



Fetch em Lagos e Reservatórios

Marcelo Marques

 **Bookerfield**



Fetch em Lagos e Reservatórios

Marcelo Marques

Editora Chefe

Marcia A. A. Marques

Editora Adjunta

Isabela Arantes Ferreira

Coordenador Editorial

Lucas Batista Cunha

Bibliotecária

Maria Alice Ferreira

Diagramação

Marcos Antonio Ribeiro Pereira

Arte da Capa

Matheus Lacerra

Imagem da Capa

Google Earth

Revisão

O autor

O conteúdo deste livro está licenciado sob uma licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição-Não-Comercial Não Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).



2021 by Bookerfield Editora

Copyright © Bookerfield Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Bookerfield Editora

Os autores cedem à Bookerfield Editora os direitos para esta edição

Esta obra é de natureza digital (e-book). Versões impressas são permitidas, não tendo a Bookerfield Editora qualquer responsabilidade pela confecção e distribuição de exemplares físicos deste conteúdo.

Todos os manuscritos da obra passaram por rigorosa avaliação cega pelos pares, baseadas em critérios científicos e imparciais, recebendo a aprovação após atender os critérios técnicos estabelecidos pelo Conselho Editorial.

Todo o conteúdo do livro e de artigos individuais é de responsabilidade exclusiva de seus respectivos autores, não sendo a Bookerfield Editora responsável por quaisquer eventuais irregularidades.

Situações como plágio, má conduta ética/científica ou dados e resultados fraudulentos são de responsabilidade do autor, comprometendo-se a Bookerfield Editora em investigá-las rigorosamente e tomar as ações cabíveis.

O download, compartilhamento e referência da obra são permitidos mediante atribuição de crédito aos autores e à Editora. A comercialização desta obra é expressamente proibida.

CONSELHO EDITORIAL

Ciências Agrárias

Afrânio Silva Madeiro
Alirya Magda Santos do Vale Gomes
Ana Luiza Trovo Marques de Souza
Carlos Eugenio Fortes Teixeira
Daniela Kunkel
Daniele Cristina Ficanha
Elson Barbosa da Silva Junior
Fabiana Schiochet
Fernando Rezende da Costa
Flávio José Rodrigues Cruz
Heiriane Martins Sousa
João Francisco Severo Santos
Joelma Leão Buchir
Kleber Fernando Pereira
Marden Manuel Rodrigues Marques
Maria Cristina Bueno Coelho
Monyck Jeane dos Santos Lopes
Pablo Daniel Freitas Bueno

Ciências Biológicas

Cesar Augusto Cunha Cervantes
Débora Cristina Damasceno
Érika Alves Tavares Marques
Fabíola Aliaga de Lima
Flávio José Rodrigues Cruz
Heiriane Martins Sousa
Jaqueline Rocha Borges dos Santos
Joelma Leão Buchir
José Amorim
José Maria Ferraz Filho
Jussara Gonçalves Fonseca
Kleber Fernando Pereira
Mário César de Oliveira
Morgana do Nascimento Xavier
Nathália Sayuri Yamamoto
Noemi Mendes Fernandes
Patricia Köster e Silva
Rafael Mesquita Stoque

Renato Luís Veiga Oliveira Júnior
Veronica Gabriela Ribeiro da Silva

Ciências da Saúde

Adriano José Barbosa Junior
Alexandre Daré de Almeida
Ana Irene Coelho Nunes
Ana Luiza Trovo Marques de Souza
Andrea Borges Gaia
Andressa Ribeiro Contreira
Camila Gemin R. Locatelli
Carlos Vinícius Pagani Vieira
Machado
Débora Cristina Damasceno
Elisângela Rodrigues Carrijo
Fabiana Leticia Sbaraini
Fabio José Antonio da Silva
Fabrício Casanova
Gisela da Costa Mascarenhas
Greicielle Pereira Arruda
Ivonete Aparecida Alves Sampaio
Janaina da Câmara Zambelli
Jandira Maria do Amarilho Silveira
Jaqueline Rocha Borges dos Santos
João Francisco Severo Santos
Jogilmira Macedo Silva Mendes
José Aderval Aragão
José Maria Ferraz Filho
José Roberto Zaffalon Júnior
Juliane Campos Inácio
June Fernanda Maria Teixeira
Katia Fernanda Forti Porcaro
Kilvia Paula Soares Macedo
Líncon Bordignon Somensi
Luciane Cristina Arantes
Marcello Alberton Herdt
Marcelo Benedet Tournier
Marcelo de Oliveira Pinto
Marcos Guimarães de Souza Cunha

Marcos Roberto Brasil
Maria Cristina C Nepomuceno
Carvalho
Nara Michelle Moura Soares
Nillianne Charles Ribeiro
Rafael Mesquita Stoque
Randson Souza Rosa
Renato Carlos Machado
Rogério Wagner da Silva
Sheila Moura Amaral
Simone Mattos do Nascimento
Sofia Banzatto
Suzana Silva Lira
Taíza Fernanda Ramalhais
Thaís Mendonça Resende
Thiago Luciano Rodrigues da Silva
Valéria Rodrigues da Conceição
Veronica Gabriela Ribeiro da Silva
Vivian Victoria Vivanco Valenzuela

Ciências Exatas e da Terra

Andrea Sartori Jabur
Cláudia Hitomi Watanabe Rezende
Dalvani Fernandes
Duany Dreyton Bezerra Sousa
Edfram Rodrigues Pereira
Evandro Preuss
Gisane Aparecida Michelin
Henrique Mariano Costa do Amaral
Henrique Pereira Oliveira Neves
Hermam Vargas Silva
Isidro ihadua
João César Abreu de Oliveira Filho
Lívia Sancho
Luiz Eduardo da Silva Gomes
Manolo Cleiton Costa de Freitas
Marco Aurélio Schünke
Marcos do Carmo Pereira
Rodolfo Lucas Bortoluzzi
Sonia Tomie Tanimoto
Vagner Marques de Moura
Valdecir Alves dos Santos Júnior

Ciências Humanas

Adailton Pereira de Melo
Alberto Carlos de Souza
Ana Margarida Theodoro Caminhas
Breno Henrique Ferreira Cypriano
Bruna Pacheco de Almeida
Bruno Cezar Silva
Camila Bueno Grejo
Camila de Vasconcelos Tabares
Carlos Eduardo Mauricio
Dalvani Fernandes
Dayane Cristina Guarnieri
Deiziane Pinheiro Aguiar
Eduardo Henrique Assis Cidade
Elisângela Rodrigues Carrijo
Eulalia Fabiano
Fernando Cesar Mendes Barbosa
Guilherme Camara Meireles
Guilherme William Udo Santos
Isadora Vianna Sento-Sé
João César Abreu de Oliveira Filho
João Francisco Severo Santos
Josael Jario Santos Lima
Josiane Nascimento Andrade
Luana Mayer de Souza
Marcos Pereira dos Santos
Marcos Pereira Magalhães
Maria Cristina C Nepomuceno
Carvalho
Marlon Nantes Foss
Miguel Rodrigues Netto
Oscar Yecid Bello Bello
Rebecca Bianca de Melo Magalhães
Sandra das Dores Souza
Silvio Santiago-Vieira
Susan Audrey Bueno dos Santos
Taíza Fernanda Ramalhais
Tatiane dos Santos Duarte
Vanderlei Frari
Vânia Maria Carvalho de Sousa
Vinícius Dantas Silveira

Ciências Sociais Aplicadas

Aline De Souza Lima Barbaroto
Ana Margarida Theodoro Caminhas
Bruna Pacheco de Almeida
Bruno Cezar Silva
Camila Nathalia Padula de Godoy
Cassio Rene Duminelli
Daniel Nascimento e Silva
Eduardo Henrique Assis Cidade
Elisângela Rodrigues Carrijo
Érika Rigotti Furtado
Eulalia Fabiano
Fernando Cesar Mendes Barbosa
Gisela da Costa Mascarenhas
Hermam Vargas Silva
Horácio Monteschio
Isabel das Mercedes Costa
Isadora Vianna Sento-Sé
João Clécio de Sousa Holanda
João Francisco Severo Santos
João Vitor Gomes Pinto
Josael Jario Santos Lima
Josiane Nascimento Andrade
Marco Aurelio de Jesus Mendes
Maria Cristina C Nepomuceno
Carvalho
Miguel Rodrigues Netto
Nelson Calsavara Garcia Junior
Renato Obikawa Kyosen
Rodolfo Lucas Bortoluzzi
Sandra Couto Barbosa
Solange Kileber
Susan Audrey Bueno dos Santos
Vanessa Paiva Costa Vale
Vinícius Dantas Silveira

Engenharias

Alejandro Victor Hidalgo Valdivia
Andrea Sartori Jabur
Andréia Monique Lermen
Cristhiane Michiko Passos Okawa
Daniele Cristina Ficanha

Elaine Patricia Arantes
Fernando Oliveira de Andrade
Henrique Mariano Costa do Amaral
Israel Henrique Ribeiro Rios
Jaime Andres Castaneda Barbosa
Marcelo Henrique da Silva
Marcelo Marques
Marcos Guimarães de Souza Cunha
Rafael Gonçalves Mafra
Rodolfo Lucas Bortoluzzi
Thiago Averaldo Bimestre
Valdecir Alves dos Santos Júnior
Vanessa Paiva Costa Vale

Linguística, Letras e Artes

Alberto Carlos de Souza
Geison Araujo Silva
Guilherme William Udo Santos
José Edson Barros Correia
Luciano de Oliveira Costa
Márcia Donizete Leite-Oliveira
Marlon Nantes Foss
Silvio Santiago-Vieira
Thiago Blanch Pires
Vera Regiane Brescovici Nunes

Multidisciplinar

Alejandro Victor Hidalgo Valdivia
Aline De Souza Lima Barbaroto
Ana Margarida Theodoro Caminhas
Andrea Sartori Jabur
Andréia Monique Lermen
Cláudia Hitomi Watanabe Rezende
Érika Alves Tavares Marques
Fernanda Imada de Lima
Fernando Oliveira de Andrade
Guilherme Camara Meireles
Isidro ihadua
José Amorim
Marcelo Marques
Vanessa Paiva Costa Vale

Fetch em Lagos e Reservatórios

Editora Chefe Marcia A. A. Marques
Editora Adjunta Isabela Arantes Ferreira
Coordenador Editorial Lucas Batista Cunha
Bibliotecária Maria Alice Ferreira
Diagramação Marcos Antonio Ribeiro Pereira
Revisão O Autor

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Marques, Marcelo
Fetch em lagos e reservatórios [livro eletrônico]/
Marcelo Marques. -- São Paulo : Bookerfield, 2021.
PDF

ISBN 978-65-89929-37-6

1. Computação gráfica 2. Fetch 3. Lagos 4. Ondas
5. Ventos 6. Ondacad (Programa de computador)
7. Reservatórios 8. Simulação computacional
I. Título.

21-92968

CDD-006.969

Índices para catálogo sistemático:

1. Fetch : Ondas produzidas pelo vento : Computação
gráfica 006.969

Maria Alice Ferreira - Bibliotecária - CRB-8/7964

DOI 10.53268/BKF2011110300

Bookerfield Editora
São Paulo – Brasil
Telefone: +55 (11) 98441-4444
www.bookerfield.com
contato@bookerfield.com



DECLARAÇÃO DO AUTOR

O autor declara não haver qualquer interesse comercial ou irregularidade que comprometa a integridade desta obra; declara que participou da elaboração e revisão da obra, atestando a confiabilidade dos dados e resultados; declara que a obra está livre de plágio acadêmico; declara que a publicação desta obra não fere qualquer outro contrato por ele firmado; declara ter atendido eventuais exigências de outras partes, como instituições financiadoras, para a publicação desta obra.

APRESENTAÇÃO

No Brasil existem pouco mais de vinte e três mil corpos hídricos, entre lagos e reservatórios com mais de vinte hectares de superfície. Nestes locais o vento é o principal forçante na geração dos fenômenos de circulação e perturbação da superfície livre.

As ondas geradas pela ação do vento promovem impactos ambientais, como os decorrentes do transporte de sedimentos, da erodibilidade das margens, da desestratificação térmica do corpo hídrico e a emissão de gases de efeito estufa pelo desprendimento de gases devido à circulação de fundo, atuando na dinâmica dos ecossistemas aquáticos. Estas ondas podem interferir em atividades relacionadas à segurança de barragens, o transporte aquaviário, a instalação e manejo de fazendas aquícolas e as operações hidráulicas de reservatórios. Portanto, a compreensão das ondas em águas continentais é de interesse multidisciplinar.

Na formação da onda, a superfície da água em contato com o vento é representada pelo fetch. Ao se observar mais atentamente a definição do fetch, depara-se com um conceito um tanto controverso, já que, apesar de representar uma superfície, o fetch possui dimensão de comprimento.

Apesar da importância deste elemento na quantificação dos fenômenos relacionados às ondas de vento, o fetch ainda vem sendo tratado por variados métodos apresentados no decorrer dos anos.

Uma primeira contribuição deste trabalho constitui-se na forma de abordagem original pela qual o fetch passa a ser representado por um campo, ou seja, pelo espaço bidimensional na superfície livre do corpo hídrico, convenientemente acompanhada de escala cromática. Essa abordagem permite um alcance muito maior do que pode sugerir a simples representação gráfica, pois passa a viabilizar comparações bidimensionais entre campos de ondas resultantes da aplicação de diferentes modelos computacionais, no espaço bidimensional, ou seja, validar equações paramétricas, antes restritas à aplicação pontual, agora ao espaço bidimensional.

Uma segunda contribuição original diz respeito à concepção de um método que visa a obtenção objetiva sobre mapa ou imagem de satélite, do comprimento do maior *fetch* para qualquer corpo hídrico. É denominado Método Rápido. O método é validado pela exaustiva modelação de 68 corpos hídricos, originando 1088 mapas. Considerando o êxito da aplicação objetiva do Método Rápido e o índice de confiabilidade obtido de quase 99%, o *fetch* máximo possui grande potencial para se tornar um parâmetro importante na classificação de corpos hídricos, quanto à magnitude dos fenômenos gerados pelo vento que lá ocorrem.

Além da abordagem do desenvolvimento dos métodos de fetch no decorrer dos anos, é realizada uma análise comparativa bidimensional entre

os três mais difundidos métodos de determinação do fetch, os métodos Oceânico (FO), Saville (MS) e Saville modificado (MSM). A análise é realizada para o reservatório de Itaipu.

Por fim é apresentado de modo sucinto o modelo ONDACAD, o qual permite automatizar o processo de determinação do fetch via processamento computacional, viabilizando a geração dos mapas cromáticos. O modelo comprova a viabilidade de concepção de sistemas computacionais de baixo custo operacional que permitam a previsão automatizada em tempo real, de fenômenos gerados pelo vento em águas continentais de grande superfície.

AGRADECIMENTOS

Esta obra é resultado de estudos iniciados no ano de 2002 na UNESP, campus de Ilha Solteira, ao desenvolver o mestrado orientado pelo prof. Dr. Geraldo de Freitas Maciel e colaboração dos professores Dr. Milton Dall'Aglio Sobrinho e Prof. Dr. Renato Bertolino Júnior. Os estudos continuaram na COPPE-UFRJ, período de estágio de docência do mestrado sob orientação do prof. Dr. Claudio Freitas Neves, em 2005 na Universidad Internacional de Andalucia, Espanha, cursando especialização em Hidráulica e em 2006 cursando especialização em geoprocessamento, já como docente da UEM. Em 2010 na UFPR os estudos seguiram sob orientação de doutorado pelo prof. Dr. Alexandre Kolodynskie Guetter e colaboração do prof. Dr. Fernando Oliveira de Andrade, prof. Dr. Tobias Bernward Bleninger e prof. Dr. Cristovão Vicente Scapulatempo Fernandes.

A estes parceiros todo o reconhecimento, meus sinceros agradecimentos e a Deus toda a honra e toda a glória.

Marcelo Marques

PREFÁCIO

Minha parceria com o Marcelo começou quando nos conhecemos no Programa de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental da Universidade Federal do Paraná (PPGERHA-UFPR). O Marcelo concluía seu segundo ano de doutoramento e eu iniciava um período de pós-doutoramento. Nossos interesses de pesquisa na área de modelagem de vento e onda eram similares, de modo que pudemos trabalhar de forma complementar, produzindo resultados para verificação das simulações desenvolvidas. Eu me concentrava na aplicação de modelos numéricos de base física, disponíveis em software de domínio público, para cálculo de altura significativa de ondas, enquanto o Marcelo desenvolvia seu próprio programa computacional chamado OndaCad, com o objetivo de automatizar a geração de campos de fetch e de altura significativa de onda para aplicação em corpos de águas continentais.

Este período no PPGERHA-UFPR foi bastante produtivo. Diariamente nos reuníamos, com participação também de professores e pesquisadores do programa, para discussões frutíferas acerca do desenvolvimento da metodologia que o Marcelo estava desenvolvendo. Naquele espaço foram discutidas ideias inovadoras que o Marcelo colocou em prática no seu trabalho de doutorado, tais como as abordagens de cálculo rápido de fetch máximo e uma nova visão das equações paramétricas, mediante análise da influência da velocidade do vento na correlação altura significativa de onda-fetch adimensionais. Nesta época também presenciei a concepção da versão piloto do sistema HIDRONDA, desenvolvido para simulação e previsão de altura significativa de onda em corpos de água continentais, em tempo real e com divulgação dos resultados em uma página da internet.

Após a defesa da tese de doutorado do Marcelo, houve um período de aplicação do programa computacional OndaCad com o objetivo de validar a metodologia para diversos corpos de água continentais, caracterizados por uma grande variedade de formatos dendríticos e sob diferentes regimes de vento. Estas aplicações resultaram em estudos que foram publicados no decorrer dos anos no âmbito de congressos nacionais e internacionais, como no Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos em Brasília e Florianópolis, e no Congresso Latino-americano de Hidráulica em Santiago, Lima e Buenos Aires. Também foram publicados trabalhos na Revista Brasileira de Recursos Hídricos e no periódico científico norte americano Lake and Reservoir Management.

Hoje é gratificante para mim escrever o prefácio deste livro, que apresenta de forma didática e concisa uma parte do trabalho produzido pelo Marcelo na área de modelagem de vento e onda nos últimos anos. O livro se concentra no entendimento do conceito de fetch, aplicado aos

corpos de água continentais como lagos e reservatórios. São realizadas considerações fundamentais sobre os métodos de determinação de fetch e, subsequentemente, é proposto um método rápido para determinação do fetch máximo. Por fim, um capítulo é dedicado ao programa computacional OndaCad que permite o cálculo de campos bidimensionais de fetch de maneira automatizada.

Este livro é uma contribuição valiosa que serve como referência para quem pretende se dedicar ao estudo do comportamento do vento e sua influência na formação de ondas em lagos e reservatórios.

Fernando Oliveira de Andrade

Curitiba, 01 de dezembro de 2021

DOI: 10.53268/BKF2011110398

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 FETCH NA LITERATURA ESPECIALIZADA	17
3 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DO FETCH	25
3.1 Sensibilidade do método de Saville	
3.2 Comparação entre métodos	
4 MÉTODO RÁPIDO PARA DETERMINAÇÃO DO FETCH MÁXIMO	33
4.1 Raiz quadrada da superfície	
4.2 Método do raio equivalente	
4.3 Razão entre área e perímetro	
4.4 Conceito do método Rápido	
5 MODELO ONDACAD	45
5.1 Estrutura computacional	
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	50
REFERÊNCIAS	52
ÍNDICE REMISSIVO	67
SOBRE O AUTOR	71

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

As ondas em águas continentais de grande superfície, como lagos e reservatórios, são fenômenos naturais de grande variabilidade espacial, resultantes da transferência de energia devido ao vento. É necessário que sejam compreendidas como um meio de transporte de energia e, portanto, como o principal elemento natural modificador deste ambiente.

A liberação da energia pela ação dessas ondas influencia de forma direta a hidrodinâmica local, o transporte de sedimentos e a morfologia das margens. As ações das ondas não se restringem às perturbações da superfície livre, mas podem se propagar até o fundo do corpo d'água, gerando tensões devido ao atrito, alterando as condições de estratificação, impactando o transporte de líquidos e gases na coluna de água, e podendo afetar o transporte de sedimentos através da ressuspensão do material sólido do fundo.

Na superfície de corpos hídricos deste tipo, a altura da onda pode ser determinada utilizando como variáveis a intensidade do vento atuante e a superfície da água em contato com o vento, denominada fetch.

Portanto, como a altura da onda é determinada por uma equação que possui como parâmetros a intensidade do vento e o fetch, é comum se referir a equações deste tipo como “modelos paramétricos”.

Esta constatação pode ser verificada pela existência de equações apresentadas há mais de 70 anos, como SMB, JONSWAP, WOLF, CREAGER, entre outras. Todas estas equações possuem em comum o fato de estimarem a altura da onda pontualmente, em considerar o campo de vento uniforme e, com certa liberdade, adotar o método pelo qual se determina o fetch.

Um importante aspecto que faz com que as equações paramétricas sejam utilizadas até os dias de hoje, é a facilidade de obtenção dos resultados. A intensidade do vento consiste em um número adotado a critério do interessado e o fetch é o comprimento de uma ou algumas linhas traçadas sobre um mapa em escala.

Devido aos avanços computacionais que permitiram simulações bem próximas da realidade física, as equações paramétricas foram sendo utilizadas cada vez mais em caráter acessório.

Apresentar as reflexões que orbitam em torno do fetch e as consequentes relações de causa e efeito são os objetivos desta obra.

Com relação ao campo de vento, serão discutidos aspectos referentes aos métodos de ajuste de dados e métodos de determinação da intensidade e duração do vento relacionado a períodos de retorno.

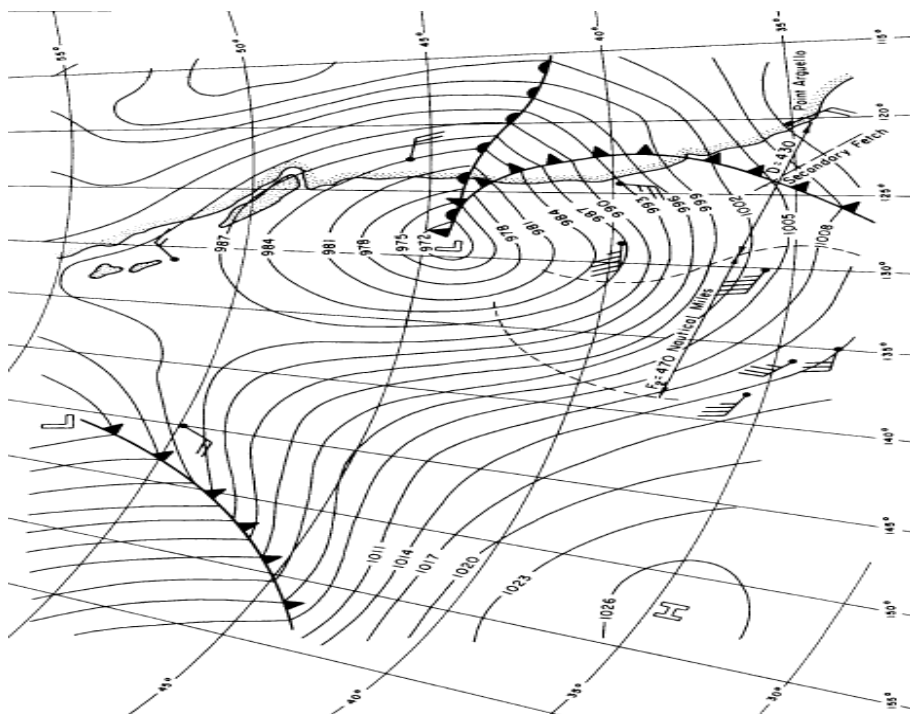
FETCH NA LITERATURA ESPECIALIZADA

O vento, ao soprar sobre a superfície da água, gera a onda. Apresentando uma definição mais rigorosa, o fetch é definido como a superfície da água na qual a intensidade e a direção do vento podem ser consideradas constantes. Apesar do fetch ser a expressão mais difundida para designar a superfície em contato com o vento, outras denominações em língua portuguesa foram tentadas sem muito êxito, tais como pista de vento e alcance do vento. O fetch é imprescindível na simulação de altura de ondas por modelos paramétricos.

Ao se observar mais atentamente a definição do fetch, depara-se com um conceito um tanto controverso, já que, apesar de representar uma superfície, o fetch possui dimensão de comprimento.

O conceito de fetch teve início em aplicações relacionadas às ciências atmosféricas em águas oceânicas, principalmente relacionadas à previsão de altura de ondas geradas pela ação do vento. A definição que condiciona o fetch aos ventos de intensidade e direção constantes foi originada das águas oceânicas há mais de 50 anos. Naquele tempo o comprimento que representava o fetch era limitado pela descontinuidade gerada pela presença de uma frente sem que houvesse limitações laterais. Convencionou-se representar o fetch por um comprimento livre de uma linha reta. A sua determinação era realizada de modo rigoroso por meio da utilização de cartas sinóticas, como ilustrada pela Figura 1.

Figura 1 - Carta sinótica de pressão na superfície referente ao dia 27 de outubro de 1950

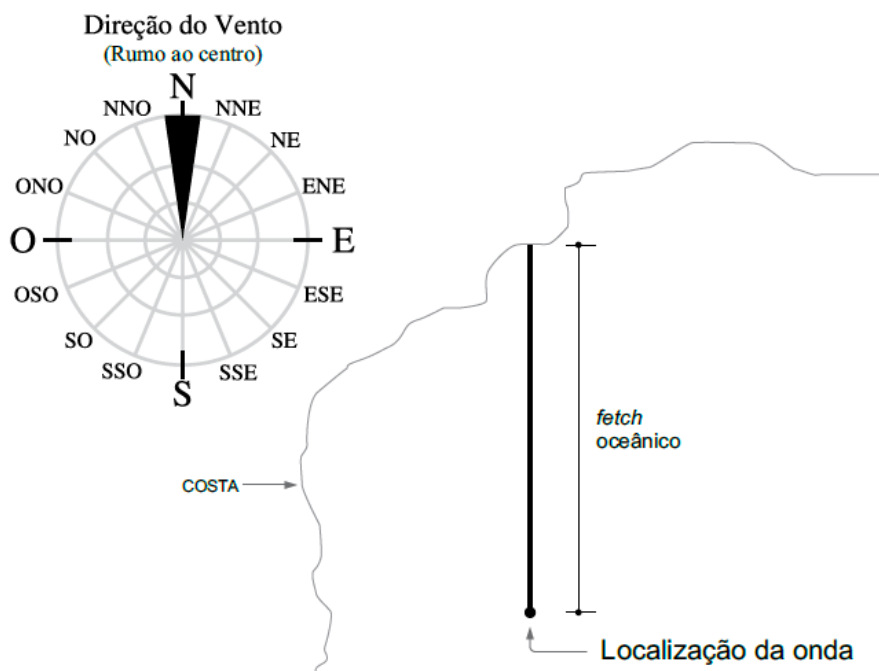


Fonte: U. S. Army Corps of Engineers (1984)

A determinação do fetch por meio de cartas sinóticas era feita com base na curvatura das isóbaras, por mudança marcante na direção do vento ou pela descontinuidade de uma frente.

A Figura 1 refere-se a um comportamento típico do campo de ventos na costa leste do Alasca. Nela, verificam-se valores de fetch da ordem de mil quilômetros. Em águas oceânicas não é incomum que esse valor chegue a dois mil quilômetros. Em situações que tratam de comprimentos inferiores a essa magnitude, as cartas sinóticas passaram a ser justificadamente prescindíveis e o fetch passou a ser definido como a distância do ponto de interesse na altura da onda até se atingir, em linha reta, a costa a barlavento, conforme ilustra a Figura 2.

Figura 2 - Fetch oceânico na direção norte



Em corpos de água continentais de grandes dimensões, a determinação do fetch a partir do conceito de uma distância livre é prática comum. Percebeu-se, no entanto, que, para superfícies de corpos hídricos em que há um comprimento predominante, a largura exerce forte influência sobre o fetch. Essa constatação foi tratada em documentos do corpo de engenheiros do exército americano no ano de 1966 ao afirmar que o efeito da largura do fetch poderia ser desprezado em áreas de geração que possuíam a largura tão grande, ou superiores, ao comprimento. De modo indireto, a afirmação reconheceu que em águas continentais, comumente constituídas de margens de formato dendrítico e, não raramente, sinuoso, o método aplicado em águas oceânicas não era adequado.

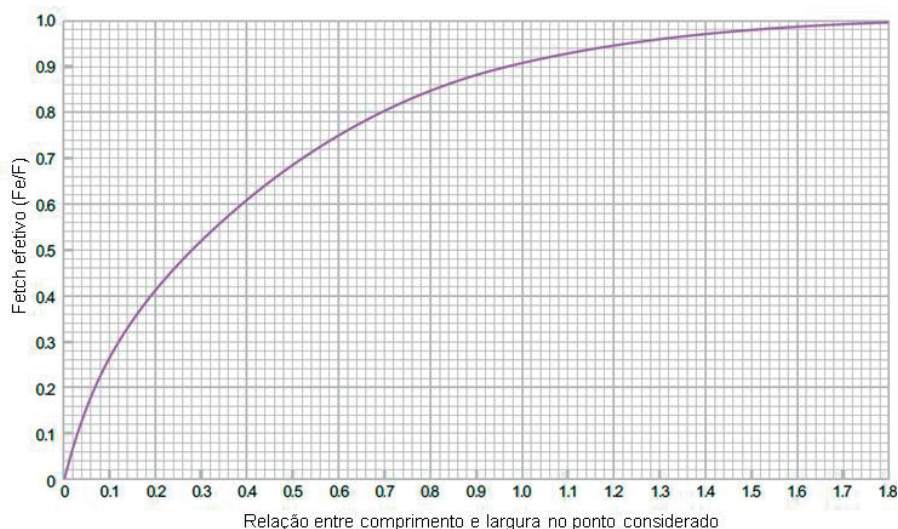
Em águas interiores parece ser razoável assumir, mesmo que intuitivamente, que o fetch possa ser determinado como uma área, assumindo unidades de superfície. No entanto, a tentativa de reaproveitar os resultados gerados historicamente com base em pesquisas em águas oceânicas fez com que se buscassem métodos que respeitassem a condição de dimensão linear do fetch, mesmo em condições de águas interiores.

Assim foi justificado pelo Engenheiro Costeiro Thorndike Saville Jr. do Corpo de Engenheiros do Exército dos EUA no ano de 1952, ao observar

que ao determinar as alturas de ondas com o uso de ábacos e com base no método oceânico para calcular o fetch, que as alturas calculadas eram superiores às alturas de ondas observadas. O engenheiro, atribuindo essa atenuação à influência das margens, definiu o conceito de fetch efetivo de modo a diferenciá-lo do comprimento livre, dando início à adaptação das técnicas desenvolvidas em águas oceânicas, para águas interiores de grande superfície.

Concebido inicialmente com vistas a corpos de água de comprimento e largura definidos, como canais, o fetch efetivo foi inicialmente baseado na relação entre largura e comprimento do corpo hídrico no ponto considerado. Para isso essa relação entre comprimentos foi relacionada a um fator de atenuação, conforme ilustra a Figura 3.

Figura 3 - Fetch efetivo em função da relação entre dimensões do corpo hídrico



O método apresentado não se mostrou suficientemente geral para que pudesse ser aplicado a lagos e reservatórios de formato irregular. Quanto à sensibilidade do método em relação à direção do vento, o fetch é pouco sensível para variações de direção até 15°, mas é significativamente subestimado quando as variações de direção forem próximas de 45°. Portanto, um método de aplicação mais geral deveria considerar a atenuação do efeito do vento em relação à direção principal, limitado por uma margem de formato irregular.

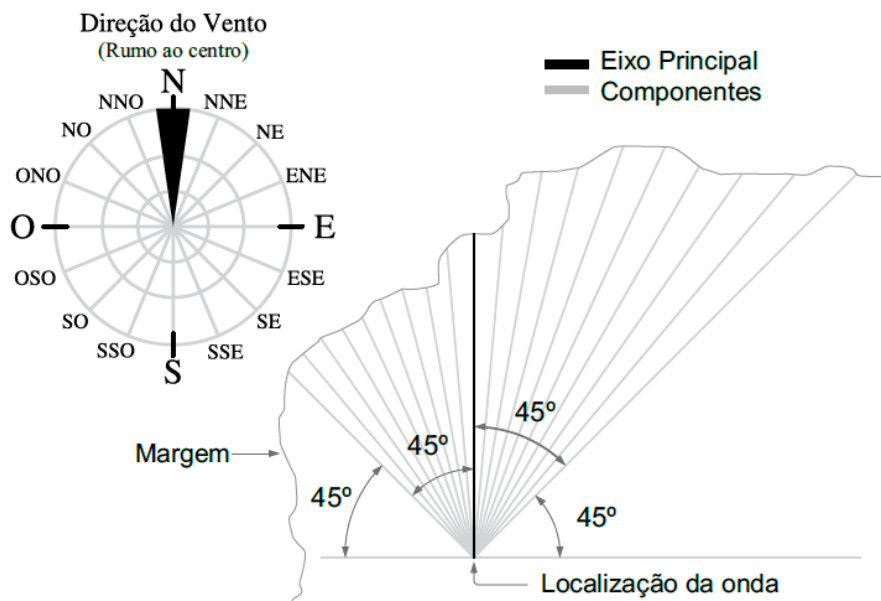
Buscando a aplicação de um método mais abrangente, uma segunda solução foi apresentada por Saville no ano de 1954. Desta vez um método

bem mais elaborado e dotado de maior rigor científico, o qual se tornou bastante difundido no meio técnico.

O método consiste na construção de 16 linhas radiais a partir do ponto de incidência da onda em intervalos de 6° , de tal modo a atingir-se uma amplitude máxima de sob um ângulo de 90° , cuja bissetriz é a direção do vento.

Na sequência deste texto, as 16 linhas radiais serão chamadas de direções secundárias.

Figura 4 - Fetch efetivo esquemático para a direção norte



O fetch efetivo é condicionado pelo ângulo entre a direção do vento e a direção secundária (α_i) e o comprimento que vai do ponto no corpo d'água até a margem a barlavento. O comprimento do fetch efetivo é obtido pela razão entre dois fatores:

- i) o somatório dos comprimentos ponderados pelo cosseno do ângulo de cada linha auxiliar
- ii) o somatório dos comprimentos auxiliares

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{16} x_i \cos \alpha_i}{\sum_{i=1}^{16} \cos \alpha_i} \quad [1]$$

O método proposto por Saville adotou ângulo de 6 graus entre linhas auxiliares. Caso o ângulo entre as linhas secundárias fosse inferior a 6 graus, o número de linhas secundárias aumentaria conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Resolução angular e quantidade de linhas secundárias para amplitude angular total de 90°

Resolução angular - α (graus)	1	3	6
Quantidade de linhas secundárias	91	31	16

Por tratar de fenômenos em águas continentais, o termo fetch significará fetch efetivo daqui em diante. O comprimento livre será denominado fetch oceânico.

O método apresentado Engenheiro Costeiro Thorndike Saville Jr. é baseado em seis hipóteses:

1) O vento transfere energia à superfície da água na direção do vento e em todas as direções dentro da amplitude de 45° para cada lado em relação à direção principal.

2) O vento transfere uma quantidade unitária de energia para a água ao longo da radial central na direção do vento; nas demais radiais a fração da energia fornecida pelo vento é proporcional ao cosseno do ângulo entre a radial e a direção do vento, conforme a tabela seguinte:

Tabela 2 - Fração de energia transferida pelo vento para gerar ondas

α	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°
cos α	1	0,996	0,985	0,966	0,940	0,906	0,866	0,819	0,766	0,707

3) As ondas são completamente absorvidas pelas margens (inexistência do fenômeno de reflexão e difração).

4) A direção da onda gerada coincide com a do vento que a gerou (inexistência do fenômeno de refração).

5) Considera-se que a intensidade e a direção do vento sejam uniformes dentro da área de geração da onda.

6) O método considera que o vento, soprando da terra em direção à água, entra em contato com a superfície líquida assim que cruza margem, ou seja, o método considera que o vento sopra de forma perfeitamente tangente.

O método foi recomendado pela primeira vez pela versão do ano de 1966 da publicação *U. S. Army Coastal Engineering Research Center*, autorizando o projetista a utilizar ângulos inferiores a seis graus no mesmo procedimento. O manual, no entanto, omite a implicação dessa decisão no comprimento resultante do fetch.

Recentemente outros trabalhos adotaram uma versão modificada do método proposto por Saville, a qual será tratada daqui em diante por método de Saville Modificado (MSM). Publicações como *U.S. Dept. of Agriculture, Soil Conservation Service* (1987), Smith (1991) e Etemad-Shahidi *et al.* (2009) adotaram a seguinte função de potência no termo cosseno do numerador:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{16} x_i \cos^2 \alpha_i}{\sum_{i=1}^{16} \cos \alpha_i} \quad [2]$$

Não foi encontrada na literatura nenhuma menção sobre as implicações da adoção de uma potência na ponderação pelos cossenos no numerador.

Dois outros métodos partem de um traçado geométrico que lembra o método proposto por Saville (1954), mas que não realiza a ponderação pelos cossenos. Esses métodos atribuem a mesma influência para todos os comprimentos nas direções secundárias. Partem da premissa de que, como ângulos de 0° a 45° geram valores de cosseno entre 1 e 0,7, reduzindo-se essa amplitude pode-se substituir a ponderação por cossenos por uma média aritmética na determinação do fetch, obtendo resultados semelhantes.

Esse conceito fundamenta o método apresentado por *U. S. Army Corps of Engineers* (2006), no qual a extensão do fetch para certa direção é calculada pela construção de 30 radiais, desde o ponto de interesse (em intervalos de 1 grau) e estendidas até atingir a margem a barlavento. O fetch é determinado pela média aritmética dos comprimentos de cada segmento de reta. Esse método será aqui denominado de SPM30. A sigla é um acrônimo de *Shore Protection Manual* e o algarismo 30 refere-se ao método basear-se no traçado de 30 linhas radiais. O fetch é determinado como sendo o comprimento médio dos segmentos de reta.

No método divulgado por *U. S. Army Coastal Engineering Research Center* (1984), a extensão do fetch é calculada pela construção de 24 radiais em intervalos de 1 grau (12 para cada lado), desde o ponto de interesse e entendidas até a margem a barlavento. Esse método será aqui denominado de SPM24. O fetch também é determinado como sendo o comprimento médio dos segmentos de reta.

Em todos esses métodos a influência da elevação do relevo no entorno do corpo hídrico é negligenciada. Provavelmente isso se deva à acentuada diferença entre as escalas lineares do fetch e do relevo. Para o reservatório de Itaipu, por exemplo, o fetch máximo é da ordem de 10.000 m, e a variação da elevação no entorno do reservatório é da ordem de 5 m (Marques & Guetter, 2011).

A análise dos resultados gerados por diferentes métodos de

determinação do fetch produziram diferenças significativas. Por exemplo, no reservatório de Ilha Solteira, Lima *et al.* (2003) determinaram o fetch de 48 km pelo método oceânico, enquanto Marques *et al.* (2007) estimaram o fetch de 12,3 km aplicando o método de Saville (1954).

CONSIDERAÇÕES SOBRE OS MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DO FETCH

Ainda não existe um consenso sobre o método mais adequado para a determinação do fetch. Esse fato é causador de insegurança técnica por dificultar a quantificação dos fenômenos condicionados pela determinação prévia desse comprimento.

Um dos motivos dessa indefinição deve-se à carência de justificativas dos proponentes dos métodos quanto às abordagens adotadas. Nenhum dos métodos citados menciona as implicações pela escolha entre diferentes ângulos entre linhas radiais, por exemplo. Dentre esses somente o método proposto por Saville (1954) inicia uma discussão com vistas a justificar a concepção do método. Deste modo parece razoável afirmar, pela característica comum dos métodos em determinar o fetch com base no traçado de linhas radiais, que os demais trabalhos citados foram fundamentados no trabalho original apresentado por Saville (1954).

Outro motivo que explica a incerteza na estimativa do fetch é de natureza dimensional. O fetch, apesar de possuir dimensão de comprimento, é utilizado para simular fenômenos e elementos de representação bidimensional. Esses fenômenos podem ser divididos em dois grupos relacionados às ondas: (1) um composto pelos elementos derivados da onda, como período, celeridade, comprimento, energia e amplitude; e (2) formado por elementos resultantes da ação das ondas devido à propagação, como a profundidade de mistura e tensões de cisalhamento no fundo em regiões de profundidades intermediárias a rasas.

A atribuição da dimensão de comprimento ao fetch permanece invariável no decorrer dos anos. Porém, o mesmo não pode ser dito do seu método de obtenção.

No manual norteamericano de proteção de costas, intitulado *Shore Protection Manual* é editado pelo corpo de engenheiros que integram as forças armadas americanas, é apresetada uma padronização de formulações, métodos e expectativa de desempenho, atendendo a uma ampla variedade de ações relacionadas a projetos costeiros e em água interiores (U. S. Army Coastal Engineering Research Center, 1984). Constitui-se em uma publicação referenciada mundialmente no tratamento da engenharia costeira. A inconsistência na definição do fetch é exemplificada pela variação com que

os métodos são apresentados e recomendados no decorrer das diferentes edições do *Shore Protection Manual*. Até hoje foram publicadas sete edições, correspondendo aos anos de 1966, 1973, 1977, 1984, 1998, 2002 e 2008. Quando trata de águas interiores, especificamente quanto à obtenção do fetch, as versões de 1966 e 1973 explicitam o método proposto por Saville (1954). Já a versão de 1977 retoma o método oceânico. A versão de 1984 cita, pela primeira vez, o método SPM24. Na edição de 1998 volta-se ao método de Saville.

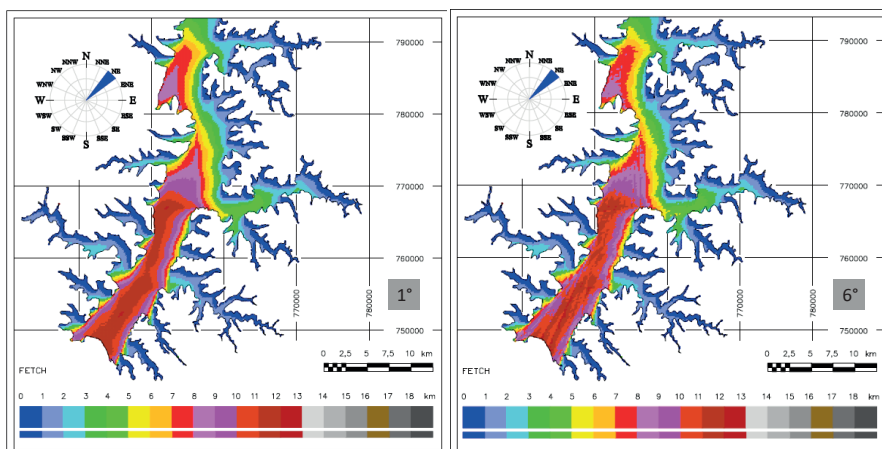
Considerando que os resultados pelos diferentes métodos tenham desvio da ordem de duas vezes e meia, como será tratado pelo subitem 1.2.4, é surpreendente constatar que algo com essa margem de incerteza e de aplicação tão ampla tenha ficado tanto tempo sem definição.

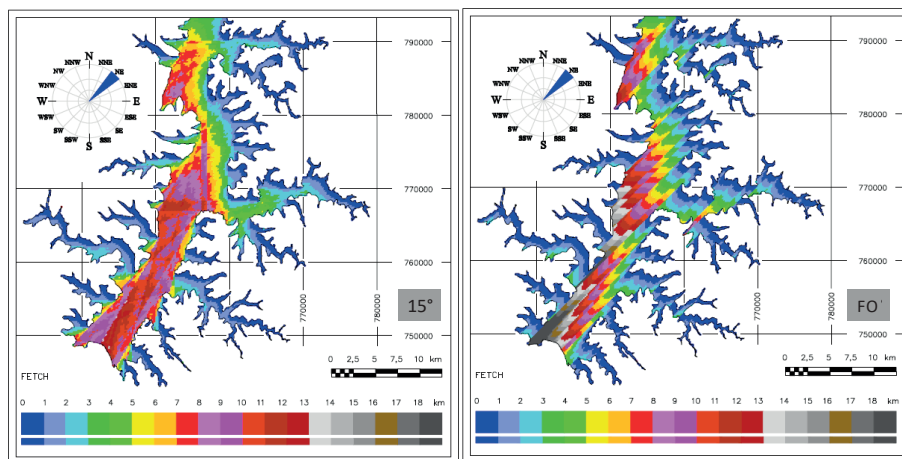
Alguns aspectos comparativos entre os métodos serão tratados a partir daqui de modo a colaborar com a estimativa dos desvios envolvidos na escolha do método.

3.1 SENSIBILIDADE DO MÉTODO DE SAVILLE

O método apresentado por Saville (1954) considera que o fetch pode ser determinado com base em uma média ponderada por cossenos, na qual se considera um ângulo de seis graus entre linhas auxiliares. De acordo com *U. S. Army Corps of Engineers* (1973), qualquer outra amplitude angular pode ser usada no mesmo procedimento. Marques & Guetter (2011) avaliaram a sensibilidade do fetch pelo método de Saville (Figura 5) para ângulos variáveis entre 1° e 15° e pela aplicação do método oceânico.

Figura 5 - Distribuição do fetch utilizando o método de Saville para os seguintes ângulos entre linhas auxiliares: 1° , 6° , 15° e a aplicação do método oceânico





Pelos resultados observa-se uma degradação crescente na qualidade da distribuição do fetch com o aumento do ângulo entre as linhas auxiliares. O caso extremo é representado pelas descontinuidades apresentadas no campo de fetch obtido pelo método oceânico.

3.2 COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS

Considerando a diversidade de métodos para a determinação do fetch e a variação da magnitude dos resultados, mostrou-se oportuna a comparação bidimensional de três métodos de determinação do fetch, aqui denominados: fetch oceânico (FO), fetch pelo método de Saville (MS) e fetch pelo método de Saville Modificado (MSM), apresentados no subitem 1.2. No processo de comparação, tanto no método de Saville (MS) quanto no método de Saville Modificado (MSM), foi adotada a resolução do ângulo de um grau entre linhas radiais.

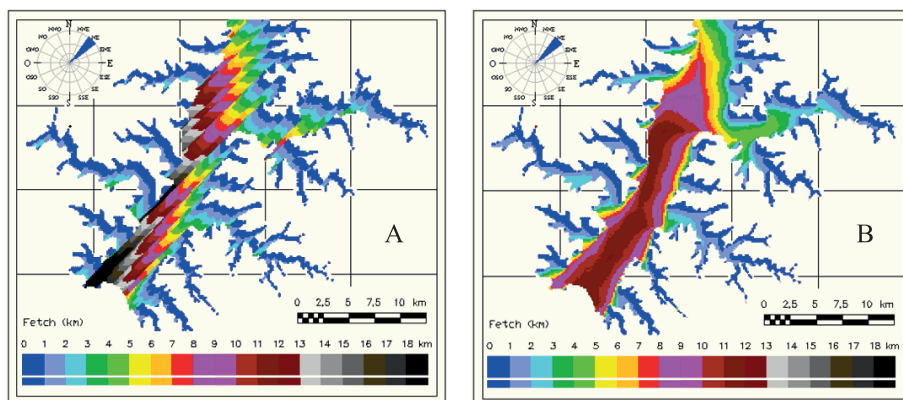
Marques & Guetter (2011) avaliaram a distribuição do fetch para os métodos FO, MS e MSM na extremidade sul do reservatório de Itaipu (Figura 6). O método FO (Figura 6A) gerou uma distribuição de fetch com variações significativas devido à irregularidade da margem. Em contrapartida, os métodos MS e MSM apresentaram uma distribuição de fetch mais suavizada, sem variações intensas em pequenas distâncias.

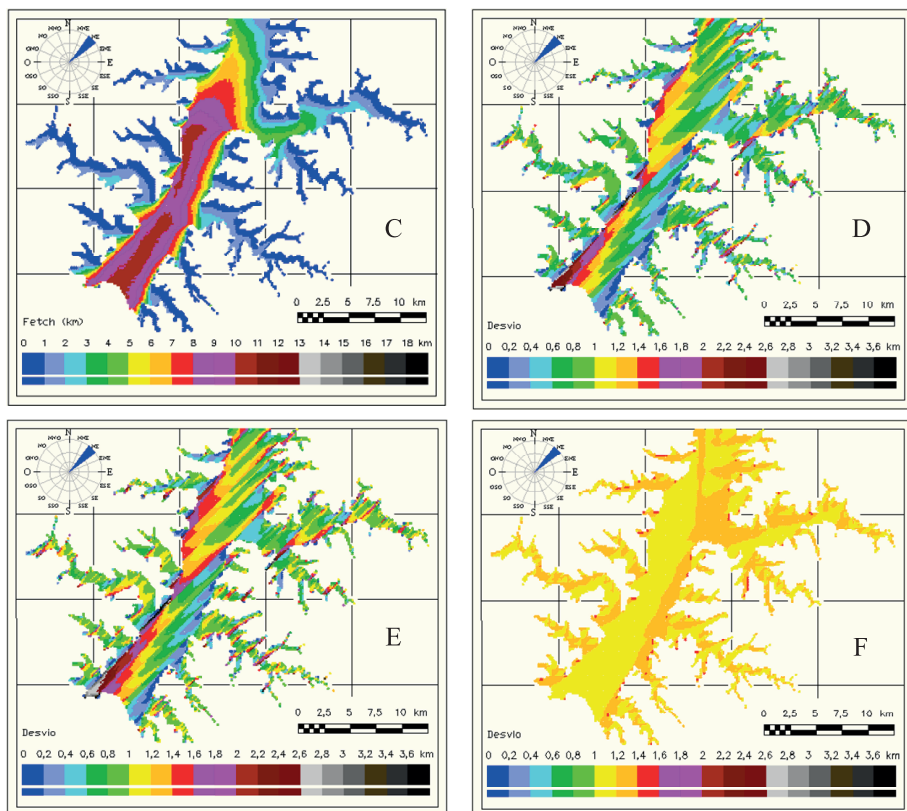
Constatou-se que o fetch máximo foi de 24,5 km para FO (Figura 6A), 12,3 km para MS (Figura 6B) e 11 km para MSM (Figura 6C). Deste modo, fazendo-se uma comparação entre os valores máximos absolutos, o maior valor de fetch pelo método FO atingiu duas vezes e meia o comprimento obtido pelo método MS, e superou em até 2,8 vezes o fetch obtido pelo método MSM. Os resultados estão resumidos na Tabela 3.

Tabela 3 - Matriz de comparação entre os resultados absolutos obtidos pelos três diferentes métodos

	FO	MS	MSM
FO	F _{máx} =24,47 km; distribuição tende a seguir o formato da margem; maior fetch ocorreu na margem a sotavento.	(FO/MS) _{max} = 2,49 (FO/MS) _{máx-relat.} = 2,0	(FO/MSM) _{max} = 2,77 (FO/MSM) _{máx-relat.} = 2,22
MS	(MS/FO) _{max} = 0,4 (MS/FO) _{máx-relativo} = 0,5	F _{máx} = 12,27 km; distribuição suavizada; maior fetch pode ocorrer no centro do reservatório	(MS/MSM) _{max} = 1,11; desvios maiores próximo às margens.
MSM	(MSM/FO) _{max} = 0,361 (MSM/FO) _{máx-relat.} = 0,45	(MSM/MS) _{max} = 0,9; desvios maiores próximo às margens	F _{máx} = 11,0km; distribuição suavizada; maior fetch pode ocorrer no centro do reservatório

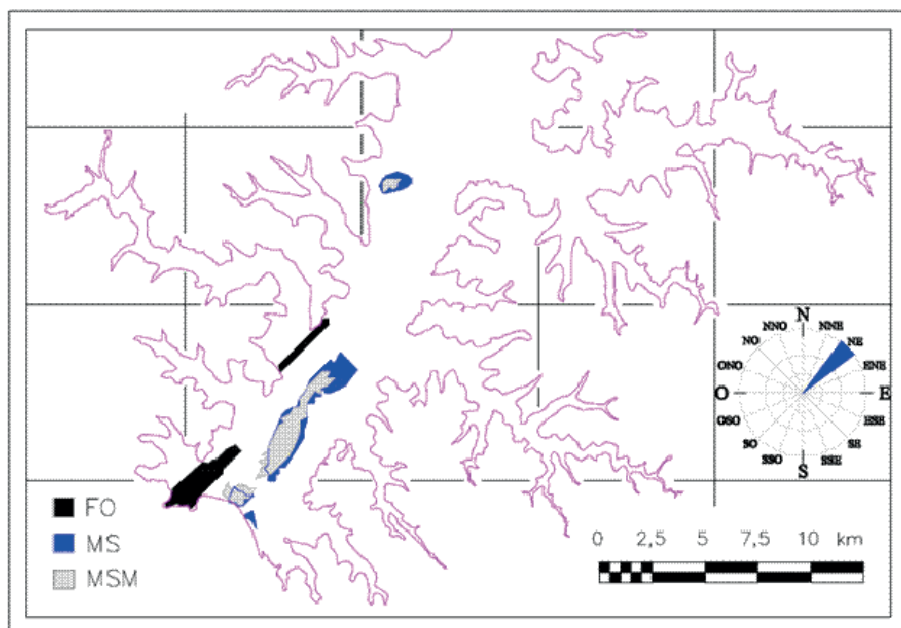
Figura 6 - Distribuição do fetch por FO (A), MS (B) e MSM (C) e desvios relativos FO/MS (D), FO/MS (E), MS/MSM (F) para vento de NE





Os máximos comprimentos de fetch ocorreram para diferentes locais na superfície do reservatório. A Figura 7 representa a localização dos fetch máximos para cada um dos métodos.

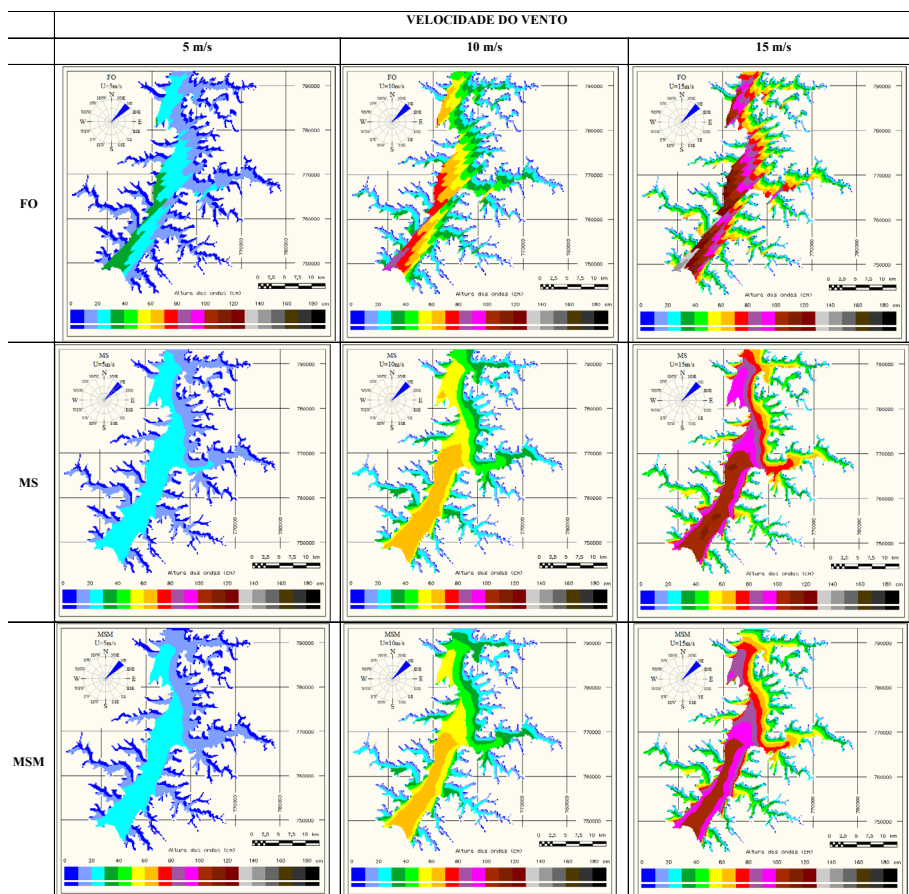
Figura 7 - Localização do domínio de 1% dos maiores valores de fetch



De acordo com o mapa gerado, pelo método FO os maiores valores de fetch localizam-se próximo à margem a barlavento, enquanto pelos métodos MS e MSM as maiores ocorrências estão localizadas na região mais central do reservatório. Essa particularidade permite verificar a fragilidade do método manual de determinação do fetch, o qual induz o projetista a tentar localizar o fetch máximo na região próxima à margem a sotavento, quando na verdade esses pontos podem ocorrer na porção mais central do reservatório. Desta forma, ao determinar o fetch pelos métodos MS e MSM deve-se considerar que as ondas geradas na porção mais central da superfície do corpo hídrico podem atingir a margem por propagação.

Como um dos maiores interesses na determinação da distribuição do fetch é a obtenção do campo de ondas, decidiu-se por uma análise de sensibilidade de variação da altura da onda comparada a variações do fetch. Decidiu-se pela aplicação do método SMB a cada um dos nós da malha e determinação do campo de ondas correspondente a velocidades do vento de cinco, dez e quinze metros por segundo. Os resultados estão ilustrados na Figura 8.

Figura 8 - Campos de ondas simulados pelo método SMB para vento vindo de NE



A Tabela 4 compara as razões entre alturas de onda para os diferentes métodos e para três velocidades de vento.

Tabela 4 - Razão entre os valores máximos do fetch e altura de ondas

Razão entre métodos de determinação do fetch	Razão entre comprimentos de fetch máximo	Razão entre alturas de ondas		
		$U_{10}=5\text{m/s}$	$U_{10}=10\text{m/s}$	$U_{10}=15\text{m/s}$
MS/MSM	1,11	1,04	1,03	1,04
FO/MS	2	1,31	1,32	1,33
FO/MSM	2,22	1,36	1,36	1,38

Nota-se que a razão entre as alturas máximas de ondas se manteve independente da variação do campo de ventos.

A análise quanto à intensidade permite ainda afirmar que a altura de onda obtida é menos sensível à escolha do método de determinação do fetch. Desvios máximos da ordem de 122% na determinação do fetch ocasionaram desvios da ordem de 38% na altura resultante da onda para ventos de 15 ms^{-1} .

MÉTODO RÁPIDO PARA DETERMINAÇÃO DO FETCH MÁXIMO

O maior fetch em um corpo hídrico representa, mesmo que indiretamente, a magnitude dos eventos gerados pela ação do vento naquele local. Uma discussão sobre as abordagens encontradas na literatura é feita na seção seguinte pela comparação do maior comprimento de fetch obtido pelo método de Saville (1954) com três dos métodos bastante difundidos. No processo de comparação foram selecionados os mapas de campos de fetch referentes às direções de ocorrência dos valores máximos de modo a demonstrar que, apesar de funcionarem para alguns corpos de água, não são aplicáveis a todos. Portanto, as direções representadas pelas imagens não precisam necessariamente coincidir, já que se referem à direção na qual ocorreu o maior comprimento do fetch.

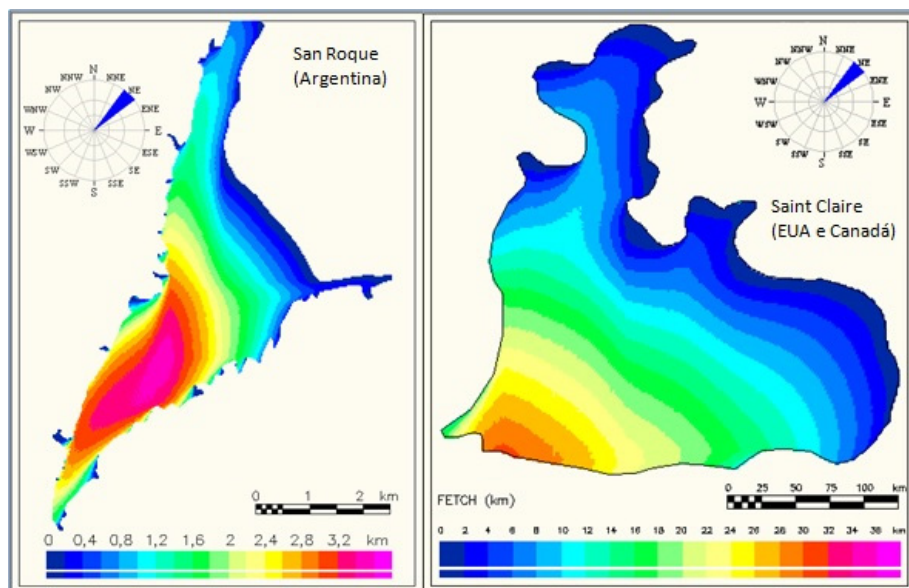
4.1 RAIZ QUADRADA DA SUPERFÍCIE

Entre as abordagens para tentar obter essa dimensão característica, não é incomum determinar o fetch como a raiz quadrada da superfície do reservatório (von Einem & Graneli, 2010; Gorham & Boyce, 1989; Fee *et al.*, 1996; Perez-Fuentetaja *et al.*, 1999; Snucins & Gunn, 2000). Conceitualmente o método considera a extensão do fetch máximo como sendo equivalente ao comprimento do lado de um quadrado hipotético de mesma área do reservatório. Para que o método pudesse ser testado decidiu-se por aplicá-lo aos reservatórios de San Roque e Saint Claire. Pelo aperfeiçoamento do método de Saville foram geradas dezesseis imagens da distribuição do fetch e selecionada a direção que resulta no maior valor para cada local, conforme mostrado na Figura 9. Os resultados são comparados na Tabela 5.

Tabela 5 - Aplicação do método do lado do quadrado equivalente ao reservatório de San Roque e ao lago Saint Claire

Local	País	Superfície (m ²)	Fetch máx (m)	(Superfície) ^{1/2}	Erro (%)
San Roque	Argentina	1,4x10 ⁷	3.680	3.742	1,45
Saint Claire	EUA e Canadá	8,6x10 ⁸	28.900	29.326	1,65

Figura 9 - Distribuição do fetch pelo método de Saville para o reservatório de San Roque (Argentina) e o lago Saint Claire (EUA e Canadá)



A representação da magnitude do fetch como a raiz quadrada da superfície do corpo hídrico gerou erros inferiores a 2%. No entanto, aplicando-se o mesmo método aos reservatórios de Salto Caxias e Jurumirim (Figura 10), e comparando os resultados na Tabela 6, são constatados erros significativos do método para reservatórios sinuosos e dendríticos.

Figura 10 - Distribuição do fetch na direção de maior ocorrência nos reservatórios de Salto Caxias (esquerda) e Jurumirim

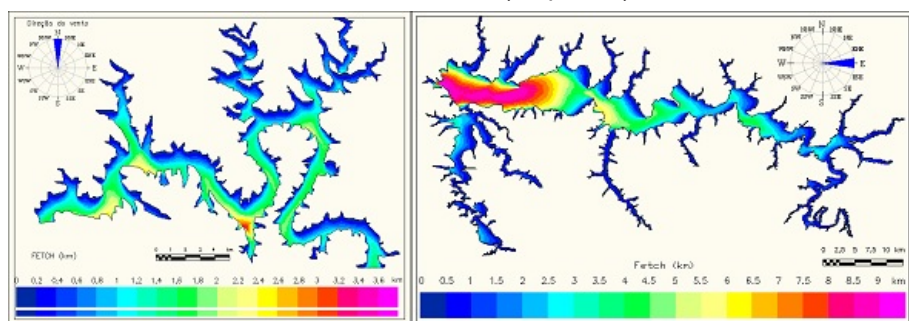


Tabela 6 - Aplicação do método do lado do quadrado equivalente aos reservatórios de Salto Caxias e Jurumirim

Local	País	Superfície (m ²)	Fetch máx (m)	(Superfície) ^{1/2}	Erro (%)
Salto Caxias	Brasil	8,7x10 ⁷	3.310,0	9.327,37	64,5
Jurumirim	Brasil	4,0x10 ⁸	9.300,0	20.000,0	53,5

4.2 MÉTODO DO RAO EQUIVALENTE

Outro modelo utilizado na tentativa de caracterizar uma dimensão característica do reservatório consiste em relacioná-la ao raio gerado por uma circunferência hipotética de área igual à superfície do reservatório. Aplicando o método à porção sul do reservatório de Itaipu e ao reservatório de Texoma, no estado Norte-Americano do Texas, são obtidos os resultados na Figura 11 e na Tabela 7.

Figura 11 - Distribuição do fetch em Itaipu (esquerda) e Texoma

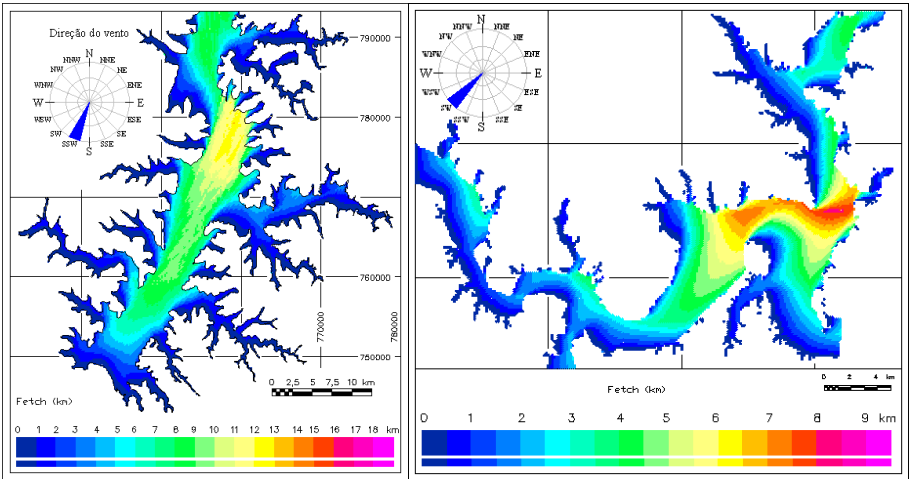


Tabela 7 - Aplicação do método do raio equivalente aos reservatórios de Itaipu e Texoma

Local	País	Superfície (m ²)	Fetch máx (m)	Raio equivalente	Erro (%)
Itaipu (sul)	Brasil	6x10 ⁸	13.000	13.820	4,85
Texoma	EUA	2,46x10 ⁸	8,420	8,849	5,93

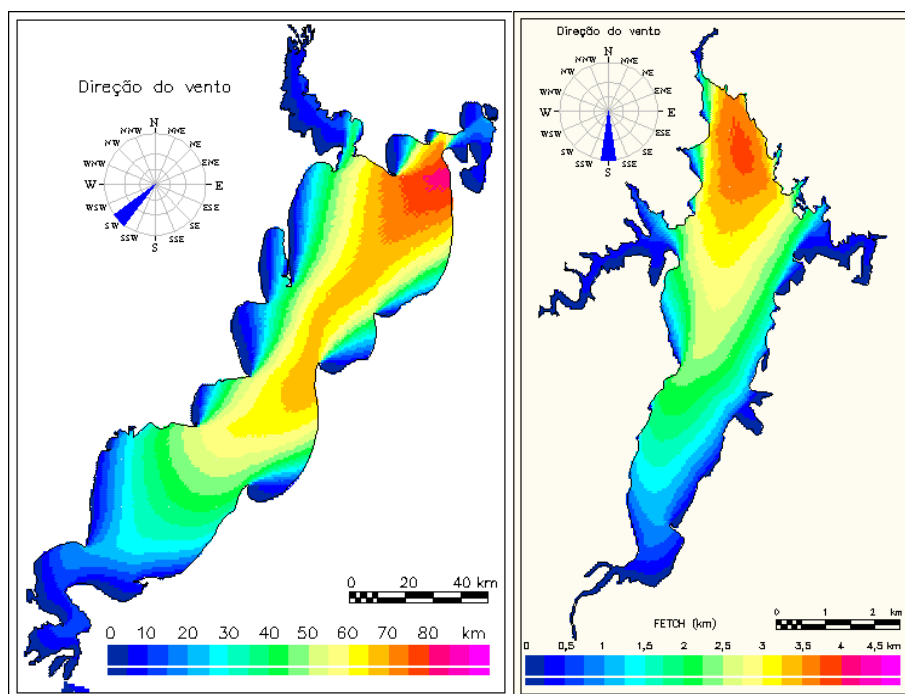
O método se mostrou adequado para os locais considerados. No entanto, aplicando-se o mesmo método à Lagoa dos Patos e ao reservatório de Molinos (Figura 12), e comparando os resultados na Tabela 8, verifica-se

a limitação do método.

Tabela 8 - Aplicação do método do raio equivalente à Lagoa dos Patos e ao reservatório Molinos

Local	País	Superfície (m ²)	Fetch máx (m)	Raio equivalente	Erro (%)
Lagoa dos Patos	Brasil	$9,3 \times 10^9$	82.032	54.408	50,71
Molinos	Argentina	$1,95 \times 10^7$	3.910	2.431	56,94

Figura 12 - Distribuição do fetch na Lagoa dos Patos (esquerda) e no reservatório de Molinos



Da mesma forma como ocorreu com o método da raiz quadrada da superfície, esse método não se mostrou suficientemente geral.

4.3 RAZÃO ENTRE ÁREA E PERÍMETRO

Um terceiro método utilizado na determinação de um fetch característico consiste em relacionar a maior extensão do fetch ao comprimento obtido pela relação entre a área e o perímetro do contorno do reservatório. Aplicando o método ao lago Saint Claire, verifica-se, pela tabela seguinte, que os resultados foram considerados adequados.

Tabela 9 - Aplicação do método pela razão entre a área e o perímetro aplicado ao lago Saint Claire

Local	País	Superfície (m ²)	Fetch máx (m)	Área/Perímetro (m)	Erro (%)
Saint Claire	EUA e Canadá	8,6x10 ⁸	28.900	28.289	2,16

Decidiu-se também pela aplicação do método aos reservatórios de Porto Primavera (sudeste do Brasil) e de Vossoroca (sul do Brasil), cujos mapas temáticos referentes às direções de maior fetch estão ilustrados na Figura 13. A Tabela 10 compara os erros do método, que foram significativos para essas configurações de reservatórios.

Figura 13 - Distribuição do fetch nos reservatórios de Porto Primavera (esquerda) e Vossoroca

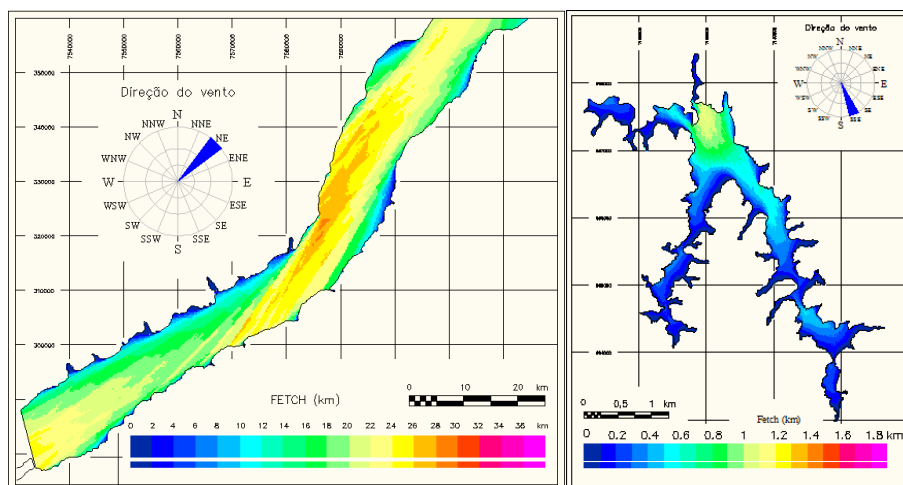


Tabela 10 - Aplicação do método aos reservatórios de Porto Primavera e Vossoroca

Local	País	Superfície (m ²)	Fetch máx (m)	Área/Perímetro	Erro (%)
Porto Primavera	Brasil	1,3x10 ⁹	28.100	100.010	71,9
Vossoroca	Brasil	3,4x10 ⁶	1.150	3.716	69,1

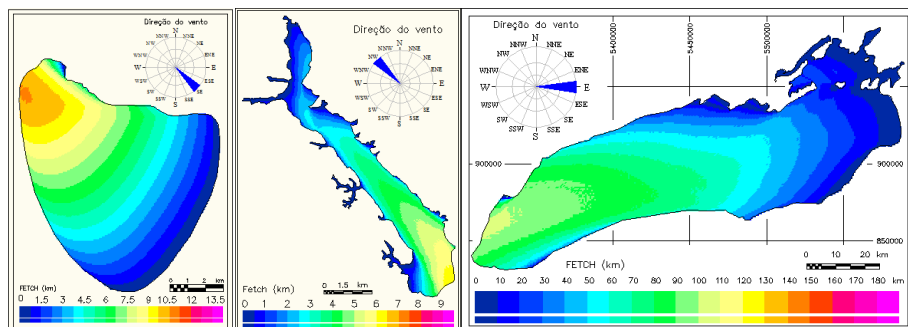
Os métodos apresentados são condicionados pelo conhecimento prévio da superfície e do perímetro do corpo hídrico. O valor da superfície pode ser obtido com certa facilidade mediante uma rápida busca pela WEB. Já o perímetro não é encontrado tão facilmente, dificultando a aplicação do método. Outra dificuldade refere-se à dependência do perímetro à resolução da imagem utilizada.

4.4 CONCEITO DO MÉTODO RÁPIDO

O fetch é uma variável que pode sintetizar o efeito do contorno das margens sobre as ondas geradas pelo vento em um reservatório, mas é necessário que sejam feitas algumas considerações sobre sua estimativa. O fetch descrito como um segmento de reta, comumente tratado como fetch oceânico, apesar de adequadamente utilizado em águas oceânicas e possuir forte apelo intuitivo, por desprezar a influência da largura, se mostra inadequado para águas com restrição de margens.

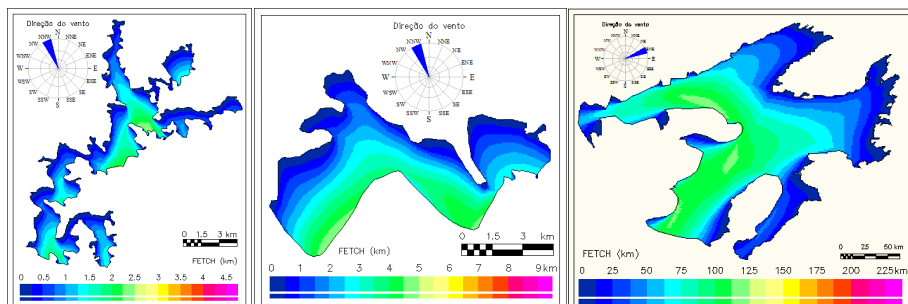
O cálculo do fetch efetivo como proposto por Saville, por sua vez, por tratar-se de um processo essencialmente geométrico, raramente é influenciado por toda a extensão do reservatório. Para locais de formatos mais ou menos regulares, há grande chance de que as linhas auxiliares que geram o maior fetch alcance todo o reservatório, como mostrado pelos corpos de água da Figura 14.

Figura 14 - Exemplos em que o fetch máximo alcança todo o corpo hídrico: Lagoa Barros (esquerda), Reservatório de Jesuína (centro) e Lago Ontário (direita)



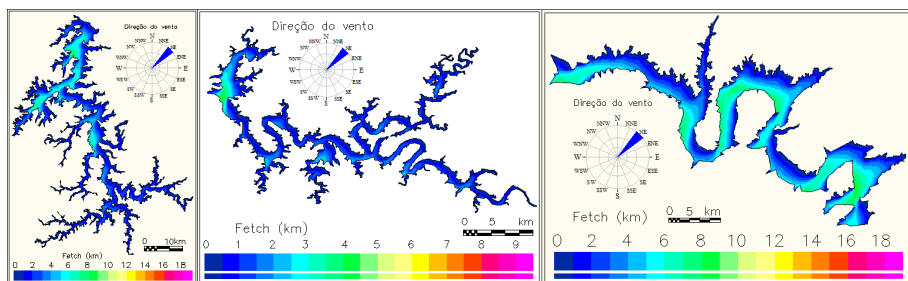
Já para casos de formato dendrítico ou sinuoso, bem mais comuns, a determinação do fetch efetivo geralmente restringe-se a subáreas, invalidando métodos que considerem a totalidade da superfície do reservatório. Exemplos desse tipo são mostrados na Figura 15.

Figura 15 - Exemplo de ocorrência do fetch em sub-regiões nos reservatórios de Ernestina (esquerda), Palmital (centro) e no Lago Great Bear (direita)



A irregularidade da forma pode ser agravada pela presença de sinuosidade, como ilustra a Figura 16.

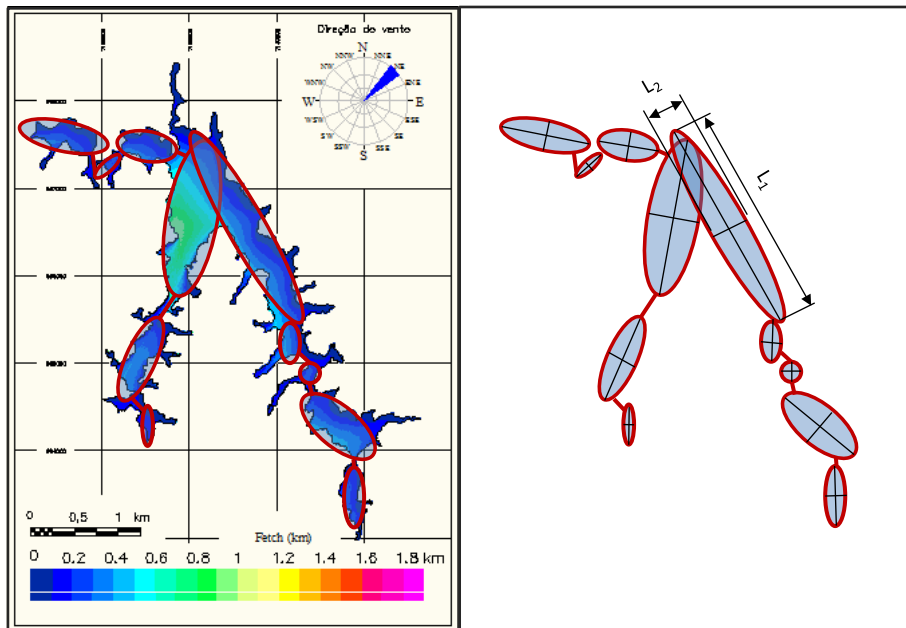
Figura 16 - Sinuosidade nos reservatórios de Três Marias, Salto Santiago e Itaparica



Fonte: Marques (2013)

Deste modo, uma solução geral para a determinação do fetch parece apontar para um método que adote a delimitação da área que contribui efetivamente para a obtenção do fetch máximo. O diagrama esquemático ilustrado na Figura 17 serve para fundamentar a hipótese de que o maior comprimento do fetch está relacionado à maior sub-região do corpo hídrico.

Figura 17 - Diagrama conceitual de delimitação das sub-regiões que contribuem para a geração da onda no reservatório de Vossoroca

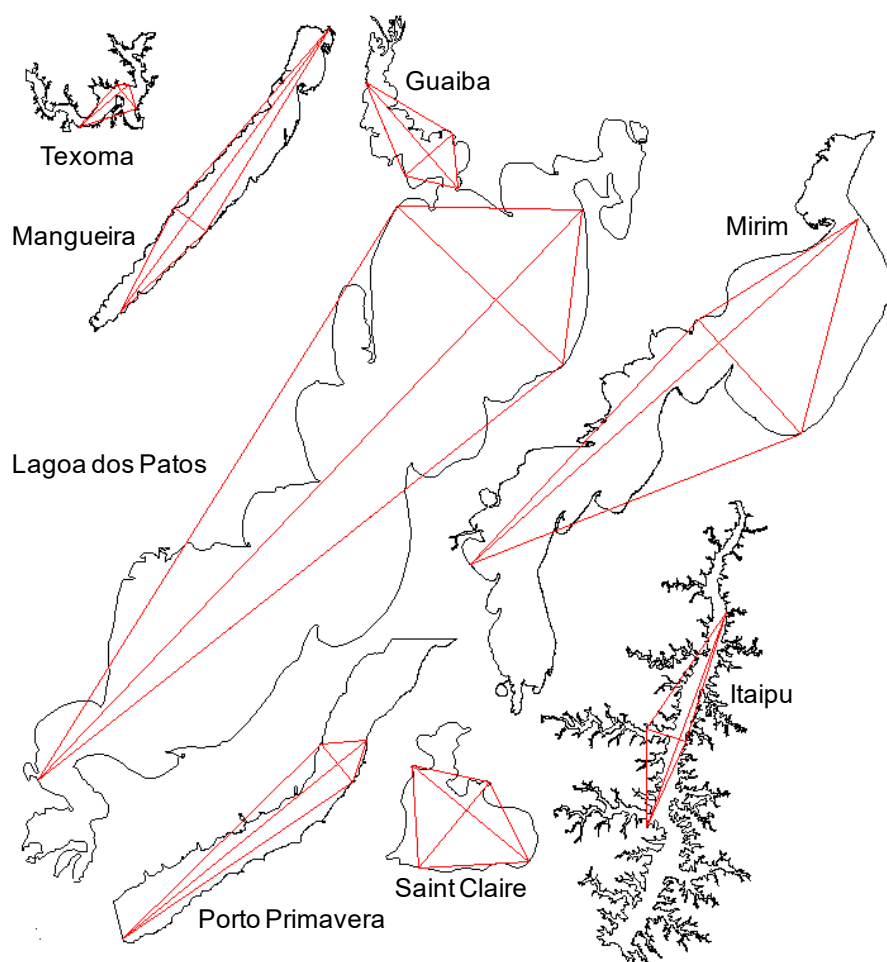


Cada sub-região pode ser identificada pelos dois maiores eixos que sejam perpendiculares entre si (L_1 e L_2). Então o problema consiste em se determinar a maior superfície livre do reservatório, a qual deve corresponder a uma subárea, e relacioná-la à maior extensão do fetch. Considerando essa fundamentação, desenvolveu-se um método com o objetivo de determinar de modo rápido o maior fetch efetivo em um corpo hídrico qualquer conforme este procedimento:

- 1) traça-se a maior reta livre de comprimento L_1 ;
- 2) traça-se um segundo segmento de reta, tão extensa quanto possível, perpendicular à primeira, de comprimento L_2 ;
- 3) a composição das linhas dá origem a um trapézio com área $L_1 L_2 / 2$.

A aplicação do método rápido é ilustrada na Figura 18, para reservatórios com diferentes formas e tamanhos.

Figura 18 - Determinação dos comprimentos L_1 e L_2 do método Rápido



A etapa de determinação da equação que correlacione o maior fetch pelo método de Saville ao produto dos dois comprimentos (L_1 e L_2) foi precedida pela geração de 16 mapas de distribuição de fetch para cada um dos 68 corpos de água modelados, entre lagos e reservatórios, totalizando 1088 mapas. A relação dos corpos de água, os valores máximos de fetch e os respectivos comprimentos L_1 e L_2 estão mostrados na Tabela 11.

Tabela 11 - Dados geométricos de 1088 mapas de distribuição do fetch

	Local	L1 (m)	L2 (m)	$\eta=L2/L1$	$(L1 \times L2/2)^{0,5}$	Fetch máx (m)		Local	L1 (m)	L2 (m)	$\eta=L2/L1$	$(L1 \times L2/2)^{0,5}$	Fetch máx (m)
1	Araruama	25400	9960	0,39	11246,9	11120	36	Mangueira	96800	10700	0,11	22757,0	23900
2	Balbiria	73230	44200	0,60	40229,1	35620	37	Maricá	6650	3680	0,55	3498,0	4270
3	Bariri	5370	4470	0,83	3464,4	2810	38	Michigan	485000	134000	0,28	180263,7	196200
4	Barra Grande	5046	4530	0,90	3380,7	2540	39	Mirim	141000	41900	0,30	54350,3	52190
5	Barros	14100	11050	0,78	8826,2	10610	40	Molinos	10180	3455	0,34	4193,6	3910
6	Billings	11950	3830	0,32	4783,7	3580	41	Ontario	298000	87800	0,29	114377,4	131900
7	Caneu	2360	2060	0,87	1559,1	1060	42	Palmas	5640	2150	0,38	2462,3	2080
8	Carlyle	22400	5710	0,25	7997,0	8700	43	Palmital	10800	7880	0,73	6523,2	5930
9	Caxiuana	42100	26900	0,64	23795,9	17310	44	Paminhas	3050	2830	0,93	2077,4	1530
10	Coari	55830	16170	0,29	21245,8	17920	45	Paraguaçu	14750	4530	0,31	5780,0	4810
11	Denison	17000	8300	0,49	8399,4	8300	46	Passo Real	21450	13100	0,61	11853,2	8830
12	Emborcação	21750	14270	0,66	12457,4	11260	47	Ponte Nova	8100	4810	0,59	4413,7	3410
13	Erie	377000	93500	0,25	132758,2	143000	48	Porto Colômbia	21390	5480	0,26	7655,6	5260
14	Ernestina	5370	3950	0,74	3256,6	2625	49	Porto Primavera	86000	17000	0,20	27037,0	28100
15	Foz do Areia	3710	3650	0,98	2602,1	2120	50	Quadros	14500	12620	0,87	9565,3	12050
16	Funil	6580	2040	0,31	2590,7	2450	51	Rosana	21140	3800	0,18	6337,7	6450
17	Furnas	17770	11030	0,62	9899,6	7630	52	Salto Caxias	7800	4200	0,54	4047,2	3310
18	Great Bear	299850	141300	0,47	145548,6	137600	53	Salto Ozório	7450	2110	0,28	2803,5	2610
19	Great Slave	211590	159482	0,75	129893,8	136200	54	Salto Santilago	10620	5230	0,49	5269,8	4220
20	Guaíba	38100	17100	0,45	18048,7	17920	55	San Roque	7330	3100	0,42	3370,7	3680
21	Guarapiranga	7810	4030	0,52	3967,0	3620	56	São Simão	36380	10230	0,28	13641,2	8430
22	Huron	356000	213000	0,60	194715,2	192000	57	Saquarema	7110	4810	0,68	4135,2	4230
23	Ilha Solteira	35800	13900	0,39	15773,7	12700	58	Sobradinho	102000	20100	0,20	32017,2	28800
24	Itá	8730	4370	0,50	4367,5	3460	59	St Claire	41200	30400	0,74	25024,8	28900
25	Itaipu	59000	9100	0,15	16384,4	12900	60	Superior	469000	260000	0,55	246921,0	253100
26	Itaipu-sul	39600	13600	0,34	16409,8	12900	61	Tapajós	151700	33770	0,22	50610,8	32440
27	Itaparica	24550	9910	0,40	11029,3	10120	62	Texoma	17800	8870	0,50	8885,0	8220
28	Itapeva	32270	6620	0,21	10335,1	8955	63	Três Irmãos	85390	9802	0,11	20457,2	11210
29	Itumbiara	37850	11230	0,30	14578,3	12520	64	Três Marias	29080	6790	0,23	9936,1	9110
30	Jaguara	9040	3080	0,34	3731,2	3420	65	Tucuruí	85360	42670	0,50	42675,0	39490
31	Jesuina	19850	4760	0,24	6873,4	6330	66	Volta Grande	18720	5670	0,30	7285,0	6230
32	Juparana Mirim	6250	1760	0,28	2345,2	2630	67	Vossoroca	2580	915	0,35	1086,4	1150
33	Jurumirim	27700	9340	0,34	11373,6	9300	68	Xingu	93800	14200	0,15	25806,6	23215
34	Lagoa dos Patos	215000	62400	0,29	81902,4	82000							
35	Mamia	23400	7090	0,30	9107,9	8115							

A relação entre o maior comprimento de fetch e o produto dos comprimentos perpendiculares (L_1 e L_2) é mostrada na Figura 19, com adoção do seguinte ajuste exponencial:

$$F_{\text{máx}} = \left[\frac{L_1 L_2}{2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad [3]$$

Portanto, pelo método aqui apresentado, a maior extensão do fetch efetivo para um reservatório qualquer pode ser obtida por meio de uma operação matemática elementar, com base na extração da raiz quadrada da área do trapézio gerado pelos comprimentos (L_1 e L_2) perpendiculares entre si. Observa-se que nem a direção, nem a localização do maior fetch são de interesse do método.

Figura 19 - Ajuste exponencial do maior fetch ao produto dos comprimentos L_1 e L_2

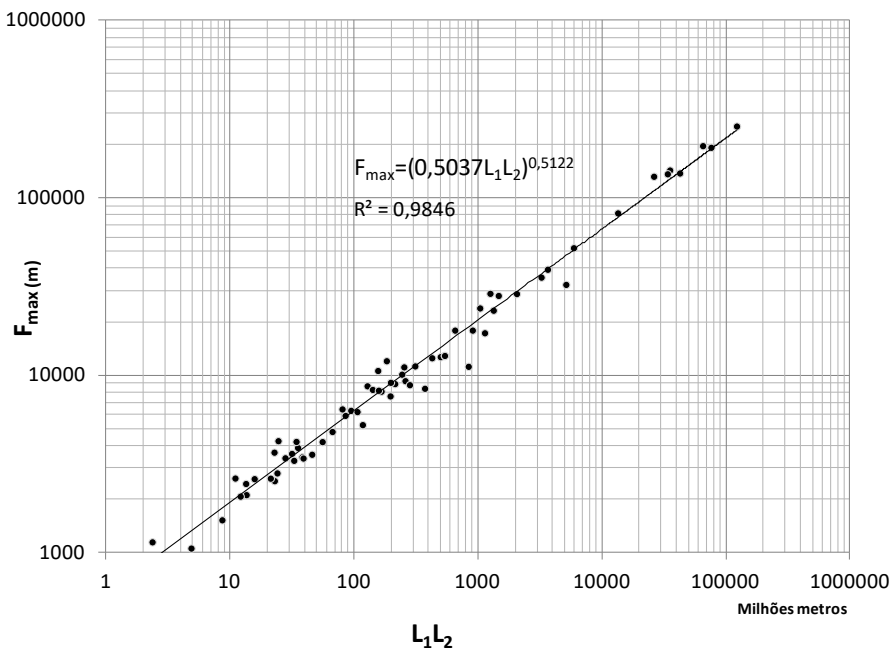
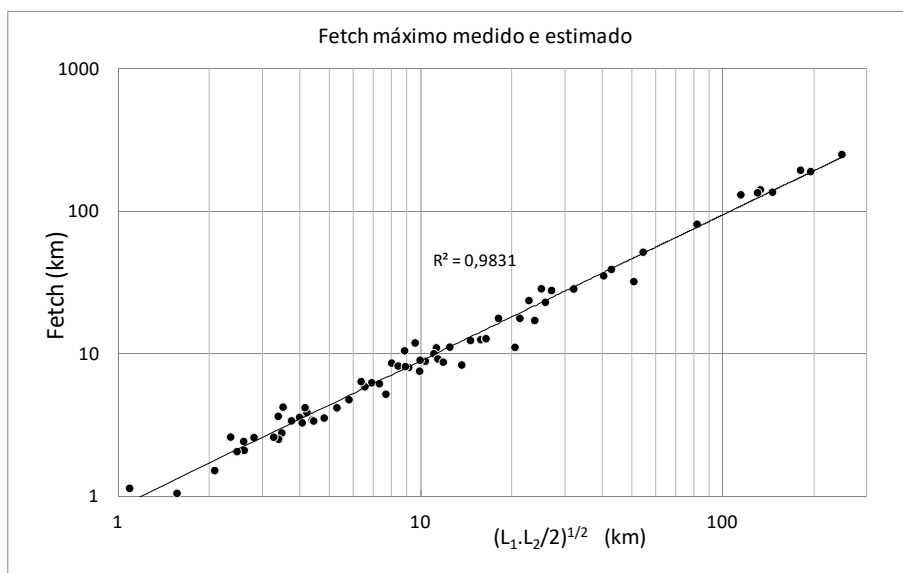


Figura 20 - Comparação entre fetch máximo calculado de modo direto e indireto



A medida de qualidade do modelo em relação à capacidade de estimar o fetch máximo foi feita obtendo-se um coeficiente de determinação de 98,46%.

Além do caráter fundamental em permitir a determinação rápida de elementos de onda como a amplitude, o período e o comprimento, com base em equações paramétricas, o fetch máximo permite classificar o corpo hídrico de acordo com a magnitude das maiores alturas de ondas geradas pelo vento.

Por tratar-se de um método geométrico, sua aplicação torna possível a obtenção do maior fetch, por exemplo, diretamente sobre imagens de satélite, pela utilização de programas de acesso gratuito, como o *Google Earth*.

MODELO ONDACAD

Intuitivamente parece razoável afirmar que a geometria de um corpo hídrico influencia o campo de ondas gerado pela ação do vento. Ao observar as proximidades da margem de um corpo hídrico sob a ação do vento, visto do alto, percebe-se que a rugosidade que se forma na água pelo contato com o vento tende a acompanhar o formato das margens. Logo, algumas regiões do reservatório estão mais sujeitas à ação do vento e, provavelmente, estão mais sujeitas à ocorrência de ondas de maior amplitude.

Em águas continentais é verificada a presença de ondas geradas pelo vento, tanto quanto em áreas oceânicas, porém com a importante diferença de que, em águas continentais, verifica-se a interferência da margem e a influência direta na transferência de energia do vento, atenuando a altura da onda.

A onda recebe energia do vento e, em águas interiores de grandes espelhos de água, a conformação das margens constitui-se no principal atenuador da transferência de energia. Nesses locais o fetch representa a superfície da água em contato com o vento. Deste modo, um método que defina um campo de fetch pode, em teoria, ser utilizado para expressar a potencial transferência de energia pelo vento e, conseqüentemente, permitir a obtenção do campo de ondas. Essa condição torna oportuna a concepção de um modelo híbrido de previsão, de modo a aproveitar o estágio atual de desenvolvimento computacional viabilizando a concepção de um modelo paramétrico de representação bidimensional.

O resultado de um modelo numérico de terceira geração constitui-se em elemento indispensável neste processo de correlação da altura significativa da onda com o comprimento do fetch e a intensidade do vento. Essa teoria leva à hipótese que norteia este trabalho, a qual considera que a altura da onda pode ser determinada de modo confiável e ágil exclusivamente com base na geometria do reservatório e no campo de vento incidente.

No processo de determinação de uma equação paramétrica com base nos resultados de um modelo numérico torna-se essencial a determinação da forma geral da equação esperada e dos respectivos coeficientes a determinar.

Julgou-se conveniente nesta etapa gerar a estrutura da equação paramétrica com base na equação de onda do modelo SWAN, considerando

as correlações entre grandezas adimensionais de energia (E^*), altura de onda (H^*) e fetch (F^*).

5.1 ESTRUTURA COMPUTACIONAL

Devido ao forte apelo geométrico, à consideração da irregularidade da margem e por constituir-se em um método bastante difundido no meio técnico, adotou-se o método apresentado por Saville (1954) na estruturação do modelo computacional considerando, no entanto, alguns aperfeiçoamentos.

A aplicação do referido método em pontos isolados da representação da superfície do lago revela um processo de aplicação excessivamente trabalhoso ao projetista. Isso se agrava com o aumento do número de pontos a analisar, mesmo fazendo uso compartilhado de programas gráficos e planilhas de cálculo. Essa dificuldade combinada com o aspecto geralmente dendrítico dos reservatórios induz o projetista a fazer uso da percepção e da experiência individual, acrescentando elementos de subjetividade na determinação do fetch.

No estudo do lago Texoma, entre os estados de Oklahoma e Texas, o método originalmente proposto adotou um ângulo de 6 graus entre radiais. Na aplicação deste método, qualquer outro espaçamento angular inferior a 6 graus poderia ser usado no mesmo procedimento (*U.S. Army Coastal Engineering Research Center, 1973*). Foi então adotado o ângulo de um grau entre linhas radiais. Aplicou-se, portanto, o método de Saville tratando-o com base em uma relação contínua, qual seja:

$$F_{ef} = \frac{\int_{-\alpha}^{\alpha} F \cos \varphi d\varphi}{\int_{-\alpha}^{\alpha} \cos \varphi d\varphi} \quad \text{para } \alpha = \frac{\pi}{4} \text{ e } -\alpha \leq \varphi \leq \alpha \quad [4]$$

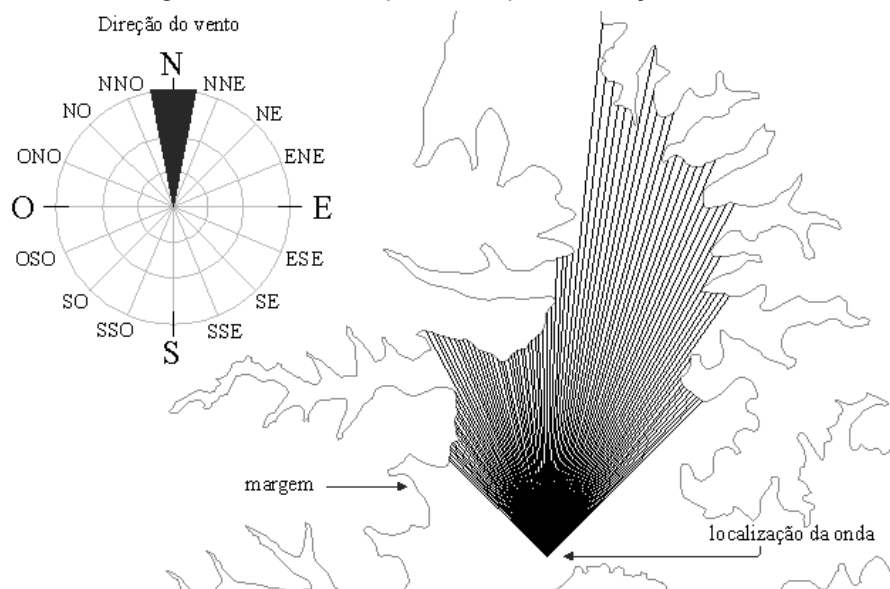
sendo F é o comprimento do segmento de reta na direção secundária até atingir-se a margem a barlavento, φ o ângulo entre a direção do vento e a direção secundária; e α a amplitude limite do ângulo φ .

O modelo ONDACAD utiliza equações paramétricas para relacionar as variáveis envolvidas. Como se trata de um método de aplicação pontual, adotaram-se os nós de uma malha estruturada quadrangular, a qual é obtida. Esta malha é obtida pela discretização da representação da superfície livre do corpo d'água tendo a margem como fronteira, conforme ilustrado na Figura 23.

A base para o traçado da margem pode ser um mapa, uma foto aérea ou uma imagem de satélite, sendo esta última opção a utilizada neste trabalho. A escolha da base depende da precisão atribuída ao estudo. A linha traçada é interpretada pelo programa como um objeto pelo qual a malha não pode atravessar. Ao executar o programa é solicitada ao operador a indicação da

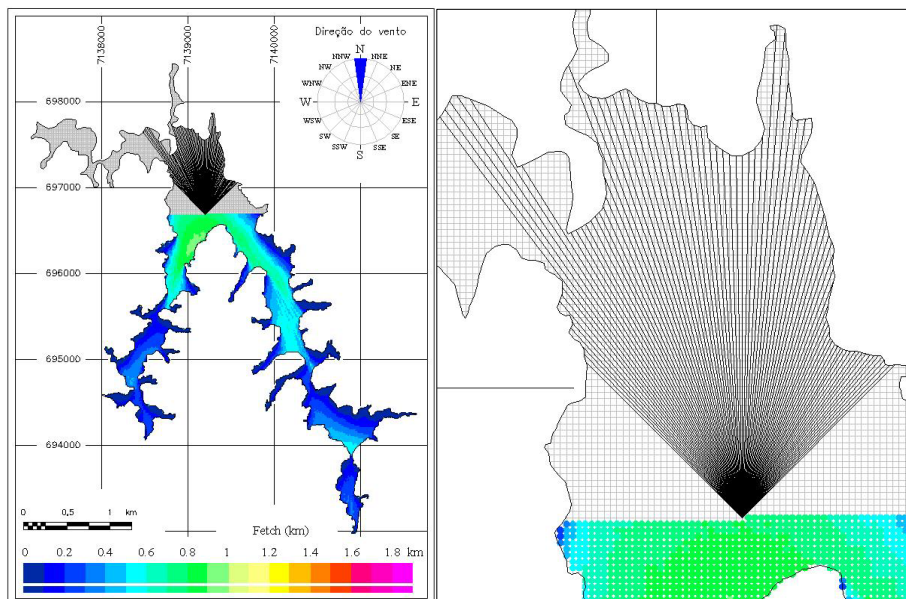
margem, da direção e da distância entre os nós da malha. A linha da margem é fornecida pelo uso do mouse. A distância entre os nós e a direção do vento é fornecida, via teclado, diretamente na linha de comando do ambiente *CAD*. O programa percorre cada nó da malha aplicando o método proposto por Saville (1954) para cada uma das 16 direções. O procedimento resulta na geração de 16 arquivos, um para cada direção, que passam a constituir um conjunto de dados que torna o fetch uma variável estática no modelo de ondas.

Figura 21 - Fetch esquemático para a direção norte



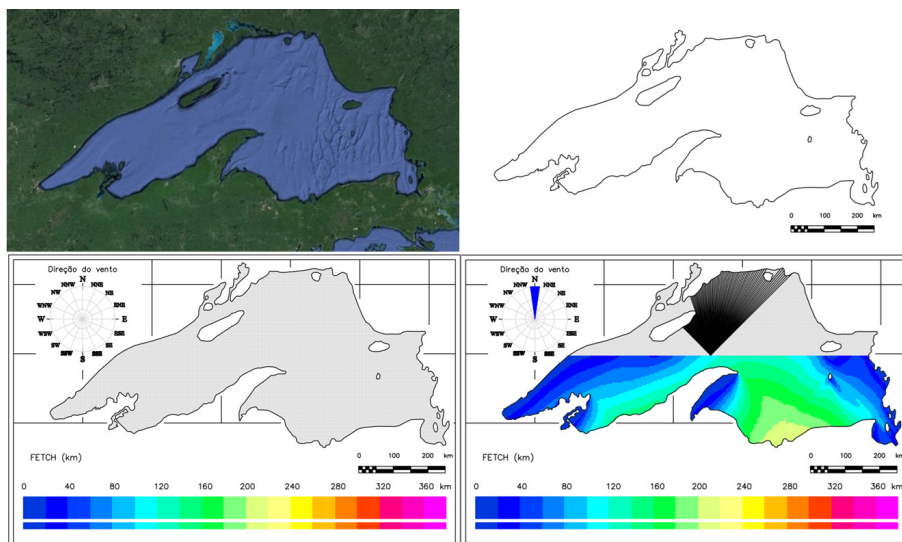
A Figura 22 exemplifica o processamento gráfico do modelo *ONDACAD*, que foi propositalmente interrompido na modelagem do reservatório de Vossoroca de modo a permitir a visualização dos procedimentos gráficos envolvidos no processo.

Figura 22 - Procedimentos gráficos do modelo ONDACAD para o reservatório de Vossoroca (Paraná), com o painel direito ilustrando uma ampliação de parte da imagem da esquerda.



A Figura 25 representa as etapas sistemáticas para obtenção dos resultados pelo modelo. O painel superior da esquerda mostra a imagem de satélite georreferenciada. O painel imediatamente à direita ilustra a obtenção do contorno da margem. O painel inferior esquerdo ilustra a adição de elementos gráficos auxiliares como coordenadas geográficas, rosa de ventos e escala cromática. Pelo último painel pode ser observado o aspecto esquemático de obtenção do campo de fetch.

Figura 23 - Etapas para obtenção dos mapas temáticos



Outro aspecto do modelo *ONDACAD* é a sua capacidade para detecção de ilhas, conforme ilustra a Figura 25.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Pela importância que o fetch exerce na previsão de altura de ondas geradas pelo vento, este passa a ser definido por um conceito bidimensional, possibilitando a assimilação por modelos paramétricos em duas dimensões. Sob esse conceito foi realizada uma revisão crítica sobre as implicações da aplicação dos métodos oceânicos em águas interiores e análise de aspectos como a variação de resolução e comparação entre métodos no espaço bidimensional.

Fica demonstrado que o campo de ondas gerado por ventos persistentes em águas continentais pode ser simulado utilizando exclusivamente a intensidade do vento atuante e a geometria do corpo d'água. Para isso foi desenvolvido o conceito de campo de fetch, que representa o potencial de formação de ondas no espaço bidimensional em função da forma da margem. Esse conceito possibilitou o desenvolvimento de modelos paramétricos em duas dimensões.

As diferenças entre os principais métodos de determinação do fetch foram analisadas para uma aplicação à porção sul do reservatório de Itaipu, constatando-se erros máximos da ordem de 300%.

Para a determinação expedita do maior fetch desenvolvido o método Rápido, permitindo relacionar qualquer corpo hídrico continental a um comprimento máximo característico.

Com base no método Rápido foi possível estimar a correlação entre os desvios nos resultados gerados por dois importantes métodos de determinação do fetch para qualquer corpo d'água.

Por tratar-se de uma linguagem que dispõe de grande variedade de recursos de manipulação de entidades e recursos geométricos, a decisão pela linguagem computacional *LISP* mostrou-se indispensável para o presente estudo, propiciando a integração de soluções em uma mesma plataforma CAD.

Por tornar possível a representação do campo de fetch, o modelo *ONDACAD* mostrou-se versátil na assimilação de diferentes equações paramétricas destinadas à previsão da altura da onda,

Existem outros elementos de ondas quantificáveis a partir de

informações do vento em águas continentais e que podem ser explorados por modelagem geométrica, com possibilidade de se tornarem módulos adicionais do modelo ONDACAD resultando, por exemplo, em mapas temáticos de período, frequência e energia das ondas.

Os seiches, por serem ondas estacionárias dependentes da ação do vento sobre o fetch podem se constituir em um elemento tratado com êxito por trabalhos futuros, utilizando-se a técnica de modelagem aqui desenvolvida.

A tensão tangencial no fundo, condicionada pelo comprimento da onda e pela profundidade, é provocada pela propagação da onda em regiões de águas intermediárias a rasas. Equações que definem essa tensão podem ser empregadas em trabalhos futuros pelo desenvolvimento de um módulo adicional do modelo ONDACAD permitindo a geração de campos de tensão gerados pela propagação da onda, podendo auxiliar atividades relacionadas a ressuspensão de sedimentos e estimativas de emissão de gases de efeito estufa que se desprendem dos sedimentos perturbados pelas ondas.

Com vistas a analisar o dimensionamento do bordo livre de barragens, a técnica de modelagem apresentada pode ser de grande utilidade na verificação da altura da onda relacionada a ventos severos no galgamento da estrutura.

A possibilidade de utilização da técnica de modelagem aqui apresentada pode auxiliar em estudos envolvendo a quantificação da erodibilidade promovida por ondas em águas continentais. Em estudos desse tipo, a análise prévia sobre o comportamento do vento pode auxiliar na escolha de locais de amostragem, condicionados por comprimentos elevados de fetch na direção do vento dominante.

Por demandar um reduzido número de elementos e por gerar resultados de modo rápido e confiável, a técnica de modelagem paramétrica bidimensional se apresenta como uma nova alternativa de modelagem de fenômenos provocados pelo vento em águas continentais.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, (1988). NBR-6123: Forças Devidas ao Vento em Edificações.

AIKI, H. & GREATBATCH, R. J. (2012) Thickness-Weighted Mean Theory for the Effect of Surface Gravity Waves on Mean Flows in the Upper Ocean. *Journal of Physical Oceanography* 42:5, 725-747. Online publication date: 1-May-2012.

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (1948). Review of slope protection methods. Comittee on Earth Dams of the Soil Mechanics and Foundations Division. *Proceedings*. 74 (6) 845:854.

AMERICAN METEOROLOGICAL SOCIETY (2000). *Glossary of Meteorology*. 2nd ed., 2000, Allen Press.

ANDRADE, F. O. ; GONÇALVES, J. E. ; GONÇALVES, R. C.; GUETTER, A. K. (2004), Implementação e análise de sensibilidade do modelo numérico hidrodinâmico Delft-3D para o reservatório de Itaipu. In: XXI CONGRESSO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA. São Pedro/SP, Brasil, Out /2004.

ANDRADE, F. O. ; GONÇALVES, R. C. ; GUETTER, A. K. (2005). Efeito do vento sobre o reservatório de Itaipu: cenários de vento e impacto no balanço hídrico. In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. João Pessoa/PB, Brasil, Nov/2005.

ANDRZEJEWSKI, R. H. & BANKI, A. Y. (1989). Efeitos de Ventos no Reservatório da Usina Hidrelétrica de Ilha Grande. Foz do Iguaçu. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. *Anais do VII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 1: 554-560, Novembro, 1989.

BAATTRUP-PEDERSEN, A. & RIIS, T. (1999). Macrophyte diversity and composition in relation to substratum characteristics in regulated and unregulated Danish streams. *Freshwater Biology* 42, 375-385.

BAILEY, R. C. (1988). Correlations between species richness and exposure: Freshwater molluscs and macrophytes. *Hydrobiologia* 162, 183-191.

BARNETT, T. P. (1968). On the generation, dissipation and prediction of ocean wind-waves. *J. Geophys. Res.*, 73, 513–529.

BATTJES, J. A. & JANSSEN, J. P. F. M. (1978). Energy loss and set-up due to breaking of random waves, Proc. 16th Int. Conf. Coastal Engineering, ASCE, 569-587.

BEER, T. (1997). Environmental Oceanography. CRC Press, 436 pp.

BENGTTSSON, L. & HELLSTROM, T. (1992). Wind induced resuspension in a small shallow lake. Hydrobiologia, V. 241 p. 163-172.

BEVERIDGE, M. C. M. (2004). Cage aquaculture. Fishing News Books 3rd ed. Oxford: Blackwell Publishing, 368p.

BHOWMIK, N. (1976). Development of criteria for shore protection against wind-generated waves for lakes and ponds in Illinois. Illinois State Water Survey, 107.

BHOWMIK, N.G. & STALL, J. B. (1978). Circulation patterns in the Fox chain of lakes in Illinois. Water Resources, 14:633-642.

BISHOP, T. C. (1983). Comparison of manual wave prediction models. ASCE J. of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engng., vol. 109, n. 1.

BOOIJ, N.; HOLTHUIJSEN, L. H. & RIS, E. R. C. (1996). The SWAN wave model for shallow water, Int. Conf. Coastal Eng., ASCE, Orlando, 668-676.

BREIVIK, L. A. & REISTAD, M. (1992). Use of ERS-1 altimeter wave products at DNMI. Evaluation of wave heights and wind speeds. Assimilation in a numerical wave model. Technical Report No. 101, The Norwegian Meteorological Institute.

BREIVIK, Ø.; REISTAD, M.; HAAKENSTAD, H.; AARNES, (2011). A high-resolution hindcast of wind and waves for the North Sea, the Norwegian Sea and the Barents Sea. Journal of Geophysical Research, VOL. 116, C05019, 18 PP., 2011 doi:10.1029

BRETSCHNEIDER, C. L. (1952). The generation and decay of wind waves in deep water. Trans. A.G.U., 33(3), 381-389.

BRETSCHNEIDER, C. L. (1958). Wave variability and the wave spectra. Journal of the Waterways and Harbors Division, Proceedings ASCE, pp. 937-1, 937-28.

BRETSCHNEIDER, C. L. (1966). Wave generation by wind, deep and shallow water. In: A.T. Ippen (Editor), Estuary and Coastline Hydrodynamics. McGraw-Hill, New York, 744 pp.

BUBA, H.; ARAÚJO, A. N. (2011). Impactos da qualidade da medição de níveis d'água na operação hidráulica de reservatórios. In: XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. Maceió/AL, Brasil, Nov.

BUGGELN, B. & JUDGE, D. (2007). Determining necessary reservoir freeboard two methods of estimating wave runup and wind setup. CDA Annual Conference – 2007. Canadian Dam Association. Canada.

BURROWS, R. & HEDGES, T.S. (1985). The Influence of Currents on Ocean Wave Climates. *Coastal Engineering*, 9: 247-260.

CANDELLA, R. N. (1997). Estudo de casos de ondas no Atlântico Sul através de modelagem numérica. Dissertação de Mestrado em Engenharia Oceânica, COPPE.

CARDONE, V. J. & ROSS, D. B. (1979). Wave Prediction Methods and Data Requirements, *Ocean Wave Climate*, edited by M. D. Earle and A. Malahoff, Plenum Publishing Corp.

CARPER, G. L. & BACHMANN, R. W (1984). Wind resuspension of sediments in a prairie lake. *Can J. Fish. Aquat. Sci.* V.41. P. 1763-1767.

CARTER, D. J. T.; CHALLENGOR, P. G.; EWING, J. A.; PITT, E. G; SROKOSZ, M. A. & TUCKER, M. J. (2006). Estimating wave climate parameters for engineering applications. *Offshore Tech. Report OTH 86/228*, HMSO, London.

CAVALERI, L. & MALANOTTE-RIZZOLI, P. (1981). Wind wave prediction in shallow water: theory and applications. *J. Geophys. Res.*, 86, 10961–10973.

CLANCY, R.M., & P.A. WITTMANN, (1990). FNMOC Implements Advanced Wave Model, *Naval Oceanography Command News*, Sep 1990.

COELHO, R. M. P.; GRECO, M.; ÁVILA, M.; RESCK, R. P. (2007a). Relatório de identificação de áreas tecnicamente adequadas para a instalação de parques aquícolas. Reservatório de Furnas. (Relatório de pesquisa).

COELHO, R. M. P.; GRECO, M.; ÁVILA, M.; RESCK, R. P. (2007b). Relatório de identificação de áreas tecnicamente adequadas para a instalação de parques aquícolas. Reservatório de Três Marias. (Relatório de pesquisa).

COLLARD, F.; ARDHUIN, F.; CHAPRON, B. (2009). Monitoring and analysis of ocean swell fields from space: new methods for routine observations. *Journal of Geophysical Research* 114:c7, C07023.

COLLINS, J.I. (1972), Prediction of shallow water spectra, *J Geophys. Res.*, 77, No. 15, 2693-2707.

COX, A.T., & CARDONE, V.J. (2003). 20 Years of Operational Forecasting at Oceanweather. *Proceeding of the 7th International Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting*, Oct 21-25, 2002, Banff, Alberta, Canada.

COX, A.T. & SWAIL, V. R. (2001). A global wave hindcast over the period 1958-1997: validation and climate assessment. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 106, n.C2, pp. 2313-2329, february 15, 2001.

DALL'AGLIO SOBRINHO, M.; TROVATI, L. R.; MACIEL, G. F.; OLIVEIRA, J.N.; ALBERTIN, L.L. ; OLIVEIRA, B.M. ; SILVA, G.B.L. ; OLIVEIRA, E. B. ; CUNHA, E.F. (2011). Monitoramento de ondas em reservatórios com sensor de pressão e

comparação com dados de ADCP_Waves. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, XIX, 2011, Maceió - AL. Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2011. v. único.

de VOOGT, W.J.P. ; KOMEN, G. J. ; BRUINSMA, J. (1985). The KNMI operation wave prediction model GONO. Ocean Wave Modelling. The SWAMP Group. Plenum, 193-200.

DNAEE. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (1983). Mecânica de Correntes do Guaíba. Relatório Síntese Ministério das Minas e Energia.

DONELAN, H. A. (1980). Similarity Theory Applied to the Forecasting of Wave Heights, Periods, and Directions. Proceedings of the Canadian Coastal Conference. National Research Council, Canada, pp 47-61.

DONELAN, M. A. & W. H. HUI (1985). Directional spectra of wind generated waves. Phil. Trans. Royal Soc., A315, 509–562.

DOWNING, J. A. *et al.* (2006). The global abundance and size distribution of lakes, ponds, and impoundments. Limnology and Oceanography, 51(5), 2388-2397.

DOYLE, R. D. (2001) Effects of waves on the early growth of *Vallisneria americana*. Freshwater Biology, Oxford, v. 46, no. 3, p. 389-397, Mar. 2001.

DUBE, S. K.; SINHA, P. C. & ROY, G. D. (1996). Numerical simulation of storm surges in Bangladesh using a bay-river coupled model. Coastal Engineering 10, 85. pp.101.

EARLE, M. D. (1979). Practical determinations of design wave conditions. Ocean Wave Climate, M. D. Earle and A. Malahoff, Eds., Plenum Press, 39–60.

ECKART, C. (1952). The propagation of gravity waves from deep to shallow water, Proc. NBS Semicentennial Symp. on Gravity Waves, 1951, Washington, National Bureau of Standards, Circular 521, pp. 165–173.

ELDEBERKY, Y. & BATTJES, J. A. (1996). Parameterization of triad interactions in wave energy models, Proc. Coastal Dynamics Conf. 95, Gdansk, Poland, 140-148.

ETEMAD-SHAHIDI, A.; KAZEMINEZHAD, M. H.; MOUSAVI, S. J. (2009). On the Prediction of Wave Parameters Using Simplified Methods, Journal of Coastal Research, vol. 56. pp. 505-509.

EWING, J. A.; EPHRAUMS, J.J.; GOLDING, B.W.; WORTHINGTON, B.A. (1981). Comparisons of the Meteorological Office and Norswam wave models with measured wave data collected during March 1980. Wormley, UK, Institute of Oceanographic Sciences, 22pp.

FALVEY, H. T. (1974). Prediction of wind wave heights, Proc. ASCE J. Waterways, Harbors and Coastal Eng. Div., vol 100, 1-12.

FEE, E. J.; HECKY, R. E.; KASIAN, S. E. M. & CRUIKSHANK, D. R. (1996). Effects of lake size, water clarity, and climatic variability on mixing depths in Canadian Shield lakes. *Limnol. Oceanogr.* 41: 912–920.

FENDRICH, R. (1988). Formação de Ondas e Identificação de Pontos Erodíveis na Margem Esquerda do reservatório de Itaipu. Rio de Janeiro. Revista Brasileira de Engenharia – Caderno de Recursos Hídricos, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, volume 6, nº 2: 7-21, Novembro 1988.

FENDRICH, R. (1993). Ondas em Reservatórios. Dissertação (Professor Titular). Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Curitiba. 1993.

FERNANDEZ, O. V. (1990). Mudanças no canal fluvial do rio Paraná e processos de erosão nas margens: região de Porto Rico, PR. Dissertação (mestrado). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro – SP, Inédito, 96, 1990.

FERREIRA, A. N. (2000). Estudo do Efeito de Acidente na Hidrovia Tietê-Paraná: Aspectos Preventivos, São Paulo. Dissertação (mestrado), 168p.

GERLING, T. W. (1992) Partitioning Sequences and Arrays of Directional Ocean Wave Spectra into Component Wave Systems. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 9, 444–458.

GONÇALVES, C. R. (2007). Análise de Frequência Regional de Ventos Extremos no Paraná. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Grad. em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR.

GORHAM, E. & BOYCE, F. M. (1989). Influence of lake surface area and depth upon thermal stratification and the depth of the summer thermocline. *J. Great Lakes Res.* 15: 233–245.

GORMAN, R.M.; NIELSON, C.G. (1999). Modelling shallow water wave generation and transformation in an intertidal estuary. *Coastal Engineering*, 36: 197-217.

GREENSLADE, D. J. M. & YOUNG, I. R. (2004). Background errors in a global wave model determined from altimeter data. *J. Geophys. Res.* 109.

GRÖEN, P. & DORRESTEIN, R. (1976). Zeegolven. KNMI Opstellen op Oceanografisch en Maritiem Meteorologisch Gebied, 11, 124 pp.

WAMDI GROUP: Hasselmann, S.; Hasselmann, K. ; Bauer, E. ; Janssen, P.A.E.M. ; Komen, G.J. ; Bertotti, L. ; Lionello, P. ; Guillaume, A. ; Cardone, V.C. ; Greenwood, J.A. ; Reistad, M. ; Zambresky, L. & Ewing, J. A. (1988). The WAM model - a third generation ocean wave prediction model. *J. Phys. Ocean.* 18, 1775 - 1810.

GUDDAL, J. (1985). The Norwegian wave model (NOWAMO). *Ocean Wave Modelling. The SWAMP Group. Plenum*, 187-191.

GUNTHER, H. & ROSENTHAL, W. (1985). The hybrid parametrical (HYPA) wave model. *Ocean Wave Modelling. The SWAMP Group. Plenum*, 211-214.

HASSELMANN, D. E.; DUNCKEL, M. & EWING, J. A. (1980). Directional wave spectra observed during JONSWAP (1973). *J. Phys. Oceanogr.*, 10, 1264–1280.

HASSELMANN, K., ROSS, D. B.; MÜLLER, P. & SELL, W. (1976). A parametric wave prediction model. *J. Phys. Oceanogr.*, 6(2), 200–228.

HASSELMANN, K.; BARNETT, T. P.; BOUWS, E.; CARLSON, H.; CARTWRIGHT, D. E.; ENKE, K.; EWING, J. A.; GIENAPP, H.; HASSELMANN, D. E.; KRUSEMAN, P.; MEERBURG, A.; MULLER, P.; OLBERS, D. J.; RICHTER, K.; SELL, W. & WALDEN, H. (1973). Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP). *Deut. Hydrogr. Z.*, A8(12).

HEARN, C. J. (2008). *The Dynamics of Coastal Models*. Cambridge University Press. 2008. pp 488.

HOLTHUIJSEN, L. H. (2007). *SWAN - User manual*. Delft, USA. Department of Civil Engineering. Delft University of Technology. 124p.

HSU, T.W.; OU, S. H. & LIAU, J. M. (2005). Hindcasting nearshore wind waves using a FEM code for SWAN, *Coastal Engineering*, 52: 177-195.

HULER, S. (2004). *Defining the Wind: The Beaufort Scale, and How a 19th-Century Admiral Turned Science into Poetry*. Crown.

INNOCENTINI, V.; ARANTES, F. O.; PRADO, S. C. C. (2003). Modelo de ondas aplicado ao caso 5-8 de maio de 2001. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São Paulo, vol. 18, n. 1, p. 97-104, 2003.

INOUE, T. (1967). On the Growth of the Spectrum of a Wind Generated Sea According to a Modified Miles-Phillips Mechanism and its Application to Wave Forecasting, *Geophys. Sci. Lab. Rep. No. TR 67-5*.

JANSSEN, P. (1991). Quasi-linear theory of wind wave generation applied to wave forecasting. *J. Phys. Oceanogr.*, 21, 1631–1642.

JEFREYS, H. (1924). On the formation of waves by wind. *Proc. Roy. Soc. A*, 107, 189–206.

JEFREYS, H. (1925). On the formation of waves by wind, II. *Proc. Roy. Soc. A*, 110, 341–347.

JENKINS, G. M. & WATTS, D. G. (1992). *Spectral Analysis*, San Francisco, Holden-Day, CA, 525 pp.

JENSEN, R. E.; WITTMANN, P. A. & DYKES, J. D. (2002). Global and regional wave modelling activities. *Oceanography*, 15, No. 15, 57-66

JIN, K. R. & JI, Z.G. (2001). Calibration and verification of a spectral wind - wave model for Lake Okeechobee. *Ocean Engineering*, 28: 571-584

JINHUA, W. & YONGMING, S. (2012) On the development and verification of a parametric parallel unstructured-grid finite-volume wind wave model for coupling with ocean circulation models. *Environmental Modelling & Software* 37, 179-192. Online publication date: 1-Nov-2012.

JORDI, A.; WANG, D. P. (2012). SBPOM: A parallel implementation of Princeton Ocean Model. *Environmental Modelling & Software* 38, 59-61. Online publication date: 1-Dec-2012.

KAISER, I. M. (1995). Ondas geradas por ventos em reservatórios artificiais: um panorama. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.

KAMPF, J. (2009). *Advanced Ocean Modelling*. Springer, Berlin/Heidelberg.

KAMPHUIS, J. W. (2000). *Introduction to Coastal Engineering and Management*. World Scientific Press, 437 pp.

KAHMA, K. K. & CALKOEN, J. J. (1992). Reconciling discrepancies in the observed growth of the wind-generated waves *J. Phys. Oceanogr.*, 22, 1389-1405.

KHANDEKAR, M. L. & LALBEHARRY, R. (1996). An Evaluation of Environment Canada's Operational Ocean Wave Model Based on Moored Buoy Data. *Wea. Forecasting*, 11, 137-152.

KINSMAN, B. (1965). *Wind Waves; Their Generation and Propagation on the Ocean Surface*. Prentice Hall, Inc., 676 pp.

KITAIGORODSKII, S. A. (1962). Applications of the theory of similarity to the analysis of wind-generated wave motion as a stochastic process. *Izv. Geophys. Ser. Acad. Sci., USSR*, 1, 105-117.

KOMAR, P. D. & MILLER, M. C. (1976). The threshold of sediment movement under oscillatory water waves. *J. Sed. Petrol.* V. 43. p. 1101-1110.

KOMAR, P.D. (1976). *Beach Processes and Sedimentation*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 429 pp.

KOMEN, G. J.; CAVALERI, L.; DONELAN, M.; HASSELMANN, K.; HASSELMANN, S. & JANSSEN, P. A. E. M. (1994). *Dynamics and modelling of ocean waves*. Cambridge University Press, 532 pp.

LAMB, H. (1932). *Hydrodynamics*. New York: Cambridge University Press, 738p.

LE MEUR, D.; ROQUET, H.; LEFEVRE, J. M.; FRADON, B. (1994). Study of the impact of ERS-1 scatterometer wind data on numerical wave modelling *Second International Conference on Air-Sea Interaction and on Meteorology and Oceanography of the Coastal Zone* Am. Meteorol. Soc. Lisbon Sept. 22-27, 1994b.

LEFEVRE, J. M.; BARCKICKE, J. & MENARD, Y. (1994) A significant wave height

dependent function for Topex/Poseidon wind speed retrieval. J. Geophys. Res., 99, 25035–25049.

LI, C.W. & MA, F. (2001). Wind Waves Prediction in the East China Sea by a Discrete Spectral Model of Hong Kong, Ocean model WOM-6 workshop, Sept. 11-14, Beijing, China.

LIMA, S.F. *et al.* (2003). Estimativa das maiores ondas geradas pelo vento no reservatório de Ilha Solteira. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 15., 2003, Curitiba. Anais v. 1. p. 1-19.

LIN, W.; SANFORD, L.P.; ALLEVA, B.J. & SCHWAB, D.J. (1998). Surface Wind Wave Modeling in Chesapeake Bay. Proceedings of WAVES 97, ASCE Conference on Ocean Wave Measurement and Analysis, November 3-7, 1997, Virginia Beach, VA, 1048-1062.

LIONELLO, P.; GUNTHER, H. & JANSSEN, P. A. E. M. (1992). Assimilation of altimeter data in a global third generation wave model, Technical Report No. 67, European Centre for Medium Range Weather Forecasts, ECMWF.

LITTLE, E. S. C. (1966) The invasion of man-made lakes by plants. In: LOWE-McCONNELL, R. H. (Ed.). Man-made lakes: proceedings of a symposium held at the royal Geographical Society, London, on 30 September and 1 October 1965. London: Academic Press, 1966. p. 75-84.

LONGUET-HIGGINS, M. S. (1952). On the statistical distribution of the height of sea waves. J. Mar. Res., 11, 245–266.

LUETTICH, R. A. & HARLEMAN, D. R. F. (1990). Dynamic behavior of suspended sediment concentrations in a shallow lake perturbed by episodic wind events. Limnol. Oceanogr. V. 35. p. 1050-1067.

MADSEN, O.S.; POON, Y.K. & GRABER, H. C. (1988). Spectral wave attenuation by bottom friction: Theory, Proc. 21st Int. Conf. Coastal Engineering, ASCE, 492-504.

MALISKA, C. R. (1995). Transferência de Calor e Mecânica dos Fluidos Computacional. Rio de Janeiro: Ed. LTC – Livros Técnicos e Científicos.

MANNICH, M. (2013). Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Reservatórios e Lagos - Contribuições para o Monitoramento e Modelagem 1D-Vertical. Tese de doutorado pelo Programa de Pós-Graduação Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental. Curitiba: Universidade Federal do Paraná.

MARQUES, M. (2005). Sistema automatizado para estimativa de ondas geradas por vento em reservatórios de barragens”, Dissertação de mestrado. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista.

MARQUES, M. & GUETTER, A. K. (2011). Determinação da distribuição do Fetch no Reservatório de Itaipu In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Maceió/AL,

Brasil, Nov/2011.

MARQUES, M.; MACIEL, G. F. & DALL'AGLIO SOBRINHO, M. (2007). Estimativa das máximas pistas de vento no reservatório da barragem de Ilha Solteira. *Revista Acta Scientiarum*, v.29, n.1, p79-84.

MARQUES, M. ; ANDRADE, F. O. ; GUETTER, A. K. (2013). Conceito do Campo de fetch e sua Aplicação ao reservatório de Itaipu. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 18, p. 243-253, 2013.

MASON, M. A. (1950). The problem of wave action on earth slopes. *Transactions of ASCE*. 116: 1398-1415.

MELO, M. S. ; CARVALHO, M. S. B. S. ; SOARES, A. M. L. ; BARRETO, R. N. C. (2007) Mapeamento dos Espelhos D'água do Brasil. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Ministério da Integração Nacional, Agência Nacional das Águas. Mapeamento dos espelhos d'água do Brasil. Fortaleza: Funceme, 108p.

MILES, J. W. (1957). On the generation of surface waves by shear flows. *J. Fluid Mech.*, 3, 185–204.

MITSUYASU, H. & HONDA, M. T. (1982). Wind induced growth of water waves. *J. Fluid Mech.*, 123, 425-442.

MITSUYASU, H. (1969). On the growth of the spectrum of wind-generated waves, II. *Rept. Res. Inst. Appl. Mech.*, Kyushu Univ., 17, 235–243.

NICOLODI, J. L.; TOLDO JR., E. E.; FARINA, L. (2010). Dinâmica e ressuspensão por ondas no Lago Guaíba. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. *Pesquisas em Geociências*, 37 (1): 25-39, jan./abr. 2010.

NICOLODI, J. L. (2007). O padrão de ondas no Lago Guaíba e sua influência nos processos de sedimentação. Porto Alegre, 179p. Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

NORDENSTROM, N. (1969). Methods for predicting long-term distributions of wave loads and probability of failure for ships. App. II, Relationships between visually estimated and theoretical wave heights and periods, DnV report No. 69-21-5, Oslo, Norway.

NUNES, P. L. (2002). O modelo SWAN como ferramenta na análise e previsão de ondas. 46p. Monografia de Conclusão. Departamento de Oceanografia, Instituto de Geociências, Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

OU, S.H. ; LIAU, J.M. ; HSU, T.W. & TZANG, S.Y. (2002). Simulating typhoon waves by SWAN wave Model in coastal waters of Taiwan. *Ocean engineering*, 29: 947-971.

PADOVEZI, C. D. (2003). Conceito de Embarcações Adaptadas à Via Aplicado à Navegação Fluvial no Brasil. Tese de doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

PELLEGATTI, D. M. F. (1993). Um modelo de previsão de ondas de superfície do mar geradas pelo vento. Tese de Mestrado em Meteorologia, INPE.

PEREZ-FUENTETAJA, A. ; DILLON, P. J. ; YAN, N. D. ; & MCQUEEN, D. J. (1999). Significance of dissolved organic carbon in the prediction of thermocline depth in small Canadian Shield lakes. *Aquat. Ecol* 33:127–133.

PHILLIPS, O. M. (1957). On the generation of waves by turbulent Wind, *J. Fluid Mech.*, 2, 417-455

PHILLIPS, O. M. (1958). The equilibrium range in the spectrum of wind-generated ocean waves. *J. Fluid Mech.*, 4, 426–434.

PIERINI, S. A. (2005). Fatores determinantes da distribuição de plantas submersas e da estrutura das assembleias de macrófitas aquáticas no Reservatório de Rosana. Tese (Doutorado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais) - Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais. Maringá: Universidade Estadual de Maringá.

PIERSON, W. J. e MOSKOWITZ, L. (1964). A proposed spectral form for fully developed wind seas based on the similarity theory of S.A. Kitaigorodskii. *J. Geophys. Res.*, 69, 5181-5190.

PIERSON, W. J.; NEUMANN, G.; JAMES, R. W. (1955). Practical Methods for Observing and Forecasting Ocean Waves by Means of Wave Spectra and Statistics. U.S. Navy Hydrographic Office Publ. 603, 284 p.

PIRES-SILVA, A. A.; MAKARYNSKY, O.; MONBALIU, J.; VENTURA-SOARES, C.; COELHO, E. (2002). Wam/Swan Simulations in an Open Coast: Comparisons with ADCP Measurements. *Littoral, The Changing Coast*. EUROCOAST/EUCC, Porto Portugal Ed. EUROCOAST - Portugal.

REA, T. E.; KARAPATAKIS, D.J.; GUY, K. K.; PINDER III, J. E.; MACKEY JR., H. E. (1998). The relative effects of water depth, fetch, and other physical factors on the development of macrophytes in a small southeastern US pond. *Aquatic Botany* 61, 289-299.

RIIS, T.; HAWES, I. (2003). Effect of wave exposure on vegetation abundance, richness and depth distribution of shallow water plants in a New Zealand Lake. *Freshwater Biology* 48, 75-87.

RIS, R. C.; HOLTHUIJSEN, L. H.; BOOIJ, N. (1994). A spectral model for waves in the near shore zone, *Proc. 24th Coastal Engineering Conference*, October 1994, Kobe, Japan, ASCE, 68–78.

RIS, R.C.; BOOIJ, N.; HOLTHUIJSEN, L. H. (1999). A third-generation wave model for coastal regions. Part II: Verification. *Journal of Geographic Research*, 104 (C4): 7667-7682.

ROGERS, W.E.; HWANG, P.A.; WANG, D.W. (2003). Investigation of wave growth and decay in the SWAN model: three regional-scale applications. *Journal of Physical Oceanography*, 33: 366-389.

ROTTIER, J. R. & VINCENT, C. L. (1982). Fetch Limited Wave Growth Observed During ARSLOE. *Proceedings of OCEANS '82*. pp 914-919.

RUSU, E.; VENTURASOARES, C.; PIRESILVA, A.; PINTO, J. P.; MAKARYNSKY, O. (2002). Near Real Time Assessment of the Wave Propagation in the Coastal Environment of Portugal. *Littoral 2002, The Changing Coast*.

SAVILLE, T. (1952). Wind Setup and Waves in Shallow Water. TM-27, U.S. Army Corps of Engineers, Beach Erosion Board, Washington, D.C., June 1952.

SAVILLE, T. (1954). The effect of fetch width on wave generation. Technical Memorandum No. 70, U.S. Army, Corps of Engineers, Beach Erosion Board, 9 pp.

SAVILLE, T.; MCCLENDON, E. W. & COCHRAN, A. L. (1962). Freeboard allowances for waves in inland reservoirs. *ASCE Journal of the Waterways and Harbors Division*, V. 88(WW2): 93-124.

SHAN-HWEI, O.; JIAN-MING, L.; HSU, T. W. & SHIAW-YIH T. (2002). Simulating typhoon waves by SWAN wave model in coastal waters of Taiwan. *Ocean Engineering*, 29: 947-971.

SHEMDIN, O. H.; HASSELMANN, K.; HSIAO, S. V. & K. HERTERICH (1978) Non-linear and linear bottom interaction effects in shallow water. In: *Turbulent fluxes through the sea surface; wave dynamics and prediction*. Plenum Press, 347-372.

SHENG, Y. P. & CHEN, X. J. (1993). Lake Okeechobee Phosphorus Dynamics Study: A three Dimensional Numerical Model of Hydrodynamics. Final Report to South Florida Water Management District. Coastal and Oceanographic Engineering Department, University of Florida, Gainesville, FL.

SHIELDS, G. C. & BURDWELL, G. B. (1970). Western Region Sea State and Surf Forecasters Manual. Technical Memorandum WR-51, National Weather Service, NOAA.

SIBUL, O. (1955). Laboratory study of the generation of wind waves in shallow water. U.S. Army Corps of Engineers Beach Erosion Board, Technical Memo No. 72, 35 p.

SILVA, A. M.; YOUNG, C. C.; LEVITUS, S. (1995). Toward a revised Beaufort Equivalent Scale. *Proc. Int. COADS Workshop*, Kiel, Germany, *Berichte aus dem Institut für Meereskunde*, 270-286.

SMITH, J. M.; RESIO, D. T. & ZUNDEL, A. K. (1999). STWAVE: stead-state spectral wave model, report 1 user's manual for STWAVE version 2.0. Intr. Rep. CHL-99-1, U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS, 57p.

SMITH, J. M. (1991). Wind-wave generation on restricted Fetches. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Misc. Paper CERC-91-2, 25pp.

SNUCINS, E. & GUNN, J. (2000). Interannual variation in the thermal structure of clear and colored lakes. *Limnol. Oceanogr.* 45: 1639–1646.

SNYDER, R. L. & COX, C. S. (1966). A field study of the wind generation of ocean waves. *J. Marine Res.*, 24(2), 141–178.

SNYDER, R. L. & DOBSON, F. W.; ELLIOTT, J. A. & LONG, R. B. (1981) Array measurements of atmospheric pressure fluctuations above surface gravity waves. *J. Fluid Mech.*, 102, 1–59.

SOLERA, M. L. (2010) Avaliação de Técnicas da Bioengenharia de solos para proteção de taludes: estudo de caso para aplicação nas encostas do reservatório da barragem da UHE Engo Sergio Motta, Rio Paraná, SP/MS. Dissertação de mestrado. Instituto de pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. São Paulo.

SORENSEN, R. M. (1978). Basic Coastal Engineering. John Wiley and Sons, New York.

SOUZA, D. C. (2000). Padrões de diversidade α e β da assembleia de macrófitas aquáticas em diferentes escalas espaciais no reservatório de Itaipu. 39 f., il. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais) – Departamento de Biologia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá.

STRASKRABA, M. & TUNDISI, J.G. (1999) Reservoir ecosystem functioning: theory and application. 565-597 p. In: TUNDISI, J.G & STRAŠKRABA, M. Theoretical reservoir ecology and its applications, São Carlos: ABC, IIE, Backhuys Publishers, 1999.

SVERDRUP, H. U. & MUNK, W. H. (1946). Empirical and theoretical relations between wind, sea and swell, *Trans. Am. Geophys. Union*, 27, 823–827.

SVERDRUP, H.U. & MUNK, W.H. (1947). Wind, sea and swell: Theory of relations for forecasting. Publication 601, Hydrographic Office, U.S. Navy, 50 pp.

TAKESHI UJI., (1984). A coupled discrete wave model MRI-II. *Journal of the Oceanographical Society of Japan* 40:4, 303-313.

THEMAG ENGENHARIA E GERENCIAMENTO, (1996). EIA/RIMA da UHE de Lajeado, São Paulo.

THOM, H. C. S. (1973). Extreme wave height distributions over oceans. *Journal of Waterways, Harbors and Coastal Engineering*. 99: 355-373.

THOMAS, J. P. (1988). Retrieval of energy spectrum from measured data for assimilation into a wave model. *Quart. J. Royal Met. Soc.*, 114, 781–800.

THOMAZ, S. M. & BINI, L. M. (1999). A expansão das macrófitas aquáticas e implicações para o manejo de reservatórios: um estudo na represa de Itaipu. In: HENRY, R. (Ed.). *Ecologia de reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais*. Botucatu: FUNDIBIO; São Paulo: FAPESP, 1999. cap. 20, p. 597-626.

TOLDO JR., E. E. (1994). Sedimentação, predição do padrão de ondas e dinâmica sedimentar da antepraia e zona de surfe do sistema lagunas da Lagoa dos Patos, RS. Porto Alegre. 178 p. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

TOLDO JR., E. E. ; DILLENBURG, S.R. ; CORRÊA, I. C. S. ; ALMEIDA, L. E. S. B. (2000). Holocene Sedimentation in Lagoa dos Patos Lagoon, Rio Grande do Sul, Brazil. *Journal of Coastal Research*, 16(3): 816-822.

TOLMAN, H. L. (1991). A third-generation model for wind on slowly varying unsteady and inhomogeneous depths and currents, *J. Phys. Oceanogr.*, 21, 782-797.

TOLMAN, H. L. (1999). User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 1.18. NOAA / NWS / NCEP / OMB Technical Note 166, 110 pp.

TOLMAN, H. L. (2009). User manual and system documentation of WAVEWATCH III version 3.14. NOAA / NWS / NCEP / MMAB Technical Note 276, 194 pp.+ Appendices.

TOLMAN, H. L. (1997). User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 1.15. NOAA / NWS / NCEP / OMB Technical Note 151, 97 pp.

TOLMAN, H. L. (1999). User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 1.18. NOAA / NWS / NCEP / OMB Technical Note 166, 110 pp.

TUCKER, M. J. (1993). Recommended standard for wave data sampling and near-real-time processing. *Ocean Engineering*, 20, 459–474.

U.S. ARMY COASTAL ENGINEERING RESEARCH CENTER (1966). *Shore Protection Manual*. Third Edition, Volume 1. Washington, D.C.: Department of the Army Corps of Engineers.

_____ (1973). *Shore Protection Manual*. Third Edition, Volume 1. Washington, D.C.: Department of the Army Corps of Engineers.

_____ (1984). *Shore Protection Manual*. Third Edition, Volume 1. Washington, D.C.: Department of the Army Corps of Engineers.

U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS, (1966). *Coastal Engineering Manual (CEM)*, Engineer Manual 1110-2-1100, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, D.C. (6 vol.).

_____ (1984). Coastal Engineering Manual (CEM), Engineer Manual 1110-2-1100, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, D.C. (6 vol.).

_____ (2002). Coastal Engineering Manual (CEM), Engineer Manual 1110-2-1100, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, D.C. (6 vol.).

_____ (2008). Coastal Engineering Manual (CEM), Engineer Manual 1110-2-1100, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, D.C. (6 vol.).

U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS, (1966). Shore Protection, Planning and Design. Technical Report No. 4, 3rd ed., Coastal Engineering Research Center, Washington, D.C., 1966.

U.S. DEPT. OF AGRICULTURE, SOIL CONSERVATION SERVICE (1987). Riprap for slope protection against wave action. Washington, D.C.

UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR – BUREAU OF RECLAMATION (1973). Design of small dams. A water resources technical publication 2. ed. Rev. Washington.

VAN DEN BERG, M.S.; JOOSSE, W.; COOPS, H. (2003). A statistical model predicting the occurrence and dynamics of submerged macrophytes in shallow lakes in the Netherlands. *Hydrobiologia* 506-509: 611-623.

VON EINEM, J. AND GRANELI, W. (2010). Effects of fetch and dissolved organic carbon on epilimnion depth and light climate in small forest lakes in southern Sweden, *Limnol. Oceanogr.*, 55, 920–930, 2010.

WALSH, E. J.; HANCOCK, D. W.; HINES, D. E.; SWIFT, R. N. & SCOTT, J. F. (1989). Evolution of the Directional Wave Spectrum from Shoreline to Fully Developed. *Journal of Physical Oceanography*. Vol. 19, pp 52-73.

WAMDI group (1988). The WAM model – a third generation ocean wave prediction model, *J. Phys. Oceanogr.*, 18, 1775–1810.

WEISNER, S. E. B.; STRAND, J. A.; SANDSTEN, H. (1997). Mechanisms regulating abundance of submerged vegetation in shallow eutrophic lakes. *Oecologia* 109: 592-599.

WETZEL, R. G. (1990). Reservoir ecosystems: Conclusions and speculations. Pp. 227–238 in *Reservoir Limnology: Ecological Perspectives*, K. W. Thornton, B. L. Kimmel, and F. E. Payne, eds. New York: John Wiley & Sons.

WETZEL, R.G. (2001). *Limnology: Lake and River Ecosystems*, 3rd ed. Academic Press. New York: John Wiley & Sons.

WIEGEL, R. L.; NODA, E. K.; KUBA, E. M.; GEE, D. M. & TORNBERG, G. F. (1970). Water waves generated by landslides in reservoir, *J. of the Waterways and Harb. Div., Proc. of the Am. Soc. of Civ. Eng.* 96(WW2): 307–333.

WILSON, B.W. (1961). Deep water wave generations by moving wind systems. J. Waterways, Harbours and Coastal Engng. Division, ASCE, WW2, pp.113-141.

WHITHAM, G. B. (1974). Linear and nonlinear waves, Wiley, New York, 636 p

WITTMANN, P. A.; CLANCY, R. M. & METTLACH, T. (1995). Operational Wave Forecasting at Fleet Numerical Meteorology and Oceanography Center. Proceedings of the 4th International Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting, Banff, Alberta (available from Environment Canada, Atmospheric Environment Service, 4905 Dufferin Street, Downsview, Ontario), 1995, pp.335-342.

WOOD, D.J.; MUTTRAY, M. & OUMERACI, H. (2001). The SWAN model used to study wave evolution in a flume. Ocean Engineering, 28: 805-823.

WU, J. (1982). Wind-stress coefficients over sea surface from breeze to hurricane, J Geophys. Res., 87, C12, 9704-9706.

ZIJLEMA, M. & VAN DER WESTHUYSEN, A. J. (2005). On convergence behaviour and numerical accuracy in stationary SWAN simulations of nearshore wind wave spectra. Coastal Engineering, 52: 237-256.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Ábaco 20
Ação 9, 15, 17, 25, 33, 45, 51
Ação Do Vento 9, 33, 45, 51
Águas 9, 10, 12, 15, 17, 18, 19, 20, 22, 26, 38, 45, 50, 51, 55, 60
Águas Continentais 9, 10, 15, 45, 50, 51
Águas Interiores 19, 20, 45, 50
Águas Oceânicas 17, 18, 19, 38
Ajuste 16, 42, 43
Alcance Do Vento 17
Altura Da Onda 15, 18, 30, 45, 51
Ambiente 15, 47, 61, 63, 71
Análise 9, 12, 23, 30, 32, 50, 51, 52, 56, 60
Ângulo 21, 22, 23, 25, 26, 27, 46
Ano 11, 12, 19, 20, 22
Aplicações 12, 17
Área 12, 14, 22, 33, 35, 36, 37, 39, 40, 42, 56
Atmosféricas 17
Atrito 15
Avanço 15

B

Barlavento 18, 21, 23, 30, 46
Barros 6, 38, 42

C

Calcular 20
Campo 9, 12, 13, 15, 16, 18, 27, 30, 31, 33, 45, 48, 50, 51, 60
Campo De Vento 15, 45
Canais 20
Cartas Sinóticas 18

Celeridade 25
Ciência 17, 56, 71
Cisalhamento 25
Comparação 14, 27, 33, 43, 50, 55
Comportamento 13, 18, 51
Comprimento 9, 15, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 27, 29, 33, 36, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 50, 51
Computacional 10, 12, 13, 14, 45, 46, 50, 59
Conceito 9, 12, 14, 17, 19, 20, 23, 38, 50, 60, 61
Conclusões 14, 50, 51
Constante 17
Contato 7, 9, 15, 17, 22, 45
Controverso 9, 17
Corpo 9, 12, 15, 19, 20, 21, 23, 25, 30, 33, 34, 37, 38, 39, 40, 41, 44, 45, 46, 50
Corpo Hídrico 9, 20, 23, 30, 33, 34, 40, 44, 45, 50
Cosseno 21, 22, 23, 26
Costa 18
Creager 15
Curvatura 18

D

Dados 16, 42, 47, 55
Definição 9, 17, 25, 26
Dendrítico 12, 19, 34, 38, 46
Desvio 26, 28, 32, 50
Determinação 10, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 50,

59

Diagrama 39, 40

Dimensão 9, 17, 19, 25, 33, 35

Direção 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 33, 34, 42, 46, 47, 51

Direção Do Vento 17, 18, 21, 22, 46, 47, 51

Distância 18, 19, 27, 47

Duração 16

E

Efeito 9, 16, 19, 20, 38, 51, 52, 56, 59

Energia 15, 22, 25, 45, 46, 51, 55

Engenheiro 19, 20, 22, 25

Equações Paramétricas 15, 46, 50

Equivalente 14, 33, 35, 36

Ernestina 39, 42

Escala 9, 48

Espacial 15

Estratificação 15

Estrutura 46, 51, 61, 64

EUA 19

Exército 19

F

Fenômeno 9, 10, 15, 22, 25, 51

Fetch 7, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 50, 51, 59, 60, 61, 62, 63, 65

Fetch Efetivo 20, 21, 22, 38, 40, 42

Figura 17, 18, 19, 20, 21, 26, 28, 29, 30, 31, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 46, 47, 48, 49

Física 12, 15

Frente 17, 18

Frequência 51, 56

Fundo 9, 15, 25, 51

G

Gases 9, 15, 51, 59

Gerada 9, 17, 22, 30, 33, 38, 44, 45, 50, 58, 59, 61

Grau 22, 23, 26, 27, 46

H

Hidrodinâmica 15

I

Inferior 18, 22, 34, 46, 48

Influência 12, 13, 15, 19, 20, 23, 38, 39, 45, 60

Início 17, 20

Intensidade 15, 16, 17, 22, 32, 45, 50

Intensidade Do Vento 15, 50

Interiores 19, 20, 25, 26, 45, 50

Isóbara 18

Itaipu 23, 27, 35, 41, 42, 50, 52, 56, 59, 60, 63, 64

Itaparica 39, 42

J

Jesuína 38, 42

JONSWAP 15, 57

Jurumirim 34, 35, 42

L

Lago 9, 13, 15, 20, 33, 34, 35, 36, 38, 39, 41, 42, 46, 59, 60

Lagoa Dos Patos 36, 41, 42, 64

Largura 19, 20, 38

Laterais 17

Leste 18

Limitações 17

Linha 15, 17, 18, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 38, 40, 46

Líquido 15

Literatura 14, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 33

Livre 9, 15, 17, 19, 20, 22, 40, 46, 51

Localização 29, 30, 42

M

Magnitude 9, 18, 27, 33, 34, 44

Malha 30, 46, 47

Manual 23, 25, 30, 53, 63, 64, 65

Mapa 9, 10, 15, 30, 33, 37, 41, 42, 46, 49, 51

Margens 9, 15, 19, 20, 22, 28, 38, 45, 56

Material 15

Máximo 9, 12, 13, 14, 23, 27, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 50

Médio 23

Método 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 50

Método Rápido 9, 13, 14, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 50

Mistura 25

Modelo 9, 10, 12, 14, 17, 35, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 57, 60, 61, 62

Modelos Paramétricos 50

Molinos 36, 42

Morfologia 15

MS 27, 28, 30, 31, 32, 63

MSM 27, 28, 30, 31

Mudança 18, 56

N

Natural 15

Numérica 53, 54, 55, 58, 62, 66

Número 15, 22, 46, 51

O

Objetivo 12, 16, 40

Obra 8, 11

Observada 20

Oceânico 10, 19, 20, 22, 24, 26, 27, 38, 50

Onda 12, 15, 18, 21, 22, 30, 31, 32, 40, 44, 45, 51

Ondacad 10, 12, 13, 14, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51

Ontário 38, 42, 66

Ordem 23, 26, 32, 50

P

Palmital 39, 42

Paramétrica 9, 12, 15, 44, 45, 46, 50, 51, 56

Parâmetro 9, 15

Perímetro 37

Período 11, 12, 16, 25, 44, 51

Pesquisa 12, 19, 54, 60, 63, 71

Pista De Vento 17

Ponto 18, 20, 21, 23, 30, 46, 56

Potência 9, 23, 45, 50

Prática 12, 19

Previsão 10, 12, 17, 45, 50, 60, 61

Profundidade 25, 51

Propagação 25, 30, 51

Publicação 8, 22, 25

Q

Quadrada 14, 33, 34, 36, 42

Quilômetro 18

R

Raio 14, 35, 36
Raio Equivalente 14, 35, 36
Raiz 14, 33, 34, 36, 42
Rápido 9, 12, 13, 14, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 50, 51
Rasa 25, 51
Razão 14, 21, 31, 36, 37
Realidade Física 15
Recomendações 14, 50, 51
Relativo 28
Representa 9, 17, 25, 27, 29, 33, 34, 45, 46, 48, 50
Reservatório 9, 10, 13, 15, 20, 23, 27, 28, 29, 30, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 45, 46, 47, 48, 50, 52, 53, 54, 56, 58, 59, 60, 61, 63, 64
Ressuspensão 15, 51, 60
Resultados 8, 12, 15, 19, 23, 26, 27, 30, 33, 34, 35, 36, 45, 48, 50, 51
Reta 17, 18, 23, 38, 40, 46
Retorno 16

S

Saint Claire 34, 37, 41
Salto Caxias 34, 35, 42
Salto Santiago 39, 42
San Roque 33, 34, 42
Saville 10, 14, 19, 20, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 33, 34, 38, 41, 46, 47, 62
Sensibilidade 14, 20, 26, 30, 52
Simulação 12, 17
Sinuoso 19, 34, 38
SMB 15, 30, 31
Sólido 15

Soprar 17

Sotavento 28, 30

Spm30 23

Sul 27, 35, 50, 54

Superfície 9, 10, 14, 15, 17, 18, 19, 20, 22, 29, 30, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 40, 45, 46, 61

Superfície Da Água 9, 15, 17, 22, 45

T

Tabela 22, 27, 31, 33, 34, 35, 36, 37, 41, 42

Técnica 20, 25, 51, 52, 54, 63

Tempo 10, 12, 17, 26

Tensões 15, 25

Texoma 35, 41, 42, 46

Traçada 15, 46

Transferência 15, 45

Transporte 9, 15

Transporte De Sedimentos 15

Três Marias 42

U

Unidade 19

Uniforme 15, 22

V

Variáveis 15, 26, 46

Velocidade 12, 30, 31

Vento 9, 10, 12, 13, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 28, 30, 31, 32, 33, 38, 44, 45, 46, 47, 48, 50, 51, 52, 56, 58, 59, 60, 61

Vossoroca 37, 40, 42, 47, 48

W

Wolf 15

SOBRE O AUTOR

Marcelo Marques

É Professor da Universidade Estadual de Maringá, doutor em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental pela Universidade Federal do Paraná e mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Meio Ambiente pela UNESP, campus de Ilha Solteira, realizando o estágio de docência e parte das atividades de mestrado na COPPE-UFRJ. Especialista em hidráulica pela Universidad Internacional de Andalucia (UNIA), Espanha e especialista em Geoprocessamento pela UEM. Graduado em Engenharia Civil pela UEM. Coordena o Núcleo de Pesquisa em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (NUPEHIDRO). Atua nas grandes áreas de Engenharia, Ciências Exatas e da Terra e Multidisciplinar. Conheça mais sobre os trabalhos desenvolvidos acessando: www.marcelomarques.com



Fetch em Lagos e Reservatórios

www.bookerfield.com



contato@bookerfield.com



[@bookerfield](https://www.instagram.com/bookerfield)



[Bookerfield Editora](https://www.linkedin.com/company/bookerfield)



Fetch em Lagos e Reservatórios

www.bookerfield.com 

contato@bookerfield.com 

[@bookerfield](https://www.instagram.com/bookerfield) 

Bookerfield Editora 

ISBN 978-658992937-6

