



## Sistemas de previsão de chegada de ônibus: medindo e melhorando a confiabilidade.

Rafael Hancke<sup>1</sup>; Sylvain Fournier<sup>1</sup>

<sup>1</sup> WPLEX Software - Rodovia SC 401, 8600 - Corporate Park bloco 5 sala 101 – Sto. Antônio de Lisboa - Florianópolis/SC. CEP 88050-000 Tel. +55 (48) 3239-2416 www.wplex.com.br E-mail rafael@wplex.com.br; sylvain@wplex.com.br

### RESENHA

Quem nunca ficou aguardando um ônibus sem saber ao certo o horário que ele chegará? Conhecer o tempo que falta para sua chegada ameniza o desconforto da espera. O sistema de informação de horários ao passageiro por painel eletrônico, internet ou telefone celular é a solução para o problema. Também denominado como ETA (*Estimated Time of Arrival*), o sistema de informação de horários é um serviço fundamental em uma solução de ITS. O ETA fornece a previsão de tempo para a chegada dos próximos ônibus em um ponto de parada, a partir da localização da frota por sistemas de monitoramento GPS. Todavia, a informação deve ser confiável. Imagine uma situação onde um usuário, informado que o ônibus irá chegar em 15 minutos, aproveita o tempo disponível para fazer alguma outra atividade, e ao chegar ao ponto no tempo previsto, constata que o ônibus já passou. Por este motivo, deve ser dada especial atenção à escolha de uma solução de ETA que proveja um elevado grau de acerto.

Neste artigo será apresentado, com base na experiência dos autores, um estudo do impacto de diferentes abordagens matemáticas utilizadas para o cálculo da previsão sobre o grau de confiabilidade do horário de chegada, em sistemas de transporte de cidades brasileiras. O nível de confiabilidade do ETA pode ser significativamente melhorado através de abordagens de cálculo que consideram as condições atuais de trânsito e o histórico dos tempos de viagem em cada trecho do itinerário.

PALAVRAS-CHAVE. Informação ao passageiro, ETA, ITS, Monitoramento de Frotas e GPS

### INTRODUÇÃO

Embora sistemas avançados de monitoramento (AVM) sejam responsáveis em aumentar a eficiência das empresas de ônibus, é fato que estes também podem ser usados para prover diversas informações em tempo real. A disponibilização de previsões de horários de chegada dos ônibus em pontos de parada ou terminais é um componente essencial em um *Sistema Inteligente de Transporte* (ITS). Os sistemas automáticos de informação ao passageiro, viáveis através das novas tecnologias, se transformaram em uma das principais estratégias que um sistema de transporte conta para aumentar a atração, satisfação e fidelização do usuário. A previsão da chegada do coletivo, em tempo real, no ponto de ônibus é possivelmente um dos recursos que melhor atende à expectativa do passageiro, eliminando as incertezas e reduzindo o tempo ocioso de espera. A informação tem um valor primordial quando ela é confiável, fornecida no momento certo, no local certo e fácil de compreender, além de ser acessível a todos.

### Estimated Time of Arrival - ETA

Quando a informação de horário de chegada é estimada com base na real localização dos ônibus, têm-se os horários estimados de chegada, ou ETA – de “*Estimated Time of Arrival*”, em inglês – que é o nome que se dá a essa categoria de software. Isso implica em um tratamento de dados minucioso, podendo envolver a posição dos veículos mais próximos, o horário previsto de chegada no ponto, o quanto o veículo encontra-se adiantado ou



atrasado, o tempo médio de percurso – apurado estatisticamente – do local em que o veículo se encontra até o ponto em questão e as condições atuais de trânsito no percurso a ser realizado. Essa informação deverá ser apurada e apresentada em tempo real, devendo ser atualizada à medida que o veículo se desloca pelo trajeto. Apesar de parecer simples, o cálculo do ETA envolve rotinas computacionais complexas de manutenção da base de tempos (ou velocidades) nos diversos trechos da rede de transporte considerando os dados obtidos pelo próprio sistema de monitoramento por GPS. A apuração do horário estimado de chegada em tempo real pode demandar ainda algoritmos matemáticos sofisticados para analisar os diversos fatores envolvidos na operação.

### **Benefícios**

Os benefícios obtidos ao se prover informações sobre previsões de chegada dos ônibus modernizam o serviço de transporte público e aumentam a satisfação e visibilidade do sistema de transporte junto ao passageiro e à comunidade. A previsão de chegada, confiável e atualizada automaticamente, reduz o desconforto na espera do ônibus. Soluções de monitoramento de frota, operadas através do *Centro de Controle Operacional (CCO)*, também podem fazer uso destas informações, auxiliando, por exemplo, as tomadas de decisões de despacho nos terminais de ônibus.

## **DIAGNÓSTICO, PROPOSIÇÕES E RESULTADOS**

### **Psicologia da espera**

A superlotação e os atrasos decorrentes das condições de trânsito, obras, eventos climáticos atípicos etc., influenciam o transporte público das cidades. A espera pelo transporte em alguns casos é longa e os ônibus nem sempre são pontuais. Pesquisas mostram que o atraso dos ônibus é a principal reclamação dos passageiros, que se sentem enganados e desacreditados com o transporte público. As razões psicológicas que explicam o desconforto associado à espera são várias:

- ▲ A ansiedade faz a espera parecer mais longa.
- ▲ A espera por tempo incerto é mais longa do que a espera por tempo conhecido.
- ▲ A espera por motivo desconhecido é mais demorada que a espera por motivo conhecido.
- ▲ A espera em condições físicas incômodas parece maior do que a espera em condições confortáveis.
- ▲ A espera solitária parece mais longa que a espera em grupo.

### **Solução tecnológica**

Para que as empresas de ônibus possam disponibilizar as previsões de chegada em tempo real, é de fundamental importância que a frota esteja equipada com sistemas de AVL - *“Automatic Vehicle Location”*, fornecendo a localização, velocidade, direção e outras informações embarcadas. A telefonia celular tem sido a solução mais utilizada para esses sistemas, possibilitando o uso de um protocolo de transmissão de dados on-line a uma central, sendo o GPRS – *“General Package Radio Service”* o padrão mais conhecido, que é fornecido pelas operadoras de telefonia celular que empregam a tecnologia GSM.

Integrado a um sistema de monitoramento de frotas por GPS e processado por modelos matemáticos eficientes, as soluções de previsão horária, além de considerarem dados referentes às condições de trânsito atuais e à ponderação do histórico de tempos entre os trechos, também dependem de um conjunto de dados que represente a rede de transporte da empresa, composta por linhas, itinerários e pontos de parada georreferenciados. O monitoramento trecho a trecho de cada ônibus deve ser realizado com base em pontos de



controle estrategicamente definidos, possibilitando a aferição da confiabilidade de um sistema de previsão horária.

### **Descrição do problema**

Diferentes abordagens podem ser aplicadas para o cálculo das estimativas de previsões horárias. Entretanto, é necessário comparar a eficiência e o grau de confiabilidade da abordagem que melhor se adere ao tipo de operação da cidade. A preocupação na implementação de sofisticados modelos matemáticos é o foco em soluções de ETA, porém é necessário atentar à utilização de métodos para medição do grau de acerto das previsões calculadas, em relação ao ocorrido de fato. A aplicação desses métodos deve permitir a análise da solução utilizada com base em indicadores, através da geração de percentuais e índices (erros e acertos) em toda a rede de transporte.

De modo a elevar o nível de confiabilidade da informação, soluções de ETA devem considerar as variáveis que têm influência no transporte urbano. O que diferencia uma boa solução de outra é o grau de acerto das estimativas, em termos percentuais, para as mesmas condições de operação e trânsito.

### **Soluções para o cálculo do ETA**

Para melhor apresentar a importância na escolha de um método de previsão, comparou-se no presente trabalho, o grau de acerto na previsão calculada com base em duas abordagens distintas.

As soluções para o cálculo do ETA utilizam basicamente três processos:

- ▲ Obter e validar as posições geográficas referentes aos ônibus alocados na linha.
- ▲ Identificar os trechos e seus respectivos tempos entre cada ônibus e um determinado ponto georreferenciado existente no itinerário.
- ▲ Processar o cálculo para cada ônibus somando os tempos dos trechos.

### **Abordagem tradicional**

Considerando os elementos que compõem a rede de transporte – linhas, itinerários, trechos, tempos dos trechos estáticos respeitando faixas horárias (informações arquivadas oriundas de dados programados ou intervenção humana) e as posições geográficas da frota alocada na linha (obtidas em intervalos de tempo através de um sistema de rastreamento por GPS) – é possível estimar as previsões de chegada dos ônibus para qualquer ponto de parada existente no itinerário. Para esta abordagem, aplicou-se um método para cálculo da estimativa de tempo através do somatório dos tempos de todos os trechos entre a localização de cada ônibus até o ponto de parada. Esse método não considera os acontecimentos do dia que interferem na operação, ou seja, os tempos dos trechos são estáticos e atualizados manualmente.

### **Abordagem proposta**

O diferencial desta abordagem é a consideração de um novo elemento no cálculo, que denominamos como *Tempo de Trecho Dinâmico*. Esse elemento elimina a necessidade da manutenção de uma base de tempos de trechos estáticos, substituídos por tempos que são estimados automaticamente por trecho, com base no posicionamento em tempo real da frota ao longo do dia.



### **Tempo de resposta**

Soluções que fornecem previsões dos horários de chegada devem estar preparadas para receber requisições simultâneas de diversos tipos de clientes – *Painéis de Mensagem Variável* (PMV), aplicações web e celular, televisores LCD etc, além de uma infraestrutura de retaguarda – servidores para os aplicativos, banco de dados, boa conexão à internet.

No caso do método de *Tempos de Trecho Dinâmicos*, identificamos a necessidade de considerarmos dois processos fundamentais para redução do tempo de resposta:

- ⤴ Atualização contínua e automática dos tempos nos diversos trechos da rede de transporte.
- ⤴ Somatório e armazenamento de histórico dos tempos dinâmicos por trecho com base na posição de cada ônibus em tempo real.

Para a atualização e armazenamento dos tempos de trecho dinâmicos é utilizada uma média que pondera o tempo de viagem do último ônibus que passou pelo trecho e a estimativa anterior. Outras informações também podem ser consideradas para atualização:

- ⤴ O último tempo de trecho estimado obtido através do histórico.
- ⤴ O tempo de trecho do ônibus no mesmo horário nos últimos dias.
- ⤴ Faixas horárias estabelecidas conforme a operação.

### **Outros fatores que melhoram a previsão**

Ainda no caso da abordagem proposta de Tempos de Trecho Dinâmicos, quanto maior a frequência da linha, melhor a estimativa de tempo com base em dados recentes. Caso contrário, é necessário obter informações na base histórica, considerando, para a mesma faixa horária, os tempos de viagem dos dias anteriores.

Abordagens matemáticas clássicas podem ser aplicadas, aumentando a precisão das estimativas através da combinação dos dados de histórico. Dentre as mais utilizadas, destacam-se:

- ⤴ Filtro de Kalman
- ⤴ Redes neurais artificiais
- ⤴ Modelo de regressão

### **A importância na adoção de métricas**

Visando possibilitar a avaliação da eficiência de uma determinada abordagem para o cálculo de ETA, faz-se necessária a definição de indicadores e a utilização de métricas, aplicadas em uma amostra de dados padrão. Lembramos que problemas decorrentes de erros na base de informações da rede de transporte (cadastros de trechos longos) e da operação (alocação de ônibus incorreta), prejudicam a medição dos resultados pois geram grandes erros de previsões.

### **Indicadores**

Para possibilitar o mensuramento das previsões fornecidas pelos métodos abordados neste trabalho, definimos os seguintes indicadores:

- ⤴ *Erro da Previsão*: é a diferença entre o tempo previsto e o tempo realizado.
- ⤴ *Erro Médio da Previsão*: é a média aritmética dos erros de previsão.

▲ *Percentual de Confiabilidade*: é a parcela das previsões fornecidas com uma determinada tolerância de erro.

### Comparação entre os métodos

Utilizamos os indicadores definidos acima para comparar o desempenho das abordagens tradicional e dinâmica, em relação ao seu grau de acerto na previsão apresentada. Os dados foram registrados considerando um dia de operação de um mesmo conjunto de linhas de ônibus urbano da cidade do Rio de Janeiro, aferidos pelas detecções referentes à localização geográfica da frota em tempo real do sistema de monitoramento WplexCO, e disponíveis pelo sistema de informação ao passageiro WplexINFO, desenvolvidos pela WPLEX Software.

A partir dos três horários disponíveis: horário da consulta do usuário(C), horário estimado de chegada(E) e horário realizado(R), é possível medirmos o erro em função da antecedência da consulta considerando um ponto no gráfico com as coordenadas(R-C, R-E). Essa função permite analisar a distribuição dos erros de previsão em relação aos atrasos (acima da linha horizontal) e aos adiantamentos (abaixo da linha horizontal).

Os pontos assinalados correspondem a uma previsão de chegada de 60 minutos. Conforme a Figura 1, a abordagem de *Tempos de Trecho Estáticos* gerou um erro com 16 minutos de atraso em relação ao realizado, enquanto que na abordagem de *Tempos de Trecho Dinâmicos*, conforme Figura 2, a previsão foi gerada com erro de 8 minutos de atraso.

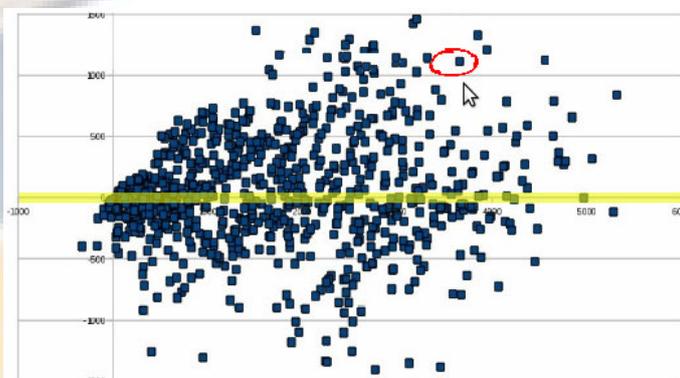


Figura 1 - Distribuição dos erros para Tempos de Trecho Estáticos.

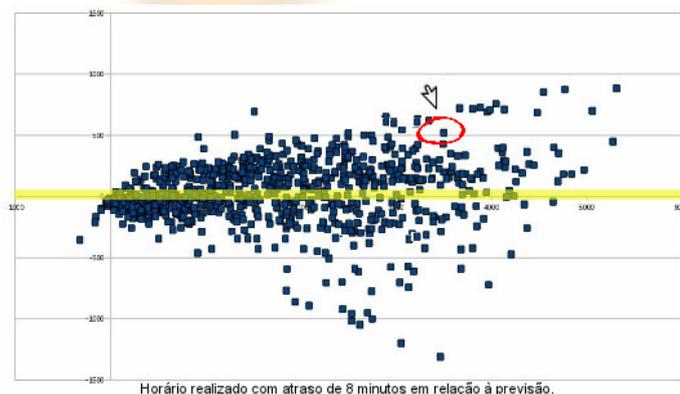


Figura 2 - Distribuição dos erros para os Tempos de Trecho Dinâmicos.

Da mesma maneira, as representações do erro de previsão em função do veículo, horário do dia e ponto de parada possibilita analisar o grau de acerto em cada abordagem utilizada para cálculo do ETA. Impressões sobre a qualidade da operação também podem ser identificadas, concluindo-se por exemplo, que a tendência de atraso deve-se ao horário de pico.

Conforme mostrado na Figura 3, a abordagem de *Tempos de Trecho Estáticos* fornece 70% de confiabilidade garantindo que o erro na previsão será igual ou menor que 10 minutos, enquanto a abordagem de *Tempos de Trecho Dinâmicos* fornece confiabilidade de 90% para a mesma tolerância.

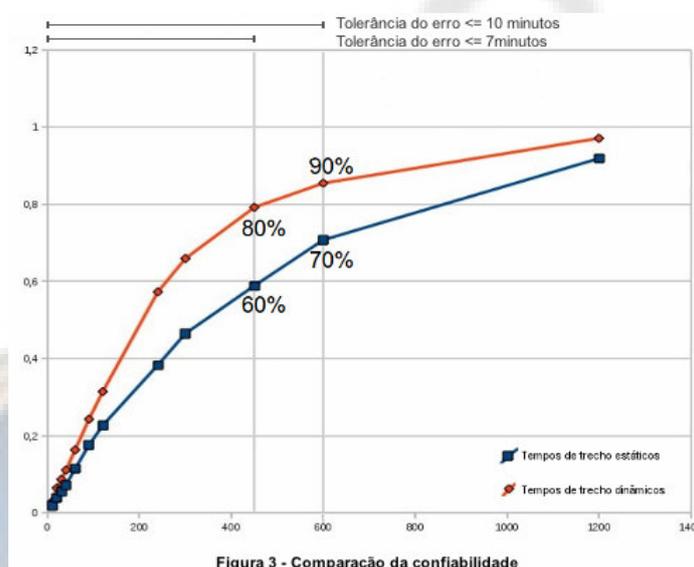


Figura 3 - Comparação da confiabilidade

## CONCLUSÕES

- ⤴ A adoção de métricas permite uma melhor análise em relação ao grau de confiabilidade das estimativas.
- ⤴ Através da definição de indicadores é possível estabelecer comparações de eficiência entre diferentes abordagens para cálculo de ETA.
- ⤴ Sistemas de previsões horárias dependem de integrações com sistemas de rastreamento GPS e de abordagens matemáticas tradicionais ou sofisticadas, adequadas para o tipo de operação.
- ⤴ A utilização da abordagem de *Tempos de Trecho Dinâmicos*, eleva a confiabilidade da previsão, pois considera o cálculo do tempo percorrido por trecho, com base na operação em tempo real.
- ⤴ Além de proporcionar maior conforto e diminuir o tempo ocioso de espera do passageiro, informações de previsão horária podem ser integradas a ferramentas de monitoramento operacional de frota.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CATHEY F.W.; DAILEY D.J. **A prescription for transit arrival/departure prediction using automatic vehicle location data**. Transportation Research Part C 11 241-264. Department of Electrical Engineering - University of Washington, Seattle, USA, 2003.



MAISTER, D.H. **The Psychology of Waiting Lines.** The Service Encounter. Lexing Vooks, 1895.

SEEMA S.R.; SHEELA A. **Dynamic Bus Arrival Time Prediction Using GPS Data.** 10<sup>th</sup> National Conference on Technological Trends – College of Engg., Trivandrum, 2009.

CHIH, W.Y. **Sistemas Inteligentes de Informação Automatizada ao Passageiro.** 17º Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito ANTP 2009. Disponível em: <<http://its.wplex.com.br/informacao/sistemas-inteligentes-de-informacao-ao-passageiro>>.

CHIH, W.Y.; ENGLEITNER F.L. **Controle Operacional On-line para Transporte Urbano.** 16º Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito ANTP 2007. Disponível em: <<http://its.wplex.com.br/monitoramento/monitoramento-de-frotas-on-line-para-transporte-urbano>>.