



# R E V I STA

**SOLUÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DO PAÍS**

**VOLUME 5 - Nº 59 - Novembro / 2010**

**ISSN - 1809-3957**

## **ARTIGOS PUBLICADOS**

---

PUBLICAÇÃO MENSAL  
Nesta edição

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE ROTEIRIZAÇÃO VEICULAR INTELIGENTE APLICADO NA ZONA URBANA DE MÁXIMA RESTRIÇÃO DE CIRCULAÇÃO NA CIDADE DE SÃO PAULO - Ricardo Pinto Ferreira , Renato José Sassi..... 02

SISTEMA DINÂMICO DE ROTEIRIZAÇÃO VEICULAR: UMA FERRAMENTA EFICIENTE PARA A DISTRIBUIÇÃO FÍSICA - Ricardo Pinto Ferreira , Renato José Sassi..... 06

CAVITATION EROSION OF ALUMINUM SAE-335 USING THE ROTATING DISK DEVICE - G. Bazanini, D. Bressan, M. A. Klemz..... 11

Atendimento:

[contato@sodebras.com.br](mailto:contato@sodebras.com.br)

Acesso:

<http://www.sodebras.com.br>



# DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE ROTEIRIZAÇÃO VEICULAR INTELIGENTE APLICADO NA ZONA URBANA DE MÁXIMA RESTRIÇÃO DE CIRCULAÇÃO NA CIDADE DE SÃO PAULO

ISSN 1809-3957

R. P. Ferreira e R. J. Sassi - Universidade Nove de Julho

kasparov@uninove.edu.br, sassi@uninove.br

*Abstract: The traffic even more chaotic in large cities, the increasing difficulties for urban traffic either by government restrictions, such as local rotation, weight restrictions and vehicle size, time restrictions of movement and roads, are some factors that reduce the ability to meet the deadline, the supply of goods expressed. The study of new possibilities in the field of vehicle routing gaining ground with the development computer. The climate is also responsible for much of the congestion no rain no matter how small slows. When the rains are more severe confronted with real situations blackout in city traffic, the heavy rains cause flooding points, breaking vehicles, light and heavy, falling trees and other notable events around town. In the process of greater traffic capacity occurrences cause the most notable periods of interruption, and plays a vital conditions of the flow of traffic. The objective of this study is to analyze external factors that influence the flow of urban traffic and vehicle routing. The methodology was developed by analyzing the characteristics of urban roads and later records of real situations observed in the course of the metropolitan city of Sao Paulo that cause reduction or discontinuation of the urban traffic flow. It follows that an efficient routing system and supported by Information Technology and Communication Technology (ICT) as well as the programming process of vehicles and planned competitive advantages for logistics operators.*

*Keywords: Dynamic routing, Routing and Scheduling of Urban Vehicles; Information Technology.*

## 1. Introdução

Os novos hábitos de consumo dos brasileiros trouxeram ao mercado produtos com ciclo de vida mais curto, conseqüentemente volumes crescentes de itens fora de uso e sem destino certo após o uso (TODAY, 2009).

As vendas pela internet ganharam espaço e as reduções dos estoques aumentaram a frequência das entregas, e a responsabilidade da entrega em prazos cada vez mais justos, obedecendo a janelas de tempo, geralmente rígidas na distribuição e flexíveis na coleta e exigem soluções inteligentes que com o uso das novas tecnologias disponíveis no mercado

apresentem formas alternativas de cumprir a missão de cruzar a região metropolitana e realizar o papel logístico de transportar os mais variados produtos e entregá-los dentro do prazo acordado com os clientes.

O cenário implica em maior nível de eficácia na logística do transporte terrestre urbano, nas regiões urbanas de São Paulo a exigência por níveis de serviço regulares e confiáveis tornam a competitividade bastante acirrada entre as *couriers*. A roteirização eficiente de veículos aparece como uma oportunidade de atender adequadamente os anseios dos clientes.

## 2. Objetivo

O objetivo da pesquisa é subsidiar o desenvolvimento de um sistema de roteirização dinâmico baseado em ocorrências notáveis verificadas no tráfego urbano na Zona de Máxima Restrição de Circulação (ZMRC) da cidade de São Paulo auxiliado pela Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC).

## 3. Metodologia

A metodologia do presente trabalho consiste no estudo da cidade de São Paulo-SP, mais precisamente na (ZMRC), região metropolitana de grande concentração de empresas. Foi realizado um levantamento sobre o comportamento do trânsito cotidiano da grande São Paulo, com observações das restrições de circulação criadas na tentativa de reduzir os congestionamentos, estudo das malhas viárias e capilaridade das vias e ocorrências diversas que impactam na fluidez do tráfego urbano.

## 4. A Roteirização e Programação de Veículos

O processo de roteirização visa proporcionar um serviço de alto nível aos clientes, mas ao mesmo tempo manter os custos operacionais e de capitais tão baixos quanto

possível (NOVAES, 2001). Um aspecto importante para obter máxima eficiência no transporte é a definição das rotas das coletas e/ou entregas. Essa definição determina o trajeto que um veículo percorrerá para completar as exigências dos serviços de transportes (BOWERSOX et al., 2006). O tempo de trânsito afeta diretamente o prazo de ressurgimento, abrangendo o tempo gasto pelo embarcador na consolidação e manuseios (caso haja) e o tempo necessário à liberação da carga por ocasião do recebimento (RODRIGUES, 2003). O problema de programação de veículos basicamente envolve: a quantidade de veículos relacionados; a capacidade volumétrica de cada veículo e a arrumação da carga em seu interior; os pontos de paradas para coleta ou entrega; o tempo de cada parada; a alocação das equipes.

Segundo Chopra e Meindl (2003), a decisão operacional mais importante relacionada ao transporte na cadeia de suprimentos diz respeito a rotas e cronogramas de coletas e entregas.

O problema de programação envolve: quantidade de veículos envolvidos; capacidade de cada veículo (cubagem em m<sup>3</sup>); pontos de paradas para coleta ou entrega; tempo necessário para cada parada etc.

Um problema típico de roteirização, envolvendo muitas paradas e veículos, o total de roteiros possíveis é astronômico. Por isso, princípios operacionais que resultem em boas soluções podem ser muito úteis, tendo em vista que o tempo para a montagem da rota ou programação de veículos é curto, quando a roteirização é destinada a rotas urbanas o tempo exerce fator primordial para soluções de roteirização.

Um problema real de roteirização é definido por três fatores fundamentais: decisões, objetivos e restrições (PARTYKA e HALL apud NOVAES, 2001). As decisões dizem respeito à locação de um grupo de clientes, que devem ser visitados, a um conjunto de veículos e respectivos motoristas, envolvendo também a programação e o seqüenciamento das visitas. Como objetivos principais, o processo de roteirização visa proporcionar um serviço de alto nível aos clientes, mas ao mesmo tempo mantendo os custos operacionais e de capitais tão baixos quanto possível. Por outro lado, deve obedecer a certas restrições. Em primeiro lugar, deve completar as rotas com os recursos disponíveis, mas cumprindo totalmente os compromissos assumidos com os clientes. Em segundo lugar, deve respeitar os limites de tempo impostos pela jornada de trabalho dos motoristas e ajudantes. Finalmente, devem ser respeitadas as restrições de trânsito, no que se referem às velocidades máximas, horários de

carga/descarga, rodízios de veículos, tamanho máximo dos veículos nas vias públicas etc. (NOVAES, 2001).

Na prática, problemas de roteirização ocorrem com bastante freqüência na distribuição de produtos e de serviços. Alguns exemplos são listados a seguir: entrega, em domicílio, de produtos comprados nas lojas de varejo ou pela Internet; entrega, em domicílio, de remédios; distribuição de bebidas em bares e restaurantes; distribuição de dinheiro para caixas eletrônicos de bancos; distribuição de combustíveis para postos de gasolina; entrega de encomendas expressas; coleta de lixo urbano; coleta de produtos fora de uso (logística reversa); coleta e distribuição simultânea de produtos (NOVAES, 2001).

Segundo Bodin et al. (1983), os problemas de roteirização podem ser classificados inicialmente em três grupos principais:

I) Problemas de roteirização pura de veículos (PRV): neste tipo de problema as condicionantes temporais não são consideradas na geração dos roteiros para coleta e/ou entrega, sendo que em alguns casos pode-se considerar a restrição de comprimento máximo do arco. O problema de roteirização busca definir a seqüência de pontos de parada que cada veículo deve seguir buscando a minimização de custos do transporte;

II) Problemas de programação de veículos e tripulações (PRVT): tipo de problema de roteirização onde as condicionantes temporais devem ser consideradas, ou seja, as restrições adicionais relacionadas aos horários em que as atividades devem ser executadas devem ser consideradas no tratamento do problema;

III) Problemas combinados de roteirização e programação: é uma extensão do problema da roteirização do veículo, onde restrições realistas são incluídas, restrições estas tais como janelas de tempo, precedência de tarefas e alocação da tripulação.

## 5. A Roteirização Dinâmica

Na cidade de São Paulo basta um veículo parar em uma via movimentada para produzir imediata diminuição dos veículos dessa via. E, nas variações do fluxo de trânsito em ruas perpendiculares ou paralelas, poderemos observar o caos momentâneo. Em cidades sem planejamento urbano, o caos pode ser até permanente (PENA, 2004). As figuras (1) e (2) a seguir ilustram de forma singela o desvio de vias, congestionadas ou interrompidas, proposto pelo sistema dinâmico de roteirização.

A figura (1) ilustra um pequeno bolsão de distribuição, com a rota inicial oferecida pelo roteirizador, considerando o caminho mínimo do trajeto ou o caminho mais rápido. O ponto verde representa a origem do veículo e o ponto azul o destino do veículo (FERREIRA, 2009).



Figura 1. Rota inicial. Fonte: Autores

A figura (2) ilustra o veículo realizando o deslocamento conforme rota inicial e uma ocorrência notável geram a interrupção de diversos logradouros, assim que detectada a ocorrência é informada à central de processamento, de imediato as informações são avaliadas e repassadas para o GPS que altera o roteiro conforme a ilustração a seguir (FERREIRA, 2009).



Figura 2. Rota alterada. Fonte: Autores

## 6. Engenharia de tráfego

A Engenharia de Tráfego tem como objetivo assegurar a movimentação segura, eficiente de pessoas e cargas, e é responsável pelo planejamento, projeto geométrico e operação de tráfego em vias, redes de logradouros, terminais, lotes lindeiros e relações

com os modais de transporte, nas grandes cidades a engenharia de tráfego procura acima de tudo manter a segurança e a fluidez do tráfego urbano (CET, 2009). A Engenharia de Tráfego preocupa-se ainda com a estrutura física das vias, o comportamento dos usuários das vias e a relação com o ambiente.

## 7. A Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) para a roteirização

A tecnologia de transmissão de informações de trânsito *Traffic Massage Channel* (TMC) possibilita a comunicação de eventos relevantes ao percurso escolhido, são recebidos por ondas de rádio FM-RDS (LOGWEB, 2009) e permitem à comunicação embarcada com os roteirizadores e aparelhos de GPS, essa condição aumenta significativamente o nível de serviço e a rapidez na transmissão de informações de tráfego. Os satélites de comunicação do tipo Geoestacionários contribuem de maneira importante na transmissão de dados em tempo real. O sistema de navegação por GPS nada mais é do que um sistema de rádio-navegação através do uso de satélites, que possui a capacidade de fornecer coordenadas precisas de posicionamento tridimensional e informações de navegação e tempo, para qualquer objeto que possua um transmissor GPS instalado. Verifica-se, dessa forma, que inúmeras são as possibilidades de pesquisa que poderão ser exploradas na roteirização, com o auxílio do GPS (PIMENTA, 2001).

Para Bodin (1990), a mais significativa mudança com relação aos sistemas para roteirização e programação de veículos ocorreu no ambiente computacional juntamente com os avanços alcançados nas áreas de Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC).

A aplicação da tecnologia da geoinformação ou Sistema de Informação Geográfica (SIG) combinados a roteirização também tem contribuído para aumentar o nível de serviço, permitindo a visualização dos pontos de atendimento a serem visitados e a malha viária por onde trafegam os veículos.

## 8. Conclusões

A roteirização dinâmica pode ser uma importante ferramenta para as grandes cidades, que exigem novas técnicas e tecnologias para roteirização e programação de veículos. Os roteiros estáticos não permitem aperfeiçoar todo o roteiro do veículo de maneira que todos os clientes sejam atendidos dentro da janela de tempo estimada. Os desvios inteligentes visam à redução do tempo em trânsito, mesmo quando a

distância percorrida for um pouco maior, existindo ainda a economia de tempo e combustível, conclui-se que as novas técnicas e tecnologias da informação e comunicação são decisivas para a criação de roteirizadores dinâmicos. O assunto merece novos estudos considerando as dificuldades no transporte urbano das grandes cidades, seja de carga, encomendas ou de passageiros. Verifica-se que o problema do atendimento logístico na grande São Paulo (ZMRC) tem grande influência da infra-estrutura e planejamento urbano. Com esse estudo preliminar foi possível avaliar que a formação do trânsito em São Paulo tem características caóticas, sendo assim, existe um longo caminho de pesquisa a ser desenvolvido inclusive relacionado com questões comportamentais dos condutores dos diversos tipos de veículos que circulam na capital paulista. Verificou-se também que diversas vias são utilizadas de maneira inadequada na (ZMRC) e que diversas regiões apresentam a sinalização estatigráfica precária, tanto horizontal como vertical.

## 9. Lista de referências

BALLOU, R. H. *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/Logística Empresarial*. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. 616 p.

BODIN, L.D.; B. GOLDEN; A. ASSAD E M. BALL. *Routing and scheduling of vehicles and crews: The state of the art. Computers and Operations Research*, vol.10, n.2, 1983.

BODIN, L.D. *Twenty years of routing and scheduling. Operations Research*, n. 38(4), 571-579, 1990.

BOWERSOX, D. J., CLOSS, D. J., COOPER, M. B. *Gestão Logística de Cadeia de Suprimentos*. Porto Alegre: Bookman, 2006. 528 p.

CET - Companhia de Engenharia de Tráfego. Disponível em: <http://www.cetsp.com.br> Acesso em: 21 Ago. 2009.

CHOPRA, S., MEINDL, P. *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos*. São Paulo: Prentice Hall, 2003. 465 p.

FERREIRA, R. P.; SASSI, R. J. *Roteirização Inteligente: Uma Ferramenta para o Aprimoramento do Nível de Serviço de Distribuição e Coleta*. XVI Simpósio de Engenharia de Produção, Bauru/ SP, 2009.

LOGWEB - *Serviço Indica mostra situação do trânsito aos motoristas de São Paulo*. n. 89, 2009.

NOVAES, A. G. *Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição: Estratégia, Operação e Avaliação*. 1. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2001. 409 p.

PENA, F. *Biografias em fractais: múltiplas identidades em redes flexíveis e inesgotáveis*. Revista Fronteiras – estudos midiáticos, Vol. VI n. 1, p. 82 - jan/jun. 2004.

PIMENTA, D. J. *Algoritmo de Otimização para o Problema de Roteamento de Veículos no Transporte Conjunto de Cargas e de Passageiros*. Belo Horizonte, 2001. 68 p.; Dissertação – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais.

RODRIGUES, P. R. A. *Introdução aos Sistemas de Transporte no Brasil e à Logística Internacional*. 1. ed. São Paulo: Aduaneiras, 2003.

TODAY *Logistics & Supply Chain*. São Paulo: Cecilia Borges, Ano III, n. 38, 2009

## 10. Direitos autorais

Os autores são os únicos responsáveis pelo o material incluído neste artigo.



R. P. Ferreira e R. J. Sassi - Universidade Nove de Julho

kasparov@uninove.edu.br, sassi@uninove.br

*Abstract: This paper aims to analyze and discuss the external environment that significantly interferes with the problems of routing and scheduling, and propose solutions to problems of urban vehicle routing, you can create alternative scenarios for the route in progress, with the inclusion data and new routes being built constantly, throughout the course of the vehicle. The methodology of the research was developed based on classical literature on the subject, market trends and observations of the behavior of traffic everyday. The ability to use information in real time, on the remarkable occurrences of traffic, and processing and provision of information in a timely fashion, to guide vehicles in urban alternative routes in case of interruption.*

*Keywords: Dynamic routing, Routing and Scheduling of Urban Vehicles; Information Technology.*

## 1. Introdução

A roteirização e programação de veículos tendem a receber um enfoque destacado, observado as exigências do mercado e do cliente final dentro da cadeia de suprimentos e logística de distribuição. O método de roteirização nos dias de hoje necessita de novos incrementos baseados em novas tecnologias, a redução dos estoques aumentam a frequência das entregas, e a responsabilidade da entrega e distribuição em prazos cada vez mais curtos, obedecendo a janelas de tempo, geralmente rígidas na distribuição e flexíveis na coleta, exigem soluções inteligentes que com o uso das novas tecnologias disponíveis no mercado apresentem formas alternativas de cumprir a missão de cruzar a região metropolitana e realizar o papel logístico de transportar os mais variados produtos. O cenário apresentado justifica a preocupação em criar ferramentas que otimizem o tempo de utilização de veículos, as restrições de circulação e de capacidade reduzem a produtividade dos veículos, que quando em operação livre devem ter seu potencial maximizado.

## 2. Objetivo

O objetivo deste trabalho é apresentar os fundamentos básicos da roteirização e programação de veículos além de propor o desenvolvimento de um sistema de roteirização dinâmico baseado em ocorrências notáveis verificadas no tráfego urbano da cidade de São Paulo auxiliado pela Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC).

## 3. Metodologia

A metodologia do presente trabalho consiste no estudo da cidade de São Paulo-SP, com observações das ocorrências notáveis que interferem na fluidez do tráfego e dos fundamentos da roteirização e programação de veículos.

## 4. Fundamentos básicos da Roteirização e Programação de Veículos

Segundo Bodin et al. (1983), os problemas de roteirização podem ser classificados inicialmente em três grupos principais:

- I) Problemas de roteirização pura de veículos (PRV): neste tipo de problema as condicionantes temporais não são consideradas na geração dos roteiros para coleta e/ou entrega, sendo que em alguns casos pode-se considerar a restrição de comprimento máximo do arco. O problema de roteirização busca definir a seqüência de pontos de parada que cada veículo deve seguir buscando a minimização de custos do transporte;
- II) Problemas de programação de veículos e tripulações (PRVT): tipo de problema de roteirização onde as condicionantes temporais devem ser consideradas, ou seja, as restrições adicionais relacionadas aos horários em que as atividades devem ser executadas devem ser consideradas no tratamento do problema;
- III) Problemas combinados de roteirização e programação: é uma extensão do problema da roteirização do veículo, onde restrições realistas são incluídas, restrições estas tais como janelas

de tempo, precedência de tarefas e alocação da tripulação.

O transporte representa normalmente entre um e dois terços dos custos logísticos totais; por isso mesmo, aumentar a eficiência por meio da máxima utilização dos equipamentos e pessoal de transporte é uma das maiores preocupações do setor. O tempo que as mercadorias passam em trânsito tem reflexos no número de fretes que podem ser feitos por veículo num determinado período de tempo e nos custos integrais do transporte para todos os embarques. Reduzir os custos do transporte e melhorar os serviços ao cliente, descobrir os melhores roteiros para os veículos ao longo de uma rede a fim de minimizar os tempos e as distâncias constituem problemas muito freqüentes de tomada de decisão. (BALLOU, 2006).

Encarregados de decisões, conseguem avanços significativos no desenvolvimento de boas rotas e cronogramas aplicando princípios básicos de roteirização como:

I) Carregar veículos em volumes destinados a paradas que estejam mais próximas entre si: os roteiros dos veículos deveriam ser organizados em torno de agrupamento de paradas próximas uma das outras a fim de minimizar o tráfego entre elas. Isso também minimiza o tempo total em trânsito nesse roteiro. A figura (1.a) mostra o tipo de carregamento de veículos. E a figura (1.b) mostra o melhor agrupamento para a mesma finalidade (BALLOU, 2006).

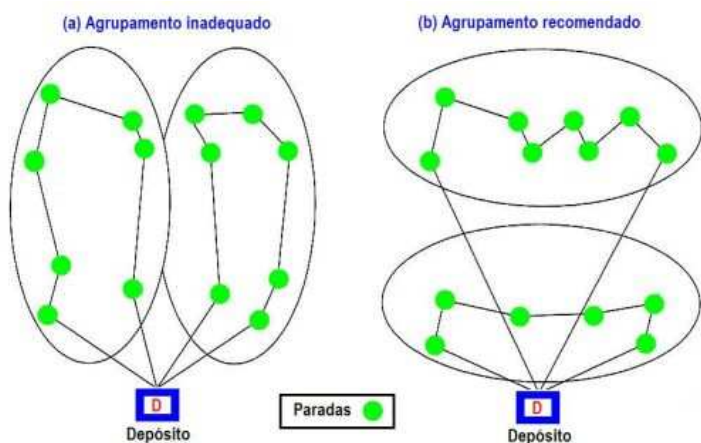


Figura 1. Agrupamentos para a destinação de volumes de paradas a veículos. Fonte: Adaptado de (BALLOU, 2006)

II) Paradas em dias diferentes devem ser combinadas para produzir agrupamentos concentrados: havendo a necessidade de servir as paradas em dias diferentes da semana, elas devem ser segmentadas em problemas de roteirização e programação diferentes para cada dia da semana. Os

segmentos diários programados devem evitar a superposição dos agrupamentos de paradas. Isso ajuda a minimizar o tempo de viagem e a distância que percorrerão durante a semana. A figura (2) mostra bons e maus exemplos disso.

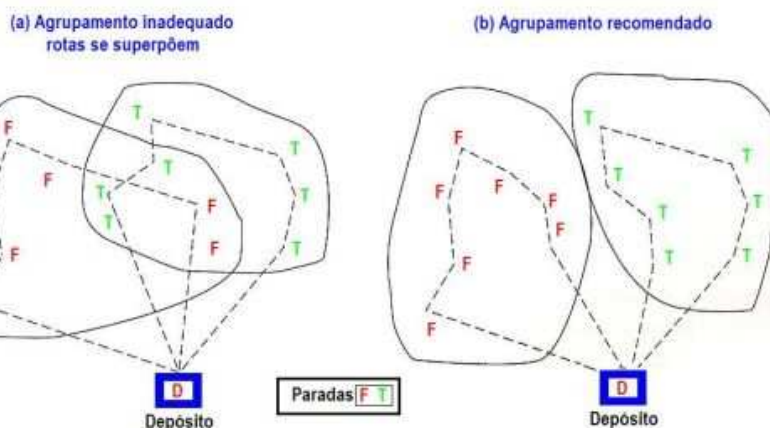


Figura 2. Agrupamento de paradas por dia da semana. Fonte: Adaptado de (BALLOU, 2006)

## 5. A Roteirização Dinâmica

Na cidade de São Paulo basta um veículo parar em uma via movimentada para produzir imediata diminuição dos veículos dessa via. E, nas variações do fluxo de trânsito em ruas perpendiculares ou paralelas, poderemos observar o caos momentâneo. Em cidades sem planejamento urbano, o caos pode ser até permanente (PENA, 2004). As figuras (3) e (4) a seguir ilustram de forma singela o desvio de vias, congestionadas ou interrompidas, proposto pelo sistema dinâmico de roteirização.

A figura (3) ilustra um pequeno bolsão de distribuição, com a rota inicial oferecida pelo roteirizador, considerando o caminho mínimo do trajeto ou o caminho mais rápido. O ponto verde representa a origem do veículo e o ponto azul o destino do veículo (FERREIRA, 2009).

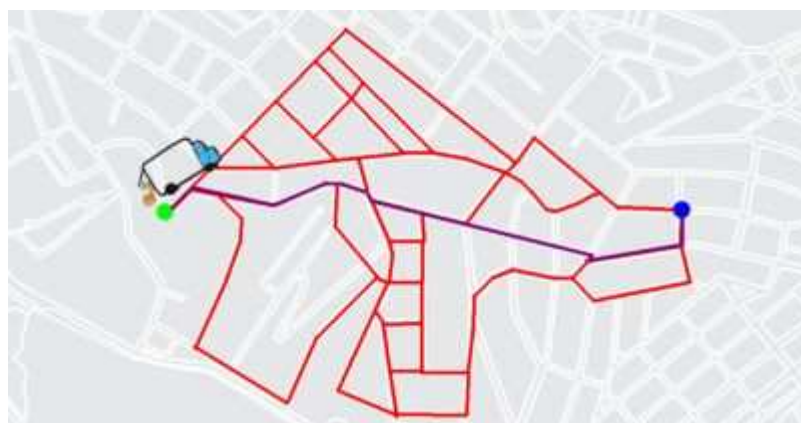


Figura 3. Rota inicial. Fonte: Autores



A figura (4) ilustra o veículo realizando o deslocamento conforme rota inicial e uma ocorrência notável gera a interrupção do logradouro onde o veículo trafegaria, assim que detectada a ocorrência é informada à central de processamento, de imediato as informações são avaliadas e repassadas para o GPS que altera o roteiro conforme a ilustração a seguir (FERREIRA, 2009).



Figura 4. Rota alterada. Fonte: Autores

### 5.1 Ocorrências notáveis

Ocorrências notáveis são ocorrências destacadas pela Central de Operações de trânsito da CET que interferirem ou podem vir a alterar as condições de fluidez e segurança do trânsito da cidade como: ônibus imobilizado na via, caminhão quebrado, acidente com vítima, atropelamento, incêndio em veículos, falta de energia elétrica, ponto de alagamento, manifestações, defeito na rede de trólebus, queda de árvore, semáforo apagado etc (CET, 2009).

## 6. A Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) na roteirização

A tecnologia de transmissão de informações de trânsito *Traffic Massage Channel* (TMC) possibilita a comunicação de eventos relevantes ao percurso escolhido, são recebidos por ondas de rádio FM-RDS (LOGWEB, 2009) e permitem à comunicação embarcada com os roteirizadores e aparelhos de GPS, essa condição aumenta significativamente o nível de serviço e a rapidez na transmissão de informações de tráfego. Os satélites de comunicação do tipo Geoestacionários contribuem de maneira importante na transmissão de dados em tempo real. O sistema de navegação por GPS nada mais é do que um sistema de rádio-navegação através do uso de satélites, que possui a capacidade de fornecer coordenadas precisas de posicionamento tridimensional e informações de navegação e tempo, para qualquer objeto que possua um

transmissor GPS instalado. Verifica-se, dessa forma, que inúmeras são as possibilidades de pesquisa que poderão ser exploradas na roteirização, com o auxílio do GPS (PIMENTA, 2001).

Para Bodin (1990), a mais significativa mudança com relação aos sistemas para roteirização e programação de veículos ocorre no ambiente computacional juntamente com os avanços alcançados nas áreas de Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC).

A aplicação da tecnologia da geoinformação ou Sistema de Informação Geográfica (SIG) combinados a roteirização também tem contribuído para aumentar o nível de serviço, permitindo a visualização dos pontos de atendimento a serem visitados e a malha viária por onde trafegam os veículos.

## 7. Conclusões

Os roteiros estáticos não permitem aperfeiçoar todo o roteiro do veículo de maneira que todos os clientes sejam atendidos dentro da janela de tempo estimada. Os desvios inteligentes visam à redução do tempo em trânsito, mesmo quando a distância percorrida for um pouco maior, existindo ainda a economia de tempo e combustível, conclui-se que as novas técnicas e tecnologias da informação e comunicação são decisivas para a criação de roteirizadores dinâmicos. O assunto merece novos estudos considerando as dificuldades no transporte urbano das grandes cidades, seja de carga, encomendas ou passageiros. Com esse estudo preliminar foi possível avaliar que a formação do trânsito tem características caóticas, sendo assim, existe um longo caminho de pesquisa a ser desenvolvido inclusive relacionado com questões comportamentais dos condutores dos diversos tipos de veículos. Verificou-se também que diversas vias são utilizadas de maneira inadequada e que diversas regiões apresentam a sinalização estatigráfica precária, tanto horizontal como vertical.

## 8. Lista de referências

- BALLOU, R. H. *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/Logística Empresarial*. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. 616 p.
- BODIN, L.D.; B. GOLDEN; A. ASSAD E M. BALL. *Routing and scheduling of vehicles and crews: The state of the art. Computers and Operations Research*, vol.10, n.2, 1983.

BODIN, L.D. *Twenty years of routing and scheduling. Operations Research*, n. 38(4), 571-579, 1990.

CET - Companhia de Engenharia de Tráfego.  
Disponível em: <http://www.cetsp.com.br> Acesso em: 29 Out. 2009.

FERREIRA, R. P.; SASSI, R. J. *Roteirização Inteligente: Uma Ferramenta para o Aprimoramento do Nível de Serviço de Distribuição e Coleta*. XVI Simpósio de Engenharia de Produção, Bauru/SP, 2009.

LOGWEB - *Serviço Indica mostra situação do trânsito aos motoristas de São Paulo*. n. 89, 2009.

PENA, F. *Biografias em fractais: múltiplas identidades em redes flexíveis e inesgotáveis*. Revista Fronteiras – estudos midiáticos, Vol. VI n. 1, p. 82 - jan/jun. 2004.

PIMENTA, D. J. *Algoritmo de Otimização para o Problema de Roteamento de Veículos no Transporte Conjunto de Cargas e de Passageiros*. Belo Horizonte, 2001. 68 p.;  
Dissertação – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais.

## **9. Direitos autorais**

Os autores são os únicos responsáveis pelo o material incluído neste artigo.



## CAVITATION EROSION OF ALUMINUM SAE-335 USING THE ROTATING DISK DEVICE.

G. Bazanini, D. Bressan, M. A. Klemz.

**Abstract:** Some details of a compact version of the rotating disk device (where a disk with cavitation inducers and specimens fixed on it rotates in water to provide cavitating flow) are shown and discussed here, in comparison with existing similar devices. The equipment is used here to study the failure by cavitation in aluminum SAE-335 specimens. The damage in the specimens are observed in photographs of the tested specimen surface obtained by scanning electronic microscope, which are also shown and discussed. The damages can also be measured by mass loss versus exposition time to cavitating flow diagrams. After 25 hours working in cavitating conditions, aluminum specimens are worn by the cavitation phenomenon, resulting in pitting formation and, eventually, in mass loss. After each 5 hours operating in cavitating conditions, the specimens are cleaned by ultrasound, dried and weighted in a digital balance to obtain the mass loss in the process by comparing to its initial weight. All aluminum specimens were eroded somehow by cavitation although the mass loss was relatively small.

**Keywords:** *cavitation, rotating disk device.*

### I. INTRODUCTION AND EQUIPMENT DESCRIPTION

The device consists of a water chamber in which a metallic disk rotates. On the disk surface are located the cavity inducers, that may be holes or protruding pins, and the specimens as well. The disk is fixed on the shaft and may be detached to switch the specimens. A glass cover is mounted on the chamber to visualize the flow and the bubble formation inside.

The purpose of the device is to create the bubbles that will be responsible for the erosion of the specimens fixed on the disk surface and close to the inducers. To prevent vibration problems, the holes and the specimens are situated on opposite radial positions of their reciprocals. Vibration absorbers are also used at the equipment foundations, and the disk with the specimens is balanced before tests were performed. A schematic diagram of the device can be seen in Fig. 1 below.

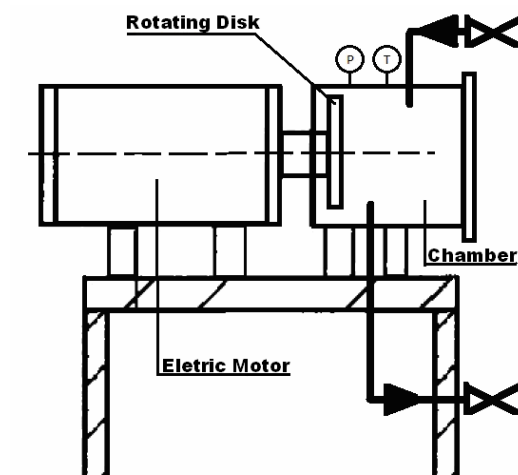


Figure 1. Schematic diagram of the rotating disk device

Previous works generally used a cast iron chamber and protruding pins (or holes) mounted on the disk, as cavitation inducers [1], [2], using the same device. They worked with aluminum, copper, brass, and stainless and mild steel to study cavitation erosion. In the present work, the disk and the chamber are made by stainless steel, more resistant to cavitation erosion. It is used here a more compact and efficient version of the device, that is, smaller chamber, as well as a shorter shaft. By using the “Intermediary Device”, commonly used to connect pumps to electric motors, we can avoid the use of the bearing and the coupling, resulting in a shorter shaft. That is, the chamber now replaces the pump. This reduces loss transmissions as well as alignment problems. There is also a great reduce in the power consumption, as can be seen in Table 1. The Intermediary Device is made by cast bronze to prevent corrosion. Eight baffles equally spaced are welded in the chamber (and at a distance 18 mm from the disk) to kept bubbles to collapse over the test specimens. The baffles can be seen in detail in Fig. 2., as well as the disk mounted in the chamber. Connections for inlet and outlet of water, temperature and pressure visualizations, and water drain and air outlet are also provided. A frequency inverter is used to control the motor operation, and thus the disk rotation.

Here, we worked with aluminum SAE-335 specimens, using holes as cavitation inducers. This device has already been used with bronze specimens [3], with protruding pins and holes as cavitation inducers.

After each 5 hours operating in cavitating conditions, the specimens are cleaned by ultrasound, dried and weighted in a digital balance to obtain the mass loss in the process by comparing to its initial weight. Images of the specimens were also obtained using an electronic microscope. Zhiye [4] worked with brass specimens to measure the mass loss by cavitation erosion.

Triangular prisms and circular cylinders mounted on the disk were also adopted as the basic forms of the source of cavitation [5]. Finally, non-metallic coating materials, as nylon epoxy and polyurethane were recently used as specimens [6]. They also worked with cylindrical rods on the disk to induce the cavitation formation.

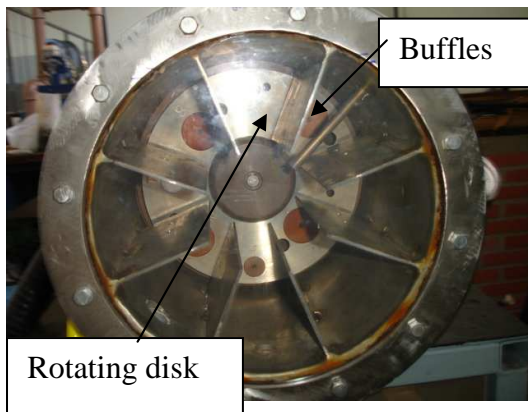


Figure 2. Frontal view of the rotating disk device.

Table 1. Comparison among devices.

## II. RESULTS AND DISCUSSIONS

A comparison among the chambers dimensions and electric motors powers is made on Table 1. It is possible to see the reduced electric power of this device when compared with the previous ones. Also a smaller chamber was used in the present work. Greater values of speed were used to compensate the smaller chamber, leading to a great peripheral velocity.

This actual version of the rotating disk device was very effective in bubble formation.

The cooling water consumption was of 8.8 liters per minute.

In these experiments, aluminum SAE-335 of 4.34 centimeters in diameter was tested as

specimens fixed on the disk. The equipment was operated at 4400 rpm (resulting in a flow velocity at the specimen of 47.9 m/s) during 25 hours to obtain the results presented here. This experiment was conducted at atmospheric pressure, and the temperature was kept at 58 °C by water flow circulation.

After 25 hours of operation, it was observed a mass loss of 15 mg for the aluminum SAE-335, less than the expected, when compared to [1], who worked with greater specimen diameters (6.35 centimeters) and a peripheral velocity of 37.3 m/s. The mass loss obtained [1] was of 0.675 g for 13 hours of operation. Vivekananda [2] also worked with specimen diameters of 6.35 centimeters, operating at a peripheral velocity of 38 m/s, and obtained a mass loss of 1.5 mg for 3 minutes under cavitating conditions.

For an accurate comparison, all tests should be made in identical conditions, that is, the same inducers, peripheral velocity, and the same specimens sizes.

Larger surface areas have more mass loss while smaller peripheral velocities have the opposite effect.

The specimens were also analyzed by scanning electronic microscope. The image obtained is shown in Fig. 3 below.

Cavitation pits can be identified in Fig. 3 for the aluminum SAE-335 specimen. These pits are resulting from bubbles collapse close to a solid surface [7].

The erosion rate of specimens with time under cavitating conditions is shown as mass loss in function of the material tested.

Work	Electric motor speed (rpm)	Electric motor power (kw)	Chamber diameter (mm)	Chamber length (mm)
Present work	4400	22	273	245
Rao et al., 1980	2925	26	457	254
Vivekananda et al., 1983	2880	26	457	254
Zhiye, 1983	2950	30	462	280
Ramamurthy, Bhaskaran., 1975	1800	74.6	610	-
Zhang et al., 1996	3000	-	350	-

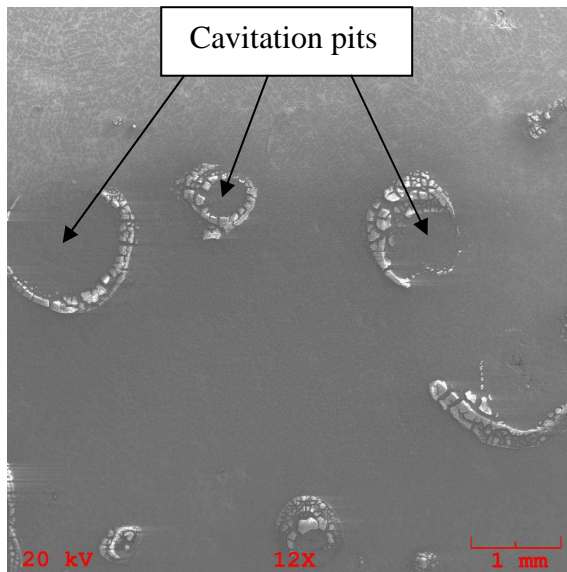


Figure 3. a) aluminum SAE-335, cavitation pits, magnification 12x, after 10 hours.

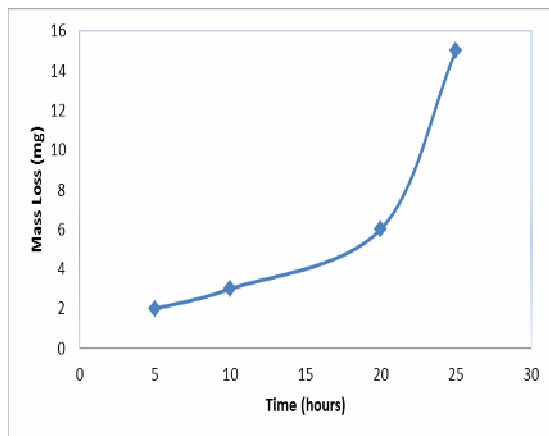


Figure 4. Mass loss curve for aluminum SAE-335.

It was expected a greater mass loss for aluminum, as can be seen in previous works about cavitation erosion [8]. However, there was a roughening of the surface by plastic deformation with a relatively low mass loss in the aluminum specimens. Cavitation damage without mass loss is also expected and regarded as erosion [9].

### III. CONCLUSIONS

We designed and used here a rotating disk device of smaller dimensions. It also has a shorter shaft, avoiding the use of the bearing and the coupling. That results in a gain in the power transmitted, since power transmission losses are reduced. Of course, that also results in a reduction of the power consumption. Smaller dimensions allow us to connect the chamber right to the electric motor through the use of an

intermediary device. Such improvements lead to a reduction of until 3 times the power of the electric motor.

The equipment worked quite well by producing bubbles and the correlated erosion damages in the specimen surface. No failure in the equipment happened during its operation at 4400 rpm.

The pittings and erosion resulting from cavitation could be observed with the aid of an electronic microscope and can be seen in Fig. 3. These burned circular craters are caused by micro-jets originated by bubbles collapsing near the specimen.

For the aluminium SAE-335 specimens tested here, the obtained mass loss was relatively small, since it could be expected a greater mass loss by erosion wear. Therefore it was possible to see the pitting formation similar to the other specimens and cavitation damage without significant mass losses is also predicted in the literature [9]. The relatively small mass loss observed for this aluminum SAE-335 sample was possibly due to alumina (more resistant to cavitation erosion, due to its higher hardness) formation on the surface of the specimen. Thus, the erosion mechanism in the aluminum was caused by water micro-jet impact perpendicular to the specimen surface with relatively low loss of mass by roughening the surface by plastic deformation, and producing the erosion crater or pit by breaking the alumina film formation in the surface.

### IV. ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to gratefully thank the financial support received from FAPESC (Foundation for Research Support of the Santa Catarina State). The authors also wish to thank Mr. Roberto Schneider and the Schneider Industries for technical support, as well as the worthfull suggestions.

### V. REFERENCES

- [1] Rao, P.V., Rao, B.C.S., Rao, N.S.L., 1980, Erosion and Cavity Characteristics in Rotating Components. Journal of Testing and Evaluation. American Society of Testing and Materials.
- [2] Vivekananda, P., 1983, Mechanism of Cavitation Damage Influence of Stacking Fault Energy on Erosion and Erosion Resistance of Steels and Coatings. Ph.D. Thesis, Dept. Of Civil Engineering, Indian Institute of Science, Bangalore, India.
- [3] Bazanini, G., Bressan, J. D., Miranda, C. Z., 2009, Erosão por Cavitação em Corpos de Prova de Bronze e Ferro Fundido

Nodular Utilizando o Dispositivo a Disco Rotativo, V Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

[4] Zhiye, J., 1983, An Experimental Investigation on Cavitation Erosion for Propeller Alloys, China Ship Scientific Research Center Report, China.

[5] Ramamurthy, A. S., Bhaskaran, P., September, 1975, Transactions of the ASME, Journal of Fluids Engineering, pp. 384-386.

[6] Zhang, J. Richardson, M. O. W., Wilcox, G. D., Min, J., Wang, X., 1996, Assessment of Resistance of Non-Metallic Coatings to Silt Abrasion and Cavitation Erosion in a Rotating Disk Test Rig, *Wear* 194, pp. 149-155.

[7] Shervani-Tabar, M.T., Rezaee-Barmi, A., Mahmoudi, S.M.S., 2003, Velocity Field and Pressure Distribution Around Two Parts of a Cavitation Bubble After its Splitting Near a Rigid Boundary, *Fifth International Symposium on Cavitation*, Osaka, Japan,.

[8] Soyama, H., Kumano, H., Saka, M., 2001, A New Parameter to Predict Erosion, *Fourth International Symposium on Cavitation*. Pasadena, Ca., USA.

[9] ASM Handbook, 1992, *Friction, Lubrication and Wear Technology*. Vol. 18.

#### VI. Direitos autorais

Os autores são os únicos responsáveis pelo o material incluído neste artigo.