

# Rastreamento satelital de embarcações e modelagem hidrodinâmica para auxílio em operações de eclusagem.

Breno M. de Oliveira

Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - Departamento de Engenharia Civil, UNESP.  
Ilha Solteira, SP - 153850-000, Brasil

Prof. Dr. Luiz Roberto Trovati

Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - Departamento de Engenharia Civil, UNESP.  
Ilha Solteira, SP - 153850-000, Brasil

## RESUMO

Este trabalho descreve o desenvolvimento de dois projetos para auxílio a navegação e rastreamento satelital de embarcações desenvolvidos pela Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP em parceria com a empresa AES Tietê, através de um convênio com a Fundação de Ensino, Pesquisa e Extensão de Ilha Solteira. O primeiro projeto consiste na implantação de um Centro de Operações para hidrovias Tietê-Paraná com o intuito de realizar o rastreamento de embarcações através da tecnologia GPS (satelital) em conjunto com *plugins* do Google Earth. O segundo projeto consiste na criação de um sistema para auxílio de embarcações em operações de eclusagens, baseado em modelos hidrodinâmicos, com o intuito de diminuir o número de acidentes envolvendo eclusas e embarcações; fatos cuja incidência é bastante comum na hidrovia.

**Palavras Chaves:** Rastreamento satelital, Modelo Hidrodinâmico, GPS, Google Earth, ZigBee.

## I. INTRODUÇÃO

Uma das principais hidrovias dos pais, conhecida como Hidrovia Tietê-Paraná compõe umas das mais importantes vias de escoamento da produção da região Centro-Oeste do Brasil aos seus portos.

Diante da atual condição em que se encontra o setor hidroviário, em especial, a navegação ao longo da Hidrovia Tietê-Paraná e, considerando ainda sua extraordinária demanda futura, são necessários estudos direcionados a previsão de ventos e ondas que estejam acoplados às novas tecnologias de comunicação, monitoramento e rastreamento para estruturação de um sistema de segurança a navegação hidroviária.

Uma das maiores empresas de prospecção de petróleo do mundo, a Petrobras, através de sua subsidiária a Transpetro, prevê um aumento significativo no número de embarcações que trafegarão na hidrovia nos próximos dois anos, transportando combustíveis, em especial o etanol.

Ao longo dos 1800 km da hidrovia Tietê-Paraná há dez usinas hidrelétricas com eclusas associadas que tornam a navegação hidroviária possível nesses trechos.

Um dos principais motivos de preocupação são as manobras realizadas pelas embarcações em operação de eclusagens, quando as condições de tempo são adversas. Nos lagos da hidrovia é comum a geração de ondas significativas produzidas pelo vento, que afetam sobremaneira a segurança da navegação, podendo promover acidentes com reflexos a vida, a propriedade e ao meio ambiente.

Diante disso, surge a necessidade de um sistema de apoio terrestre para auxílio às embarcações, o que compreende o monitoramento da velocidade e direção do vento e a modelagem de geração de ondas em águas rasas, para estruturação, de sistema de alerta, em tempo real, e de suporte a operação de transposição de barragens.

Este trabalho descreve a implantação de um sistema eletrônico/computacional, instalado em uma eclusa, e para, de forma automática, auxiliar os comandantes dos comboios nas operações de eclusagens. Além disso, está descrito um sistema de rastreamento e monitoramento de embarcações que prove o conhecimento da organização e logística do transporte na hidrovia, a fim de otimizar as operações do tráfego hidroviário.

## II. SISTEMA DE RASTREAMENTO DE EMBARCAÇÕES - SISNAVEGA

O sistema de rastreamento de embarcações tem como objetivo informar a posição, em tempo real, de todas as embarcações presentes na hidrovia Tietê-Paraná.

As embarcações que trafegam na hidrovia pertencem a diferentes empresas de transportes, e cada uma delas faz o rastreamento de suas embarcações de forma individual, utilizando a tecnologia GPS. Uma ação conjunta entre gestores, usuários e pesquisadores da universidade tem contribuído para a solução de integralização dessas informações em um único centro. A partir de um projeto de Pesquisa e Desenvolvimento, entre a empresa AES Tietê e a Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira –

Unesp está em desenvolvimento a criação de um sistema supervisorio denominado COH - Centro de Operação da Hidrovia [1].

O COH é composto por seis telas de visualização de alta definição, sendo cinco delas no tamanho de 40 polegadas, e uma no tamanho de 60 polegadas, ligadas aos servidores e computadores onde são executados softwares desenvolvidos para receber as coordenadas das embarcações e disponibilizá-las visualmente nas telas do supervisorio. O layout do Centro de Operações da Hidrovia pode ser visto na Figura 1.



Figura 1 - Centro de Operação da Hidrovia

O software de rastreamento foi desenvolvido utilizando a ferramenta de desenvolvimento Embarcadero RAD Studio XE, baseado em linguagem Delphi e foi denominado SisNavega.

Nas telas de 40 polegadas, são visualizados os trechos da hidrovia com comprimento de 40 km, centralizados nas eclusas de Barra Bonita, Bariri, Ibitinga, Promissão e Nova Avanhandava, respectivamente, sendo cada eclusa representada em tela individual.

Na tela de 60 polegadas, é apresentado um mapa mais amplo, abrangendo praticamente todo trecho da hidrovia Tietê – Paraná.

O software do supervisorio, além de mostrar visualmente a posição de cada embarcação, serve para realizar diversas outras operações de organização e tráfego na hidrovia. Dentre as funcionalidades estão:

- Determinação da distancias entre as embarcações e eclusas, conforme pode se observar na Figura 2.

Status das Embarcações		
Embarcação	Empresa	Distância
Sartco XIV	Sartco	36,03 KM da Usina Bariri
Sartco S/N	Sartco	216,06 KM da Usina Bariri
Sartco XIII	Sartco	19,02 KM da Usina Bariri

Figura 2 - Distância das Embarcações em relação à referência adotada.

- Determinação da velocidade de cada embarcação.

- Cálculo estimado do tempo de chegada de uma embarcação em determinada eclusa ou porto, em função de sua velocidade.

- Determinação de comportamentos de rota das embarcações, a fim de orientar a melhor logística de trajeto para as empresas. Um exemplo de visualização de rota está apresentado na Figura 3.

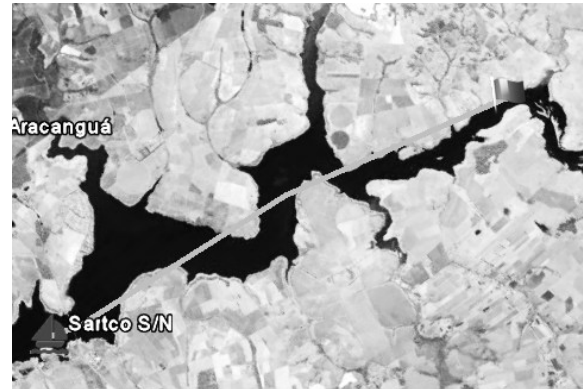


Figura 3 - Visualização da rota realizada pela embarcação SARTCO S/N.

A base do funcionamento do sistema de rastreamento de embarcações emprega receptores GPS que se comunicam com uma base terrestre, através da rede de satélites em Banda C ou Banda KU, permitindo um rastreamento com taxas de atualização de até quinze minutos. Este é um tempo suficiente para o monitoramento de embarcações, as quais se movem com velocidade média de 10 km/h.

O software SisNavega se comunica diretamente com uma base central de dados MySQL. Atualmente ela está instalada no Laboratório de Hidrologia e Hidrometria da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, e é alimentada diretamente com a base de dados da empresa Autotrac, responsável pela comunicação satelital com as embarcações.

Toda a comunicação entre o SisNavega e o banco de dados é feita através de comandos SQL, garantindo alta performance e baixa consumo de banda da rede Ethernet.

Para realizar a integração entre o *plugin* do Google Earth e a plataforma de programação Delphi, foi desenvolvida em linguagem JavaScript.

O SisNavega pode se resumir em um *browser* de internet, que faz o carregamento de uma página HTML/JavaScript responsável pelo carregamento do *plugin* do Google Earth, somado a funções de conexão e manipulação de banco de dados MySQL. O banco de dados contem as informações relacionadas às posições e parâmetros de cada embarcação, além das referências utilizadas no sistema, como eclusas, usinas hidrelétricas e portos.

O banco de dados é composto pelas seguintes tabelas e seus respectivos campos:

**Tabela “embarcações”:** Tabela responsável por armazenar os barcos que serão monitorados e mostrados em tela, através do *plugin* do Google Earth. Campos:

- Mct: Número de identificação do GPS instalado na embarcação.
- Nome: Nome da embarcação que será mostrado na tela.
- Empresa: Empresa proprietária da embarcação.

**Tabela “positionhistory\_iipos”:** Tabela de coordenadas com as posições de todas as embarcações monitoradas pela empresa Autotrac. Campos:

- IIPOS\_ID: índice de registros da tabela.
- IIPOS\_MctAddress: Número de identificação do GPS instalado na embarcação.
- IIPOS\_Latitude: Latitude atual da embarcação.
- IIPOS\_Longitude: Longitude atual da embarcação.
- IIPOS\_TimePosition: Hora do recebimento das coordenadas.
- IIPOS\_MctName: Nome da embarcação.

**Tabela “referencias”:** Tabela contendo as coordenadas das Eclusas usadas como referências no rastreamento das embarcações. Campos:

- nome\_ref: Nome da referência (Apresentado em tela).
- lat\_ref: Latitude da referência.
- long\_ref: Longitude da referência.

O Sisnavega utiliza as coordenadas da referência selecionada e de cada embarcação para efetuar o cálculo da distância geodésica, conforme visto na Figura 2. O algoritmo para realização do cálculo da distância geodésica entre duas coordenadas distintas é:

```
function calcDistancia(LatIni, LonIni, LatFim, LonFim:
Extended): Extended;
var
  arcoA, arcoB, arcoC : Extended;
  auxPi : Extended;
begin
  auxPi := Pi / 180;
  arcoA := (LonFim - LonIni) * auxPi;
  arcoB := (90 - LatFim) * auxPi;
  arcoC := (90 - LatIni) * auxPi;
  // cos (a) = cos (b) . cos (c) + sen (b) . sen (c) . cos (A)
  Result := Cos(arcoB) * Cos(arcoC) + Sin(arcoB) *
  Sin(arcoC) * Cos(arcoA);
  Result := (40030 * ((180 / Pi) * ArcCos(Result))) / 360;
end;
```

O cálculo da distância geodésica entre as coordenadas da embarcação e da referência considera a terra como uma esfera perfeita. Sendo assim, deve-se tomar essa medida apenas como estimativa.

O carregamento do arquivo Html/JavaScript é realizado através do componente TWebBrowser da paleta Delphi. Este componente faz o carregamento do arquivo “google.html”, que contém todas as funções escritas em JavaScript que carrega e manipula o *plugin* do Google Earth.

O *Document Object Model* é uma API para documentos HTML e XML, que proporciona uma

representação estrutural de um documento, habilitando a modificação de seu conteúdo e apresentação visual. Essencialmente, isto conecta páginas web a *scripts* ou linguagens de programação.

Através de uma API DOM é possível chamar as funções JavaScript contidas no arquivo “google.html”, através de linhas de programação Delphi, permitindo a integração entre essas duas linguagens.

O comando a seguir, mostram um exemplo de uma função JavaScript, contida no arquivo “google.html” sendo chamada através da API DOM, via linha de programação Delphi, através do aplicativo SisNavega.

```
procedure TForm princ.Web2KeyDown(Sender:
TObject; var Key: Word;
  ScanCode: Word; Shift: TShiftState);
begin
```

```
  if Key = VK_F2 then
    begin
      with Web2.Document as IHTMLDocument2 do
        parentWindow.execScript('Ativa_Controlo()',
        'javascript');
      end;
    end;
```

Essa função é realizada através do evento KeyDown do componente TWebBrowser (Web2) presente no Delphi.

Os principais comandos JavaScript que fazem o carregamento do *plugin* do Google Earth estão contidos no arquivo “google.html”, como se segue:

```
<script type="text/javascript">
var ge;
//Carrega o Plugin Google Earth instalado no PC.
google.load("earth", "1");
//Cria a instância map3d do Plugin.
function init() {
  google.earth.createInstance('map3d', initCB, failureCB);
}
//Seta as propriedades da Instancia
function initCB(instance) {
  ge = instance;
  ge.getWindow().setVisibility(true);
}
//Chama a função “Init()”
google.setOnLoadCallback(init);
</script>
```

O *plugin* do Google Earth, além de propiciar a visualização gráfica, também executa o posicionamento geográfico das embarcações, através de suas coordenadas, num ambiente altamente flexível e interativo, permitindo a visualização das embarcações ao longo da hidrovia em três dimensões. Na Figura 3, está apresentado um exemplo de tela do SisNavega, usando como referência a esclusa de Bariri- SP.



Figura 3 - SisNavega

Para cada eclusa será executada uma instancia diferente do software, permitindo a personalizaç cada tela individualmente, uma vez que configurações de cores das telas é facilmente alteradas pelo operador do SisNavega.

O SisNavega deve operar ininterruptamente acompanhado pelos controladores das eclusas. Além do controle de suas posições, o operador possui o auxilio de câmeras de vídeo posicionadas estrategicamente para o auxilio de suas decisões durante o procedimento de eclusagem. O objetivo do Centro de Operação da Hidrovia é permitir que todos os processos de eclusagens sejam realizados remotamente pela AES Tietê.

### III. SISTEMA DE APROXIMAÇÃO DE EMBARCAÇÕES

A motivação de criação do sistema de aproximação, para auxilio em manobras de eclusagens decorre dos diversos acidentes na hidrovia Tietê-Paraná envolvendo embarcações, causados pela ação do vento e formação de ondas.

A disponibilidade de informações seguras de parâmetros de ventos e ondas tem aplicação direta no processo de eclusagem, pois permite uma simulação física das forças do vento e hidrodinâmica dos efeitos de ondas que atuam sobre as embarcações na fase de aproximação da eclusa. O sistema de aproximação está em fase de desenvolvimento da modelagem, sendo previstas duas formas distintas de operação, em modo visual e em modo DGPS.

#### Modelo de aproximação utilizando modelagem física hidrodinâmica.

Para cada eclusa será instalado um anemômetro do tipo sônico 2D para prover as informações de intensidade e direção do vento em tempo real. A Figura 4 mostra um modelo de anemômetro que está sendo utilizado no desenvolvimento do projeto.



Figura 4 - Anemômetro Sônico 2D - WindSonic

Os dados de velocidade e direção de ventos serão utilizados como parâmetros de entrada num software capaz de executar o modelo físico matemático, simulando o comportamento da embarcação naquela condição de vento e onda. Com isso serão determinadas as forças exercidas pela ação do vento na embarcação, decompondo-as em duas direções,  $F_x$  e  $F_y$ . Além dos dados de direção e intensidade do vento, o modelo levará em consideração os parâmetros específicos de cada embarcação ou comboio, como altura, largura, comprimento, calado, peso, etc.

A relação Vento x Onda também será considerada com a finalidade de estimar as alturas significativas de ondas, e definir as condições limites para a navegação ou manobras segura. De forma resumida, os parâmetros de entradas do software serão:

- 1- **Coordenadas do ponto de comunicação obrigatório:** Através das coordenadas do P.C.O o modelo matemático calcula a distancia da embarcação a Eclusa.
- 2- **Velocidade e direção do vento:** Medidas através dos anemômetros sônicos 2D, instalados nas eclusas.
- 3- **Características da Embarcação:** Altura, largura, calado, carga e propulsão.

A modelagem gera como produto um ângulo de correção de rota, denominado ângulo de aproximação.

O ângulo de aproximação será utilizado para determinar a proa que a embarcação deve adotar, em velocidade constante, para compensar os efeitos das forças resultantes do vento e das ondas. Essa informação será repassada ao comandante da embarcação em tempo real, durante o processo de eclusagem, e poderá ser visualizada através de faróis luminosos.

Os faróis serão instalados ao longo da barragem da eclusa e espaçados de forma a propiciar a sinalização visual da rota de aproximação, conforme ilustra a Figura 5.

O controle de acendimento dos faróis será executada através de microcontroladores interligados na rede sem fio ZigBee, em conjunto com os módulos de hardware *open source* Arduino.

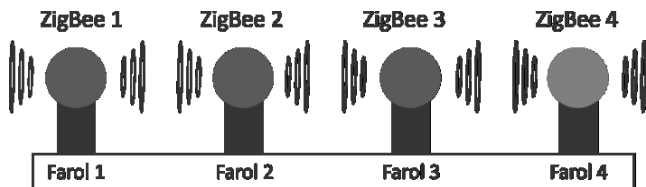


Figura 5 - Layout dos faróis luminosos dispostos sobre a barragem da eclusa.

O Arduino é um projeto baseado em um hardware de código aberto composto por uma placa eletrônica com circuitos de entradas/saídas simples, todas comandadas através de um microcontrolador. Possui também um ambiente de desenvolvimento de software de código livre, com linguagem de programação própria, muito semelhante a linguagem C/C++. A placa de circuito Arduino pode ser visualizada na Figura 6.

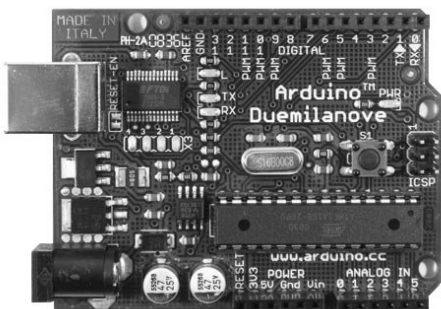


Figura 6 - Hardware Arduino

O dispositivo proposto no projeto do sistema de aproximação utilizará o Arduino Duemilanove, que trabalha com um microcontrolador ATmega168 com 14 pinos de entrada e saída digitais, além de 6 entradas analógicas. As características do Arduino Duemilanove são:

- Microcontroller:** ATmega168
- Operating Voltage:** 5V
- Input Voltage (recommended):** 7-12V
- Input Voltage (limits):** 6-20V
- Digital I/O Pins:** 14
- Analog Input Pins:** 6
- DC Current per I/O Pin:** 40 mA
- DC Current for 3.3V Pin:** 50 mA
- Flash Memory:** 16 KB (ATmega168)
- SRAM:** 1 KB (ATmega168)
- EEPROM:** 512 bytes
- Clock Speed:** 16 MHz

Em conjunto com o Arduino, será acoplado os módulos ZigBee, responsáveis pela comunicação dos faróis com o software da modelagem e controle. O módulo “shield” ZigBee é largamente utilizado em aplicações envolvendo o Arduino, uma vez que ambos possuem fácil configuração, através da interface USB. A Figura 7 mostra o “shield” ZigBee que será acoplado ao Arduino.



Figura 7 - Módulo ZigBee

A Figura 8 ilustra o modo visual de aproximação. Conforme a embarcação se aproxima, o software realizada a modelagem hidrodinâmica e alimenta um controlador Arduino/ZigBee responsável pelo acendimento automático do farol que melhor representa o ângulo de aproximação calculado, considerando a posição relativa da embarcação, até a entrada da eclusa.

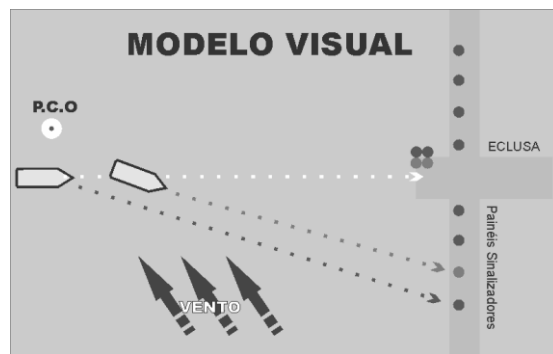


Figura 8 – Modelo Visual de aproximação

A Figura 9 mostra um diagrama resumido do sistema de aproximação.

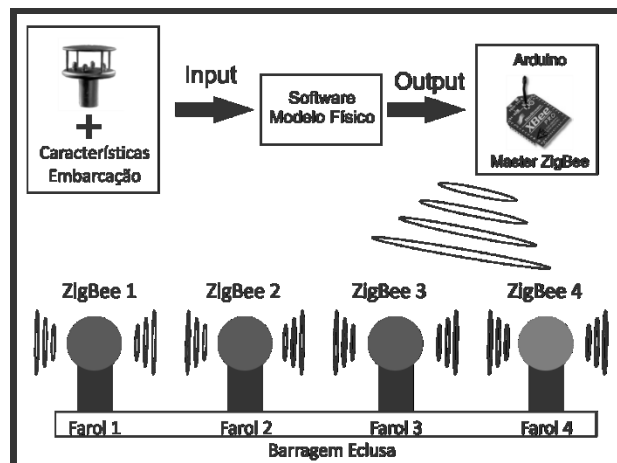


Figura 9 - Diagrama Sistema de Aproximação

Os faróis independentes, controlados via rede sem fio (ZigBee) serão de grande utilidade, uma vez que permitirá de forma mais fácil a disposição e o transporte dos faróis durante as etapas de testes para validação do modelo, na barragem da eclusa.

## Sistema de Aproximação utilizando tecnologia DGPS.

Um segundo modo de aproximação a ser testado emprega o uso de receptores DGPS de alta precisão instalados nas embarcações e georeferenciados nas eclusas. Esse sistema tem por objetivo traçar uma rota fixa da posição da embarcação até entrada da eclusa, a qual poderá ser visualizada na embarcação em uma tela de LCD que indicará a rota que deve ser seguida. A Figura 9 exemplifica o princípio de funcionamento desse sistema de aproximação.

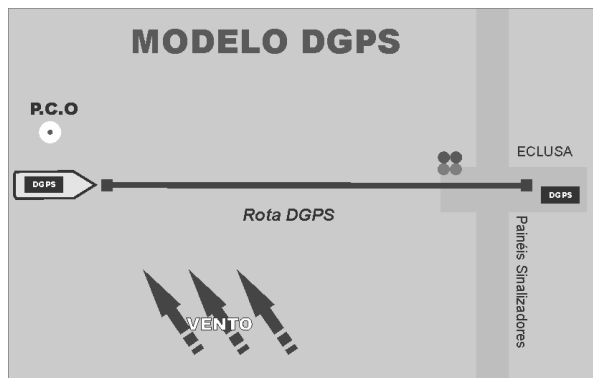


Figura 10 – Esquema do Sistema de Aproximação por DGPS.

## IV. CONCLUSÃO

O sistema em desenvolvimento proporciona além da visualização das embarcações, em tempo real, na hidrovia, um conjunto de ferramentas para estudo do tráfego e da logística de transporte. Ademais, tem como finalidade agregar segurança a navegação hidroviária.

Por ser desenvolvido sobre a plataforma robusta e eficiente Delphi XE, o sistema requer poucos recursos de hardware, podendo ser executado em computadores mais modestos. Além disso, por trabalhar em conjunto com o Google Earth, o sistema pode ser ampliado em inúmeras funcionalidades, pois o *plugin* dispõe de uma grande variedade de comandos.

Atualmente, o sistema de rastreamento (SisNavega) se encontra instalado em servidores da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, no Departamento Hidroviário do Estado de São Paulo, na empresa AES Tiête, em Bauru-SP, e na Capitânia Fluvial Tietê-Paraná - Marinha do Brasil, na cidade de Barra Bonita - SP.

Particularmente, o sistema de aproximação objetiva assegurar maior eficiência nas operações de eclusagens, levando em conta, a ação do vento e ondas, e sobre tudo enriquecer o grau de exatidão no acerto de decisões sobre manobras. Com isso, será possível mitigar a ocorrência de acidentes na hidrovia e fornecer subsídios para o estabelecimento de normas limites para as operações de transposição de barragens, em especial, sob condições de tempo adversas.

O uso da tecnologia sem fio ZigBee na construção dos faróis móveis, ajudará na estruturação do modelo matemático, permitindo mobilidade de posicionamento e transporte ao longo da barragem.

Eventualmente, podem ocorrer dificuldade na implementação dos faróis utilizando a comunicação sem fio, devido à interferência eletromagnética normalmente presente nas proximidades das usinas hidrelétricas. Portanto, antes da implementação e construção dos protótipos, serão efetuados testes *in-loco* análise dos efeitos eletromagnéticos na comunicação dos módulos ZigBee.

## V. BIBLIOGRAFIA

1 – Trovati, L.R. - SISNAVEGA- Sistema Integrado de Suporte e Monitoramento para Navegação Hidroviária Tietê – Paraná. Projeto P&D AES Tietê / Fepisa – ANEEL, 10/2010.