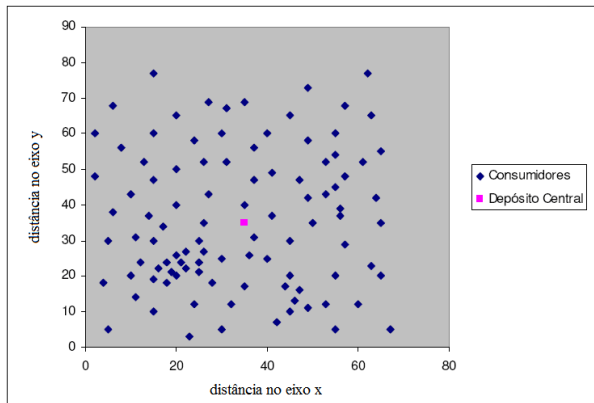
Inovações deste trabalho

- Adaptação da busca local (SE) após ao RSNM;
- Operador de vizinhança OP5;
 - Específico para roteamento;
- Combinação dos meta-algoritmos (RSNM, SE e RA);
 - Buscando principalmente balancear a intensificação e a diversificação;

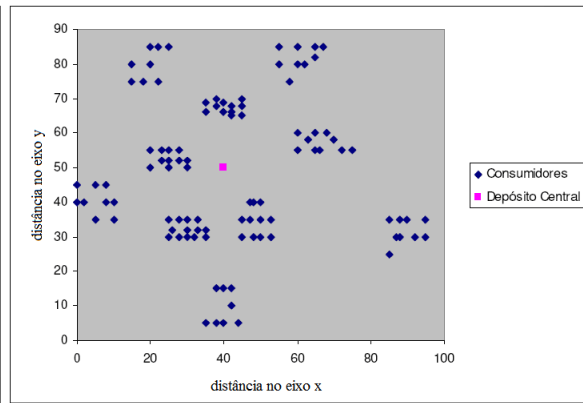
- Objetivos e motivação
- Problema de Roteamento de Veículos com Janela de Tempo
- Modelo híbrido proposto
 - Resultados experimentais
- Ajuste paramétrico
 - Resultados experimentais
- Conclusões
- Trabalhos futuros

Resultados Experimentais do SH (1)

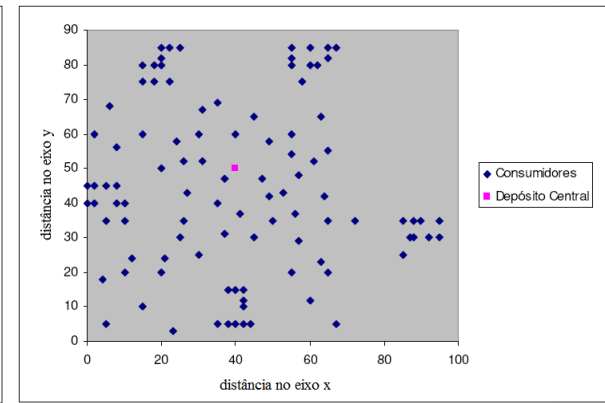
- Base de testes utilizada:
 - 56 instâncias distintas de [Solomon, 1987];
 - Cada instância possui 100 consumidores cada, variando em:
 - Posicionamento geográfico;
 - Demanda de serviço;
 - Tempo de serviço;
 - Janela de tempo;



Classes R1 e R2



Classes C1 e C2



Classes RC1 e RC2

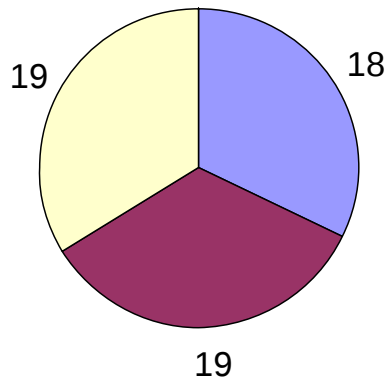
Resultados Experimentais do SH (2)

- Características em comum das classes R1, C1 e RC1 (tipo 1):
 - São atendidas com uma grande quantidade de veículos;
- Características em comum das classes R2, C2 e RC2 (tipo 2):
 - São atendidas com uma pequena quantidade de veículos;
- Fatores que levam a esta diferenciação:
 - Alta demanda de carga → mais veículos;
 - Alto tempo de atendimento → mais veículos;
 - Proximidade de consumidores com janelas de tempo temporalmente próximas → menos veículos;

Resultados Experimentais do SH (3)

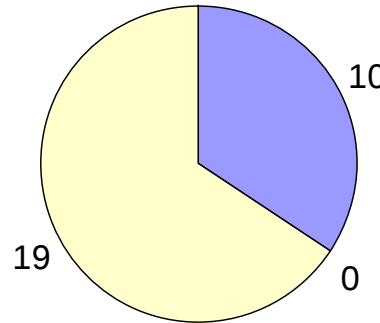
Todas 56 instâncias:

- 19 melhores marcas;
- 18 resultados alcançados;



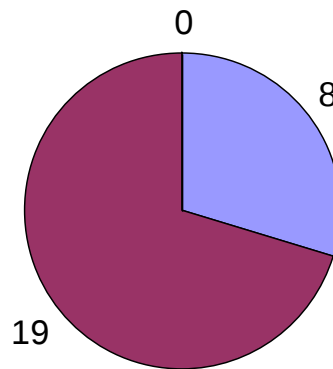
Tipo 1:

- apenas 10 resultados igualados;



Tipo 2:

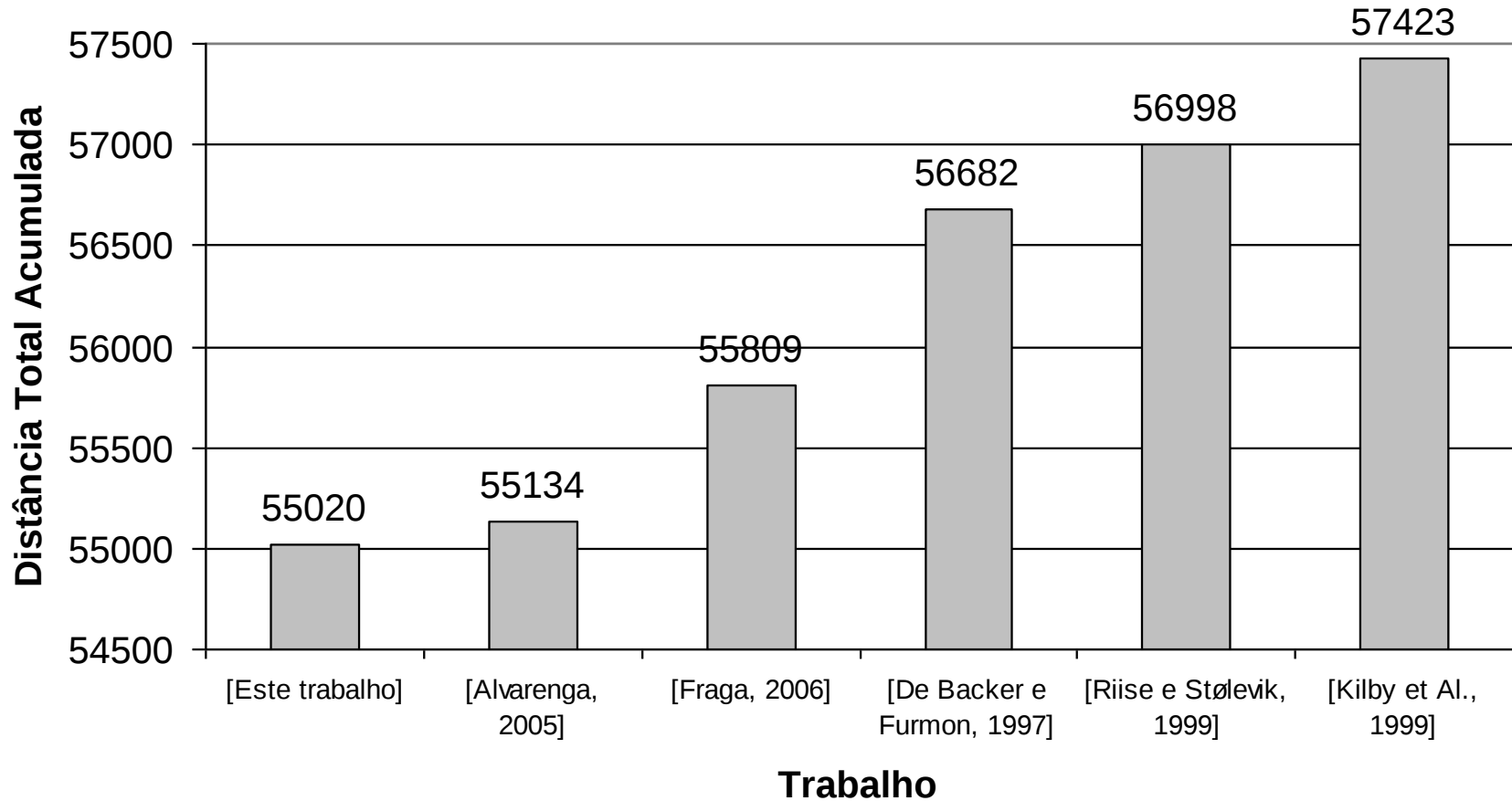
- 19 melhores marcas;
- 8 resultados alcançados;



Em 100% alcançou ou superou.

Defesa de mestrado: Humberto César Brandão de Oliveira

Resultados Experimentais do SH (4)



Resultados Experimentais do SH (5)

Eficiência do Modelo

- Medida de dispersão: desvio padrão:

Classe Trabalho	R1	R2	C1	C2	RC1	RC2	Média total dos desvios
[Alvarenga, 2005]	3.00	8.71	0.00	0.60	10.01	11.04	5.56
[Este trabalho]	4.36	2.34	0.81	0.00	7.48	3.60	3.10

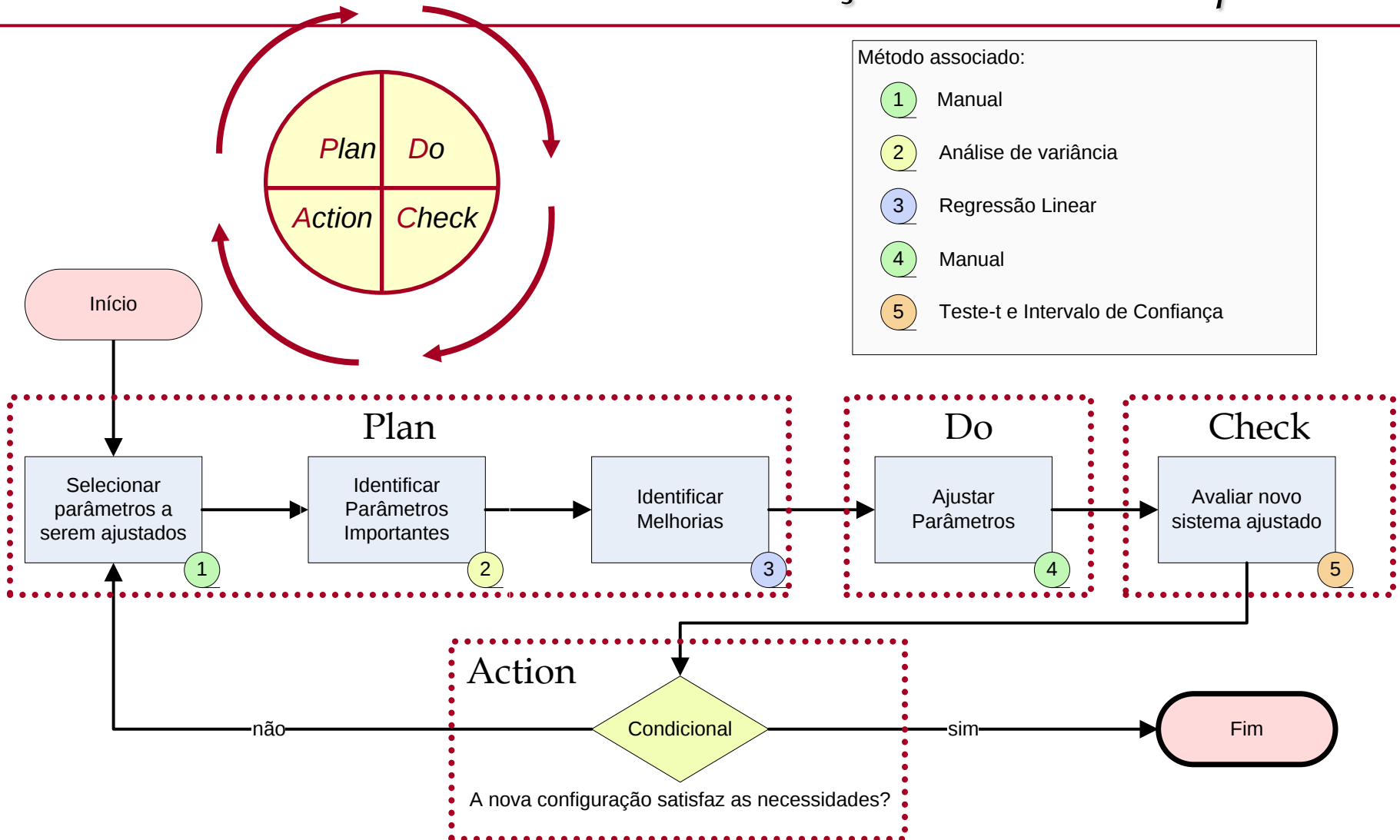
- Objetivos e motivação
- Problema de Roteamento de Veículos com Janela de Tempo
- Modelo híbrido proposto
 - Resultados experimentais
- Ajuste paramétrico
 - Resultados experimentais
- Conclusões
- Trabalhos futuros

Ajuste Paramétrico (1)

- Métodos existentes:
 - Manual
 - Tentativa e erro;
 - Dificuldade para um ajuste de alta qualidade;
 - Através de mecanismos inteligentes
 - Ajusta o sistema sem fornecer um *feedback* aos pesquisadores;
- É importante, para o pesquisador, descobrir quais são os reais fatores influenciadores na qualidade de seu sistema.

Ajuste Paramétrico (2)

Arcabouço – Método *template*



Defesa de mestrado: Humberto César Brandão de Oliveira

Ajuste Paramétrico (3)

Seleção dos Parâmetros

- Escolha dos parâmetros para ajuste:
 - Utilização da experiência dos pesquisadores;
- Parâmetros selecionados:
 - P – probabilidade de aplicação do operador heurístico OP5;
 - FR – fator e redução de temperatura do RS;
 - TR – temperatura de reaquecimento (não monotonicidade)

Ajuste Paramétrico (3)

Identificação dos Parâmetros Influenciadores na Qualidade

- Utilização do método de análise de variância (ANOVA);
- H_0 : os diferentes tratamentos não afetam a qualidade do modelo

Tabela - Resumo da Análise de Variância dos parâmetros do Sistema Híbrido

Fator	p-valor
<i>P</i>	1.163×10^{-11}
<i>FR</i>	9.710×10^{-05}
<i>TR</i>	0.517474
<i>P:FR</i>	0.008894
<i>P:TR</i>	0.202591
<i>FR:TR</i>	0.457425
<i>P:FR:TR</i>	0.385875

em destaque:

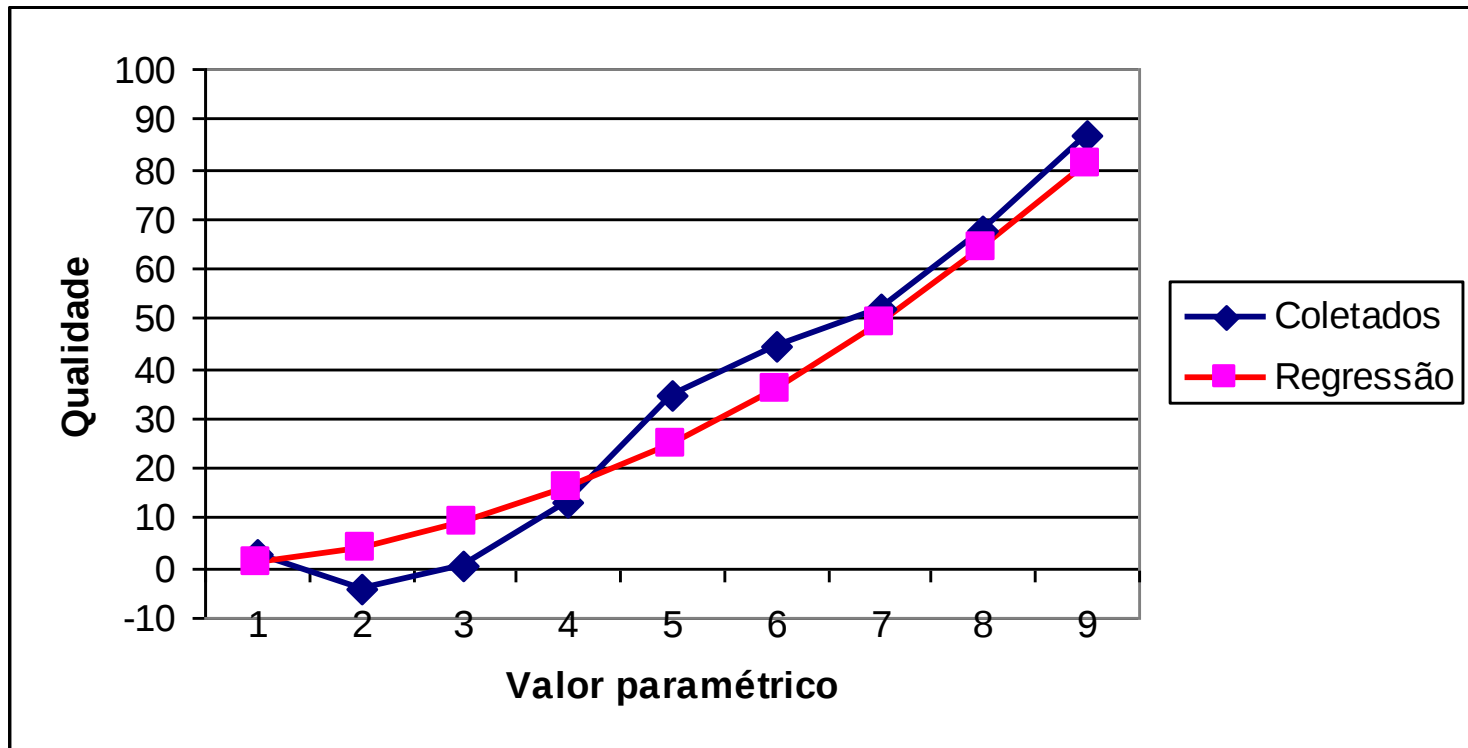
A hipótese H_0 foi
negada com 95% de
confiança:

p-valor < 0,05

Ajuste Paramétrico (4)

Identificação da Melhorias

- Utilização do método de regressão linear

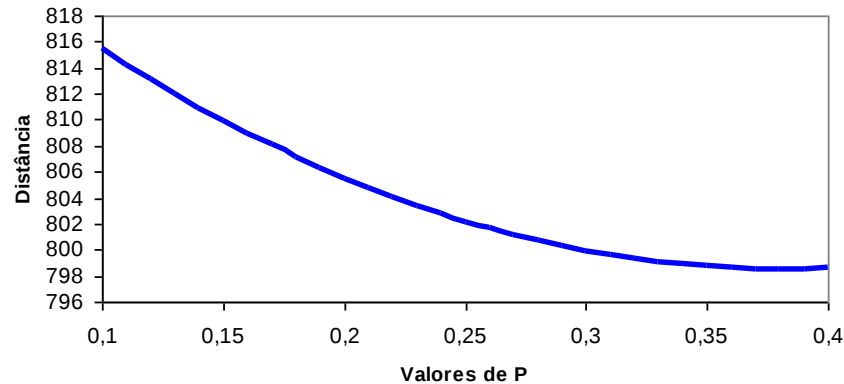


Ajuste Paramétrico (5)

Identificação da Melhorias – Regressão Linear

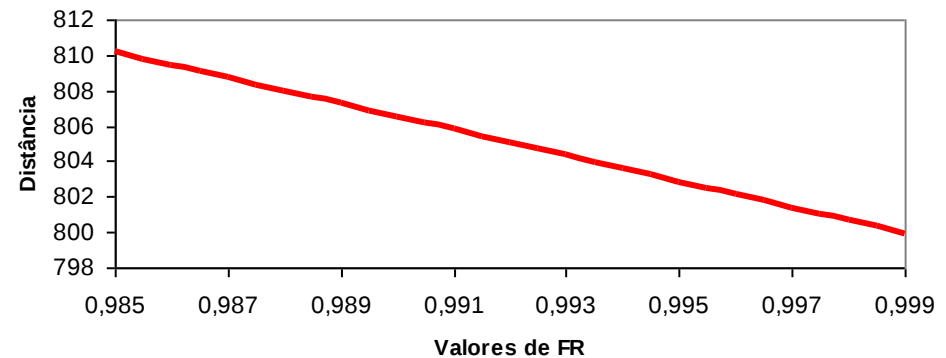
Regressão do parâmetro P

$$\text{distância}(P) = 214.76 \times P^2 - 163.53 \times P + 829.65$$



Regressão do parâmetro FR

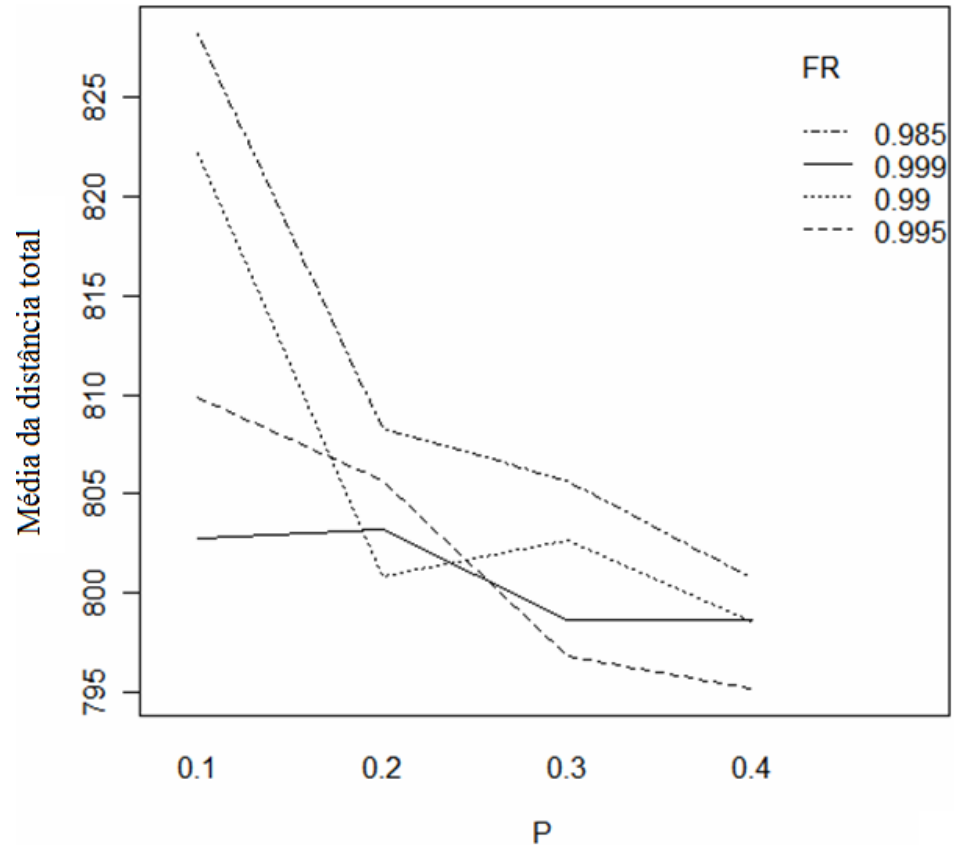
$$\text{distância}(FR) = -56.16 \times FR + 818.91$$



Ajuste Paramétrico (6)

Identificação da Melhorias

- Melhores configuração da combinação PR:FR
 - $P=0,4$;
 - $FR=0,995$;
- Configuração escolhida:
 - $P: 0,5$
 - $FR: 0,995$
 - $TR: 25$



- Objetivos e motivação
- Problema de Roteamento de Veículos com Janela de Tempo
- Modelo híbrido proposto
 - Resultados experimentais
- Ajuste paramétrico
 - Resultados experimentais
- Conclusões
- Trabalhos futuros

Resultados Experimentais do SH Parametricamente Ajustado (1)

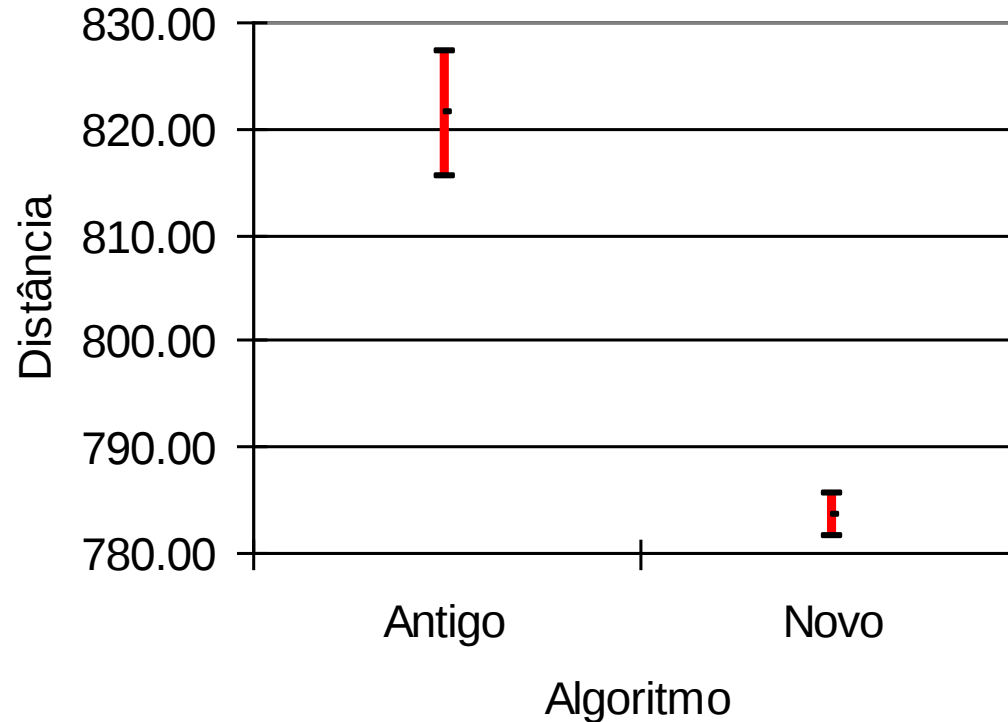
- Para comparação entre as diferentes abordagens (ajustada e não ajustada) foram utilizadas as seguintes métricas:
 - Medida de posição e dispersão;
 - Intervalo de confiança;
 - Teste-t;

Média e Desvio Padrão

- Para a instância estudada (RC208):
 - A medida de posição (média) demonstra que o sistema ajustado apresenta maior qualidade;
 - A medida de dispersão (desvio) demonstra que o sistema ajustado apresenta maior confiança;

	Antigo Sistema	Novo Sistema
Média	821.32	783.42
Desvio Padrão	13.52	4.77

- O intervalo de confiança mostra (com grau de confiança em 95%)



- O teste-t sobre as amostras das duas configurações em comparação mostrou, com 95% de confiança, que a melhoria alcançada é estatisticamente significativa.

- Objetivos e motivação
- Problema de Roteamento de Veículos com Janela de Tempo
- Modelo híbrido proposto
 - Resultados experimentais
- Ajuste paramétrico
 - Resultados experimentais
- Conclusões
- Trabalhos futuros

Conclusões (1)

Objetivos Alcançados

- O modelo híbrido apresentado se mostrou eficaz e eficiente na resolução do PRVJT;
 - Eficaz:
 - De 56 instâncias, 37 resultados foram superados ou alcançados pelo modelo proposto;
 - Eficiente:
 - Em comparação direta com o melhor sistema da literatura para resolução do PRVJT, o modelo deste trabalho apresentou uma maior robustez;
- O arcabouço de ajuste paramétrico se mostrou, com relevância estatística, capaz de elevar a qualidade de sistemas estocásticos;

Conclusões (2)

Limitações do Trabalho

- O modelo possui uma componente quadrática: $O(n^2)$;
- Não apresentou alta qualidade para as instâncias que demandam muitos veículos para atendimento dos consumidores;
- A reutilização do modelo deste trabalho pode se tornar complexa devido ao número de parâmetros ajustáveis;

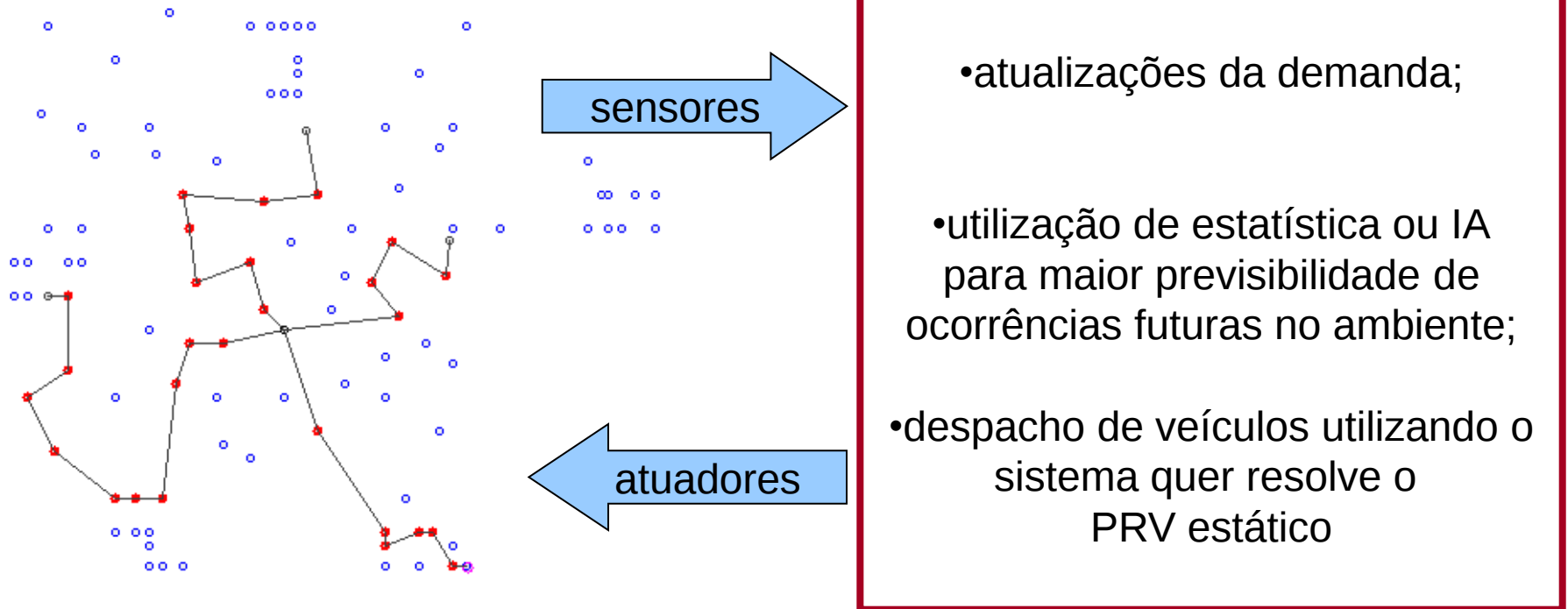
- Objetivos e motivação
- Problema de Roteamento de Veículos com Janela de Tempo
- Modelo híbrido proposto
 - Resultados experimentais
- Ajuste paramétrico
 - Resultados experimentais
- Conclusões
- Trabalhos futuros

Trabalhos Futuros (1)

- Ambiente virtual para simulação:
 - Inserção de imprecisão nas demandas e viagens veiculares:
 - Novos consumidores surgem depois que a frota está em circulação;
 - Tempo de viagem estocástico (simulação de congestionamentos)
 - Demanda estocástica
 - etc.
 - Novas medições:
 - Número de consumidores visitados;
 - Número de consumidores atendidos;
 - Número de veículos que conseguiram retornar ao depósito a tempo;
 - Número de consumidores que não foram atendidos por restrição de carga;
 - Número de consumidores que não foram atendidos por restrição de tempo;
 - etc.

Trabalhos Futuros (2)

- Adaptação de um agente inteligente à metodologia proposta neste trabalho.



Um Modelo Híbrido Estocástico para Tratamento do Problema de Roteamento de Veículos com Janela de Tempo

Dissertação de mestrado (CIn-UFPE)

Humberto César Brandão de Oliveira

Orientador: Germano Crispim Vasconcelos

