

**Jorge González Aguilera
Alan Mario Zuffo
(Organizadores)**

Ciências Exatas e da Terra e a Dimensão Adquirida através da Evolução Tecnológica 4



Jorge González Aguilera

Alan Mario Zuffo

(Organizadores)

Ciências Exatas e da Terra e a Dimensão Adquirida através da Evolução Tecnológica 4

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Executiva: Prof^a Dr^a Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Karine de Lima
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^a Dr^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof^a Dr^a Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof^a Dr^a Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof.^a Dr.^a Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof.ª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof.ª Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof.ª Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
C569	Ciências exatas e da terra e a dimensão adquirida através da evolução tecnológica 4 [recurso eletrônico] / Organizadores Jorge González Aguilera, Alan Mario Zuffo. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. – (Ciências Exatas e da Terra e a Dimensão Adquirida Através da Evolução Tecnológica; v. 4) Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-475-7 DOI 10.22533/at.ed.757191107 1. Ciências exatas e da terra – Pesquisa – Brasil. 2. Tecnologia. I. Aguilera, Jorge González. II. Zuffo, Alan Mario CDD 509.81
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “*Ciências Exatas e da Terra e a Dimensão Adquirida através da Evolução Tecnológica vol. 4*” aborda uma publicação da Atena Editora, apresenta, em seus 22 capítulos, conhecimentos tecnológicos e aplicados as Ciências Exatas e da Terra.

Este volume dedicado à Ciência Exatas e da Terra traz uma variedade de artigos que mostram a evolução tecnológica que vem acontecendo nestas duas ciências, e como isso tem impactado a vários setores produtivos e de pesquisas. São abordados temas relacionados com a produção de conhecimento na área da matemática, química do solo, computação, geoprocessamento de dados, biodigestores, educação ambiental, manejo da água, entre outros temas. Estas aplicações visam contribuir no aumento do conhecimento gerado por instituições públicas e privadas no país.

Aos autores dos diversos capítulos, pela dedicação e esforços sem limites, que viabilizaram esta obra que retrata os recentes avanços científicos e tecnológicos nas Ciências Exatas e da Terra, os agradecimentos dos Organizadores e da Atena Editora.

Por fim, esperamos que este livro possa colaborar e instigar mais estudantes e pesquisadores na constante busca de novas tecnologias para a área da Física, Matemática, e na Agronomia e, assim, contribuir na procura de novas pesquisas e tecnologias que possam solucionar os problemas que enfrentamos no dia a dia.

Jorge González Aguilera
Alan Mario Zuffo

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ANÁLISIS DE LAS CÉLULAS DE OSTEOSARCOMA CANINO SUPERVIVENCIA DESPUÉS DE LA IRRADIACIÓN CON EQUIPAMIENTO DE COBALTO	
Paula de Sanctis Brunno Felipe Ramos Caetano Luis Maurício Montoya Flórez Valéria Barbosa de Souza Luís Fernando Barbisan Marco Antônio Rodrigues Fernandes Ramon Kaneno Rogério Antônio de Oliveira Willian Fernando Zambuzzi Noeme Sousa Rocha	
DOI 10.22533/at.ed.7571911071	
CAPÍTULO 2	15
AVALIAÇÃO COMPUTACIONAL DE INTERAÇÕES ENTRE AS PROTEÍNAS M E M2-1 DO VÍRUS SINCICIAL RESPIRATÓRIO HUMANO (HRSV) E RIBAVIRINA	
Ernesto Tavares Neto Leandro Cristante de Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.7571911072	
CAPÍTULO 3	23
ENCAPSULAMENTO DE NANOPARTÍCULAS FERROMAGNÉTICAS EM MATRIZ EPOXÍDICA PARA O TRATAMENTO DE HEPATOCARCINOMA	
Bruno de Vasconcellos Averaldo Hangai Alexandre Zirpoli Simões	
DOI 10.22533/at.ed.7571911073	
CAPÍTULO 4	38
ESTUDO QUÍMICO DO EXTRATO CLOROFÓRMICO DAS FOLHAS DA <i>Annona muricata</i> L.	
Maria Luiza da Silva Pereira Karoline Pereira Ribeiro	
DOI 10.22533/at.ed.7571911074	
CAPÍTULO 5	48
MÉTODO SIMPLIFICADO PARA CALCULAR A ROTAÇÃO DO SOL	
Matheus Leal Castanheira Dietmar Willian Foryta	
DOI 10.22533/at.ed.7571911075	
CAPÍTULO 6	55
MONITORAMENTO AMBIENTAL DOS FOCOS DE QUEIMADAS NO ESTADO DE ALAGOAS PARA OS ANOS DE 2015 E 2016	
Esdras de Lima Andrade Whendel Cezar Silva de Couto Daniel Nivaldo da Conceição Alex Nazário Silva Oliveira Elizangela Lima de Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.7571911076	

CAPÍTULO 7	64
MONITORAMENTO DE IMPACTOS AMBIENTAIS PÓS-IMPLANTAÇÃO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS SANITÁRIOS E AÇÕES CORRELATAS DO ÓRGÃO AMBIENTAL FISCALIZADOR	
Poliana Arruda Fajardo	
DOI 10.22533/at.ed.7571911077	
CAPÍTULO 8	74
OSCILADOR HARMÔNICO: MODELO PARA A DESCRIÇÃO DE SISTEMAS FÍSICOS EM EQUILÍBRIO ESTÁVEL SOFRENDO PEQUENAS OSCILAÇÕES	
Pedro Henrique Ferreira de Oliveira João Philipe Macedo Braga	
DOI 10.22533/at.ed.7571911078	
CAPÍTULO 9	86
PALAVRAS CRUZADAS: UMA FERRAMENTA LÚDICA NO ENSINO DE MATEMÁTICA E DAS CIÊNCIAS DA NATUREZA	
Osmar Luís Nascimento Gotardi Andréa Martini Ribeiro Fernanda Marchiori Grave Letícia Cristiane Malakowski Heck Mario Victor Vilas Boas	
DOI 10.22533/at.ed.7571911079	
CAPÍTULO 10	102
QUANTIFICAÇÃO DE P-FENILENODIAMINA (PPD) EM FORMULAÇÃO DE CORANTE PERMANENTE DE CABELO	
Maria Letícia Mendes Soares Thamiris Costa dos Santos Carolina Venturini Uliana Mariele Mucio Pedroso Hideko Yamanaka	
DOI 10.22533/at.ed.75719110710	
CAPÍTULO 11	111
RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DIRETO DO POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)	
Mariana Basolli Borsatto Beatriz Garcia Silva Paulo César Lodi Rogério Custódio Azevedo Souza Bruna Rafaela Malaghini Caio Henrique Buranello dos Santos	
DOI 10.22533/at.ed.75719110711	

CAPÍTULO 12	121
SAÚDE E SEGURANÇA DO TRABALHO PARA O DESENVOLVIMENTO SEGURO DE BIOPROCESSOS	
Milson dos Santos Barbosa Lays Carvalho De Almeida Isabelle Maria Duarte Gonzaga Aline Resende Dória Luma Mirely Souza Brandão Isabela Nascimento Souza Débora da Silva Vilar Juliana Lisboa Santana Priscilla Sayonara de Sousa Brandão	
DOI 10.22533/at.ed.75719110712	
CAPÍTULO 13	129
SÍNTESE DOS NÍVEIS INTERPRETANTES DAS ESTAÇÕES DO ANO APRESENTADOS POR FUTUROS PROFESSORES DE CIÊNCIAS	
Daniel Trevisan Sanzovo Carlos Eduardo Laburú	
DOI 10.22533/at.ed.75719110713	
CAPÍTULO 14	140
SISTEMA DE CONTROLE EMPREGANDO TECNOLOGIA RFID	
Felipe de Carvalho Forti Alexandre César Rodrigues da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.75719110714	
CAPÍTULO 15	150
TÉCNICAS DE MEDIÇÃO BASEADAS NA FUNÇÃO DE RESPOSTA EM FREQUÊNCIA PARA DETECÇÃO DE DANO BASEADA NA IMPEDÂNCIA ELETROME CÂNICA	
Guilherme Silva Bergamim Caio Henrique Rodrigues	
DOI 10.22533/at.ed.75719110715	
CAPÍTULO 16	164
TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO APLICADAS À MINERAÇÃO NA REGIÃO SEMIÁRIDA DO SERIDÓ POTIGUAR	
Paulo Sérgio de Rezende Nascimento	
DOI 10.22533/at.ed.75719110716	
CAPÍTULO 17	180
UM ESTUDO SOBRE ANÉIS LOCAIS	
Brendol Alves Oliveira Gomes Eliris Cristina Rizzioli	
DOI 10.22533/at.ed.75719110717	
CAPÍTULO 18	192
UMA VISÃO GERAL DE FRAMEWORKS PHP POPULARES PARA PROGRAMAÇÃO WEB	
Lilian N A Lazzarin Leandro do Nascimento dos Anjos João Florentino da Silva Junior	
DOI 10.22533/at.ed.75719110718	

CAPÍTULO 19	202
UM PANORAMA DA QUALIDADE DA INTERNET BANDA LARGA NA REGIÃO DO MATO GRANDE	
Igor Augusto De Carvalho Alves	
Hellen Adélia Oliveira Da Cruz	
Maria De Lourdes Assunção Soares Dantas Fonseca	
DOI 10.22533/at.ed.75719110719	
CAPÍTULO 20	216
USO DE SUPPORT VECTOR MACHINE EM AMBIENTE SUBTERRÂNEO: APLICAÇÃO EM POÇO DE MONITORAMENTO PARA REGRESSÃO DE DADOS DE NÍVEL DE ÁGUA	
Thiago Boeno Patricio Luiz	
Guilherme de Freitas Gaiardo	
José Luiz Silvério da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.75719110720	
CAPÍTULO 21	229
UTILIZAÇÃO DA DIFRAÇÃO DE RAIOS X NA CARACTERIZAÇÃO DO HIDRÓXIDO DUPLO LAMELAR (HDL) MG/AL E SEU EFEITO MEMÓRIA	
Victor De Aguiar Pedott	
Elton Luis Hillesheim	
Iemedelais Bordin	
Rogério Marcos Dallago	
Marcelo Luís Mignoni	
DOI 10.22533/at.ed.75719110721	
CAPÍTULO 22	237
UTILIZAÇÃO DE SIMULAÇÕES NUMÉRICAS PARA ESTUDO DE ONDAS OCEÂNICAS	
Matheus José de Deus	
Mateus das Neves Gomes	
DOI 10.22533/at.ed.75719110722	
SOBRE OS ORGANIZADORES	242

USO DE SUPPORT VECTOR MACHINE EM AMBIENTE SUBTERRÂNEO: APLICAÇÃO EM POÇO DE MONITORAMENTO PARA REGRESSÃO DE DADOS DE NÍVEL DE ÁGUA

Thiago Boeno Patricio Luiz

Universidade Federal de Santa Maria
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Santa Maria – Rio Grande do Sul

Guilherme de Freitas Gaiardo

Universidade Federal de Santa Maria
Programa de Pós-Graduação em Ciência da
Computação
Santa Maria – Rio Grande do Sul

José Luiz Silvério da Silva

Universidade Federal de Santa Maria
Departamento de Geociências
Santa Maria – Rio Grande do Sul

RESUMO: Nas últimas décadas, o significativo desenvolvimento da técnica de Support Vector Machine (SVM) vem ganhando espaço em aplicações de problemas práticos de regressão e classificação de dados. No campo da hidrologia, essa técnica apresenta boas performances para algumas tarefas e seu desempenho tem sido satisfatório em diversos estudos científicos. Usando dados coletados em um poço de monitoramento, uma metodologia para previsão do nível de água subterrânea foi desenvolvida usando um algoritmo de regressão baseado em SVM. A partir da estruturação de um modelo empírico guiado por dados climatológicos, aplicou-se o método para

simular o comportamento dos níveis freáticos a fim de projetá-los alguns passos à frente. O uso da metodologia mostrou grande precisão para estimar os níveis de água subterrânea utilizando as variáveis de nível e de precipitação pluviométrica. Os resultados da pesquisa apontam que técnicas computacionais para análise, desenvolvimento e implementação de modelos em sistemas subterrâneos dinâmicos complexos, são abordagens que apresentam ótimo desempenho para a finalidade de predição das oscilações dos níveis de água subterrânea em aquíferos livres.

PALAVRAS-CHAVE: Água subterrânea. Lençol freático. Recursos hídricos.

USE OF SUPPORT VECTOR MACHINE IN UNDERGROUND ENVIRONMENT: APPLICATION IN MONITORING WELL FOR REGRESSION OF WATER LEVEL DATA

ABSTRACT: Over the last decades, significant development on Support Vector Machine (SVM) has been made. The technique has been applied to solve many practical problems on data regression and classification. In hydrology field, this technique presents good performance for some tasks and has proven satisfactory in several scientific studies. Using data collected on a monitoring well, a methodology for groundwater level prediction has been developed using a

SVM based regression algorithm. From the structuring of an empirical model guided by climatological data, the method was applied to simulate the behavior of the water table in order to forecast them some steps ahead. The results show great precision to estimate the levels of groundwater using previous levels and rainfall variables. The results of the research indicate that computational techniques for the analysis, development and implementation of models in complex dynamic underground systems are approaches that present optimum performance for the purpose of predicting the oscillations of groundwater levels in unconfined aquifers.

KEYWORDS: Groundwater. Water-table. Water resources.

1 | INTRODUÇÃO

O monitoramento dos níveis de água nos mananciais subterrâneos é elemento indispensável para o controle e a manutenção das políticas relativas aos recursos hídricos. Esses recursos são importantes fontes de abastecimento de água para diversas atividades em todo mundo. No Brasil, muitos municípios utilizam exclusivamente águas subterrâneas para garantir o fornecimento de água doce para a população. De acordo com dados da Agência Nacional de Águas (ANA) (ANA, 2010), cerca de 2073 municípios brasileiros utilizam exclusivamente águas subterrâneas para o abastecimento público, os quais estão distribuídos por diferentes domínios geológicos do território nacional.

No território do Rio Grande do Sul, a utilização de águas subterrâneas em termos quantitativos é bastante significativa, principalmente para atividades de abastecimento doméstico, industrial e para fins irrigação de culturas. A natureza das atividades econômicas do Estado, aliada à presença de dois grandes e importantes sistemas aquíferos - o Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) e o Sistema Aquífero Guarani (SAG) - fazem com que a exploração de água subterrânea se torne vantajosa em muitos municípios gaúchos.

A gestão dos recursos hídricos subterrâneos possui um papel importante para o desenvolvimento social e econômico do Rio Grande do Sul, tendo em vista a crescente demanda para as áreas de irrigação, indústria e abastecimento público. Por consequência, o controle e o monitoramento quali-quantitativo desses recursos minerais são assuntos primordiais para os órgãos públicos responsáveis por assegurar o correto uso da água entre a sociedade. A extração acima da capacidade de reposição de água subterrânea em aquíferos pode acarretar, entre outros, na redução sensível das descargas aquíferas, nos volumes de lagoas e do fluxo de base de rios além de comprometer as características ambientais de sistemas lacustres, brejos e pântanos (FEITOSA et al., 2008).

A informação do nível das águas subterrâneas é um dos principais indicadores para estimar a sua quantidade. O conhecimento da profundidade do lençol freático em bacias hidrográficas é de interesse, principalmente em projetos e estudos que

envolvem aspectos de drenagem, fluxos de águas subterrâneas e avaliações de riscos ambientais.

Dessa forma, a simulação e a predição dos níveis freáticos de água em aquíferos livres, com bom grau de confiança, podem trazer grandes vantagens para a elaboração de cenários que sejam capazes de fornecer informações relevantes para gestão da água, constituindo um meio para realizar estimativas dos dados de nível.

Em um sistema aquífero, estimativas de dados de nível podem ser encaradas como um problema de regressão de dados. A variável resposta (nível de água) está condicionada, necessariamente, às variáveis de entrada (elementos hidrológicos e climatológicos). Nesse contexto, abordagens que utilizam algoritmos computacionais para previsão podem fornecer boas estimativas de níveis de água, contribuindo com o desenvolvimento de metodologias para o seu correto manejo.

Por fim apresenta-se a aplicação da técnica de SVM em dados de níveis de água subterrânea e precipitação pluviométrica, em um poço de monitoramento, buscando a previsão dos seus níveis. Assim, metodologias que ofereçam suporte às tomadas de decisão por parte da sociedade quanto à gestão dos recursos hídricos subterrâneos são importantes, pois disponibilizam ferramentas capazes de estimar a ocorrência de situações críticas e contribuem com o fornecimento de dados para o estabelecimento de planos para a conservação e uso sustentável da água subterrânea.

2 | BASE TEÓRICA DO SVM

As Support Vector Machines (SVM) foram propostas originalmente por Vapnik (1995; 1998), sendo parte do estudo de Teoria do Aprendizado Estatístico. Seu uso demonstrou resultados satisfatórios em diversas aplicações, como reconhecimento de imagens (GAO et al., 2001; SUN et al., 2002), classificação de tráfego da internet (LI et al., 2007), classificação de batimentos cardíacos (KAMPOURAKI et al., 2009), sistemas de transportes inteligentes (WU et al. 2004), entre outros.

SVM se baseia na ideia de um hiperplano separador que consiga maximizar a margem entre dois conjuntos de dados (PRADHAN, 2012). Para isso, os atributos utilizados para predição são mapeados para um espaço dimensional maior utilizando uma função $K(x)$, chamada função de *kernel*. A ideia é que ao fazer o mapeamento para esse espaço maior, seja possível encontrar um hiperplano (função linear) que separe os conjuntos que não eram separáveis linearmente em seu espaço original.

A Figura 1 ilustra o conceito de plano separador máximo para dados em 2D. Pode haver infinitos planos que separam linearmente os pontos, porém apenas um plano oferece a distância máxima entre os três vetores de suporte (pontos A, B e C).

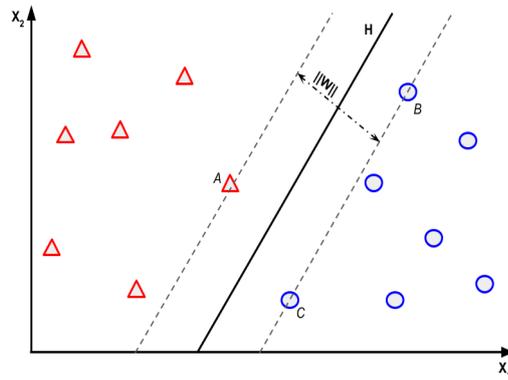


Figura 1 - Plano separador máximo para dados em 2D.

O cálculo do hiperplano H é feito minimizando a seguinte função (1):

$$C(W) = \frac{1}{2} ||W||^2 \quad (1)$$

Sujeito a $Y_i (\bar{W} * \bar{x}_i - b) \geq 1$, para todo $i = 0, 1, \dots, n$.

A Figura 2 demonstra a capacidade da função de *kernel* $K(x)$ em transformar os dados de forma não linear. Este efeito é produzido substituindo a operação de produtos internos pela função de *kernel*. O resultado é um hiperplano que no espaço original não é linear e, portanto, capaz de separar os dados.

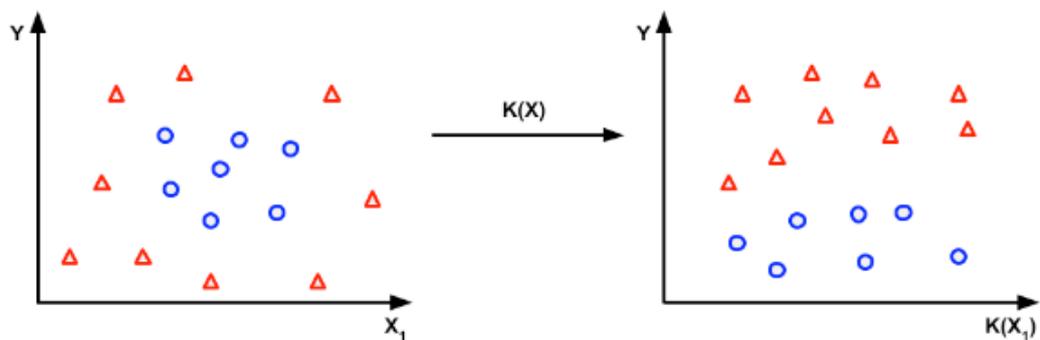


Figura 2 - Aplicação da função de *kernel* $K(x)$ em um conjunto de dados.

Alguns exemplos de função de *kernel* são:

- Polinomial: $k(\bar{x}_i, \bar{x}_j) = (\bar{x}_i * \bar{x}_j + 1)^d$
- Função de Base Radial Gaussiana: $k(\bar{x}_i, \bar{x}_j) = \exp(-t ||\bar{x}_i - \bar{x}_j||^2)$
- Tangente Hiperbólica: $k(\bar{x}_i, \bar{x}_j) = \tanh(q\bar{x}_i * \bar{x}_j + c)$

A generalização para uso em regressões utiliza o mesmo princípio, apenas estendido para que o hiperplano seja o que melhor se encaixe nos dados delimitados pelos vetores de suporte. O hiperplano pode ser expresso na forma (2), onde \bar{W} é um

vetor de pesos.

$$\mathbf{f}(\mathbf{x}) = \overline{\mathbf{W}} * \bar{x} + \mathbf{b} \quad (2)$$

Para determinar a função, Vapnik (1995) propôs o seguinte problema de otimização: minimizar $\|b, \xi, \xi^*$ em (1). Nesta formulação existe o parâmetro ε que é o erro máximo permitido para as estimativas. As variáveis de folga, ξ e ξ^* permitem erros na função. Isso consente que sempre exista uma solução para o problema de minimização, mesmo que existam casos onde a restrição de ε não é respeitada. $C \geq 0$ é uma constante que determina o quão plana será a função e a quantidade que os desvios maiores que ε podem ser tolerados

3 | APLICAÇÕES DE SVM NA ÁREA DA HIDROLOGIA

Os modelos baseados em SVM são empíricos, ou seja, são baseados nos dados de entrada, obedecendo a uma determinada formulação estabelecida como resposta ao problema de regressão. Neste tipo de abordagem, a técnica utiliza os inputs amostrais para generalizar uma saída, a qual representa uma decisão que foi guiada pelos dados, ao invés de seguir instruções pré-programadas. Na literatura, frequentemente utiliza-se a expressão “técnicas guiadas por dados” (*data-driven techniques*) os quais utilizam processos que são muitas vezes desconhecidos e, por isso, são considerados como modelos do tipo caixa preta.

As vantagens da utilização de modelos baseados em algoritmos computacionais e na teoria de aprendizagem estatística (VAPNIK, 1995; 1998), vêm sendo verificadas em uma variedade de campos da hidrologia. Metodologias que utilizam técnicas computacionais têm sido amplamente utilizadas para predições de dados pluviométricos, regimes de vazões, evapotranspiração, níveis de lagos e de reservatórios (HIPEL; MCLOUD, 1994; DIBIKE et al., 2001; ASEFA et al., 2006; LIN et al., 2006; KHAN; COULIBALY, 2006; TRIPATHI et al., 2006; BEHZAD et al., 2009; RAGHAVENDRA; DEKA, 2014).

Vários modelos foram desenvolvidos por pesquisadores para simular os processos de precipitação pluviométrica e escoamento. Dibike et al. (2001) investigaram o potencial do SVM para modelar o escoamento de base em bacias hidrográficas com base em entradas de chuva, estabelecendo um modelo chuva-vazão utilizando essa técnica.

Tripathi et al. (2006), demonstraram uma abordagem de SVM para a previsão da precipitação em escala de tempo mensal. A técnica de propagação reversa multicamadas baseadas em SVM, aliado a um modelo climático global provaram ser superiores às redes neurais artificiais convencionais para a condução de estudos de impacto climático. Eles concluíram que a metodologia baseada em SVM era adequada para a tarefa de classificação e regressão, e seu bom desempenho de generalização

na captura de relações de regressão entre os dados foram satisfatórios.

Misra et al. (2009) enfatizaram o uso de SVM para simular a vazão e sedimentos de uma bacia hidrográfica. Eles simularam o escoamento em escala diária, semanal e mensal e o aporte de sedimentos usando um algoritmo de reconhecimento de padrões baseado em SVM e o compararam com modelos compostos por redes neurais. A partir dessa comparação, eles observaram uma performance significativamente maior no desempenho do modelo de SVM proposto em comparação com o de redes neurais.

No campo da hidrologia subterrânea, metodologias baseadas SVM têm produzido resultados relevantes para a simulação de séries temporais de níveis de água subterrânea. A utilização deste tipo de metodologia tem sido utilizada para a previsão de dados piezométricos em diferentes contextos geológicos como em Yoon et al. (2011), Shirmohammadi et al. (2012) e Shiri et al. (2013), Gong et al., 2016, Gong et al., 2018, Luiz et al. (2018a), Luiz et al. (2018b).

Yoon et al. (2011), apresentaram uma comparação entre dois modelos não lineares para previsão de níveis de água subterrânea baseados em técnicas de redes neurais e máquinas de vetores de suporte. Este trabalho teve particular importância para o estudo da água subterrânea usando algoritmos computacionais, pois demonstrou que em alguns casos os modelos de redes neurais podem atingir elevados graus de incerteza.

Outra abordagem que tem sido utilizada para o estudo de séries temporais de água subterrânea são os modelos híbridos, os quais são compostos por uma combinação métodos estocásticos e computacionais ou entre diferentes métodos computacionais. Destacam-se os trabalhos de Gong et al. (2016) e Gong et al. (2018), que demonstraram obter melhoria no desempenho de suas previsões a partir de abordagens combinadas entre diferentes técnicas, incluindo às de SVM.

No Brasil, técnicas comparativas entre métodos computacionais foram apresentadas em Luiz et al. (2018b) os quais apresentaram bons ajustes em um modelo composto por dados de nível e precipitação no município de Itaara no Rio Grande do Sul. No município de Itaqui, um particular estudo de caso utilizando um modelo baseado na técnica SVM foi executado com ótimo desempenho por Luiz et al. (2018a), demonstrando alta acurácia e aplicabilidade.

4 | ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE ITAQUI

4.1 Localização da área e dados utilizados

O poço de monitoramento utilizado para aplicação do algoritmo está representado na Figura 3. Localiza-se no município de Itaqui, oeste do estado do Rio Grande do Sul, sul do Brasil. O município de Itaqui possui uma extensão territorial de aproximadamente 3406 km², possuindo uma população de 38.159 pessoas (IBGE, 2010). A base da economia do município é a agropecuária, onde destacam-se a criação de animais e o

cultivo de arroz irrigado, a principal fonte econômica do município.



Figura 3 - Localização do poço de monitoramento no município de Itaqui/ RS.

Fonte: MACHADO; FREITAS (2005); RIMAS (2019); HIDROWEB (2018).

O poço tubular utilizado no estudo é de condição livre e está localizado em uma área sedimentar. Em parte do município de Itaqui, ocorre a Zona de Afloramentos do Sistema Aquífero Guarani (SAG), que são rochas porosas responsáveis pela recarga/descarga de água subterrânea (MACHADO; FREITAS, 2005).

O clima na região é definido segundo a classificação de Köppen como subtropical úmido, tipo CFa, caracterizado pela presença de invernos e verões bem definidos e inexistência de estação seca, com precipitações bem distribuídas em todos os meses do ano (ALVARES et al., 2013).

As precipitações pluviométricas médias anuais registradas para o município de Itaqui são de 1812 milímetros (ALVARES et al., 2013), todavia os totais anuais dos anos 2011, 2012 e 2013 registradas pela estação pluviométrica do município operada pela Agência Nacional das Águas (ANA) variaram entre 1248 e 1905 milímetros.

O poço de monitoramento em estudo possui 40,5 metros de profundidade, em uma cota topográfica de 107,06 metros acima do nível do mar. Seu perfil litológico (Figura 4) compreende camadas intercaladas de arenitos finos a médios, sendo considerado um poço com nível freático raso, com alta porosidade.

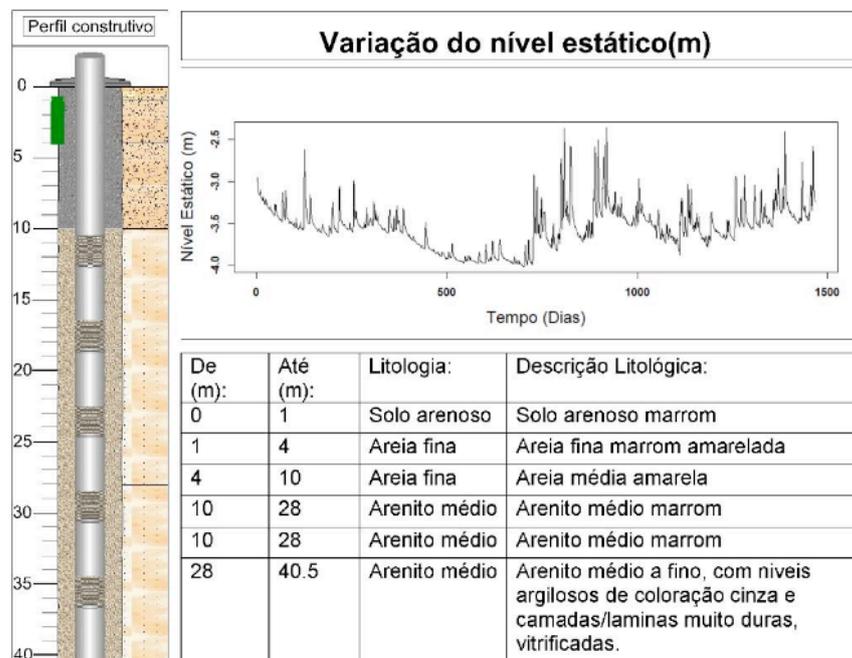


Figura 4 - Perfil litológico e série de níveis do poço de monitoramento em Itaqui/RS.

Fonte: Adaptado de RIMAS (2019).

Este poço está localizado na bacia do rio Ibicuí, numa região onde ocorrem feições de encostas e planícies fluviais. A litologia do poço de monitoramento é composta por rochas sedimentares e clásticas aflorantes, constituídas por arenitos formadores de aquíferos porosos, intergranulares e livres pertencentes à Zona de Afloramento do SAG.

Na Figura 4, apresenta-se também, a variação diária monitorada do nível estático de água subterrânea ao longo de aproximadamente 4 anos (entre 2010 a 2014). Os dados dos níveis foram adquiridos através do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) por meio da Rede Integrada de Monitoramento de Águas Subterrâneas (RIMAS) (RIMAS, 2019).

4.2 Estrutura de programação empregada e estimadores utilizados

Para construção do modelo, foram utilizados como inputs amostrais os dados de nível estático e de precipitação pluviométrica, adquiridos junto à ANA, através do Sistema de Informações Hidrológicas (HIDROWEB) (HIDROWEB, 2018). Utilizou-se a ferramenta LIBSVM (CHANG; LIN, 2011), a qual possui uma interface de programação em Python (PYTHON SOFTWARE FOUNDATION, 2016), que foi a linguagem escolhida para o processamento das informações.

Os dados brutos de nível estático foram analisados a partir da aplicação da Função de Autocorrelação (FAC) e Função de Autocorrelação Parcial (FACP), procurando identificar a melhor estrutura de entrada para a série de nível a fim de realizar o treinamento (calibração) dos dados em SVM. Nesta etapa utilizou-se

aproximadamente 85% dos dados, reservando 15% da série histórica para a etapa de verificação, a fim de comparar o valor observado com o valor estimado pelo SVM no poço de monitoramento nesse período.

A partir da análise da FAC e FACP, foi escolhida a estrutura que utiliza os últimos 3 dias de nível estático e os 5 dias anteriores de chuva. O modelo com essa estrutura apresentou o melhor ajuste para realizar as previsões dos níveis de água subterrânea para esse poço de monitoramento.

Após calibrado, o modelo permite que sejam feitas previsões para tantos dias quanto necessário, onde o erro cometido durante o processo de previsão tende a acumular-se em cada iteração. As previsões foram traçadas para um intervalo de 120 e 180 dias, totalizando 4 e 6 meses que não foram considerados na calibração do modelo.

Para estimar os ajustes em cada etapa da modelagem bem como a eficiência do modelo, calcularam-se além do coeficiente de determinação (R^2), o coeficiente de Nash-Sutcliffe (CNS) buscando-se avaliar o poder preditivo do modelo proposto.

5 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Calibragem do modelo a partir das séries temporais

Deste modo, escolheu-se uma estrutura na ordem 3 do nível estático para realizar a calibração do modelo, ou seja, utilizou-se as medições dos 3 dias anteriores (h_{t-2} , h_{t-1} e h_t) do nível para compor a estrutura de entrada no SVM. Esta composição de entrada para a modelagem utiliza o valor dos 3 níveis anteriores ao dia que se deseja prever para formar a função classificadora, onde o algoritmo toma como base essas observações para estimar o próximo nível e, assim, sucessivamente. Na Figura 5 apresenta-se o ajuste obtido na calibragem, bem como a plotagem dos dados observados versus os preditos.

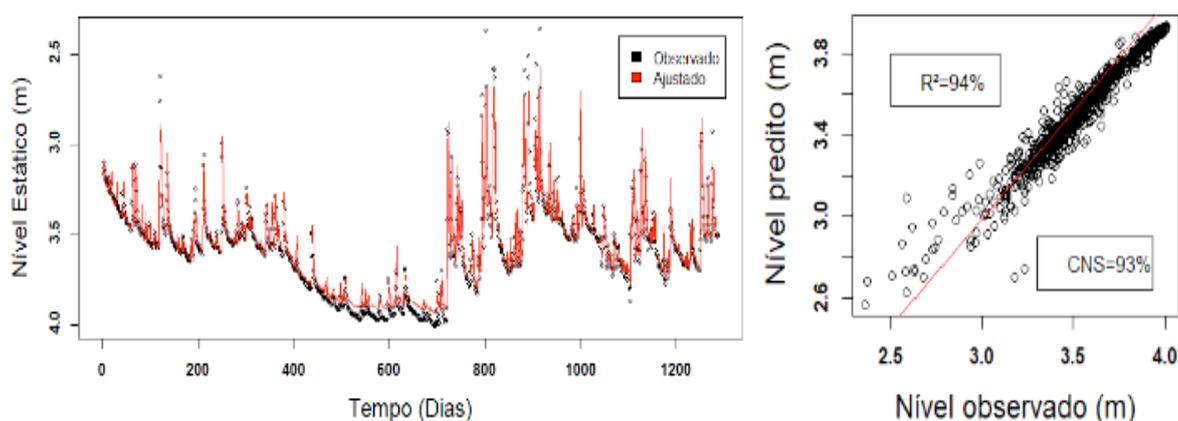


Figura 5 - Gráfico da calibração do modelo SVM nas séries de dados temporais.

Ao analisar os gráficos da Figura 5, percebe-se que o modelo ajustou-se

satisfatoriamente aos dados observados, obtendo um coeficiente de determinação de 94%, mostrando a eficiência deste procedimento para este trecho da série temporal. O valor do coeficiente permite inferir que o modelo ajustado tende a possuir um bom poder de previsão.

5.2 Previsão de dados e avaliação

Uma vez gerado o modelo de regressão por meio das séries históricas de nível de água e de precipitação utilizando a metodologia de SVM, partiu-se para a criação dos horizontes de 120 e 180 dias, estimando o h_{t+1} em cada iteração. Dessa forma, a partir do modelo calibrado, plotou-se na Figura 6 as previsões realizadas e os dados observados no mesmo período.

A partir dos dados preditos pelo modelo, apresentado nos gráficos da Figura 6, nota-se que os mesmos apresentam tendências de crescimento e decaimento semelhantes ao real medido no poço de monitoramento, ou seja, possuem boa aderência à série real observada. Os estimadores de erro para essa fase do estudo, em ambas simulações, apresentaram boas correlações, evidenciando alta margem de acerto pela técnica utilizada.

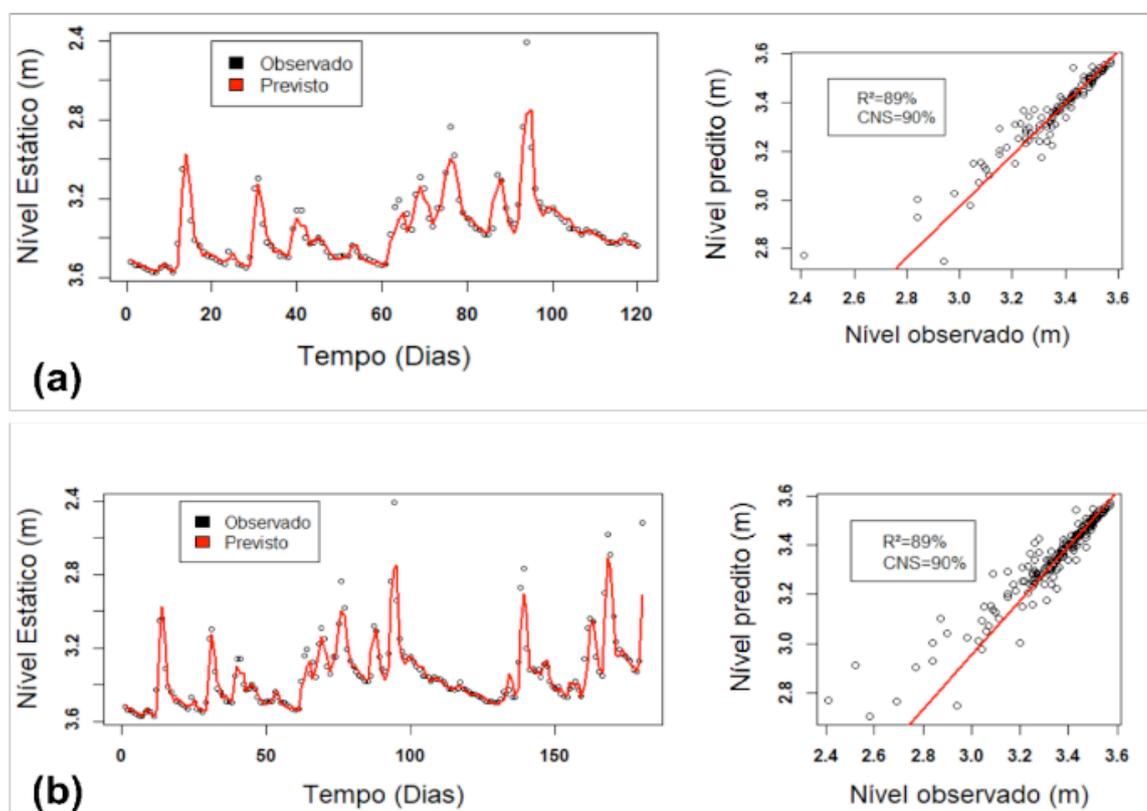


Figura 6 - Gráficos dos valores observados e previstos para períodos de 120 dias (a) e de 180 dias (b).

Os valores do R^2 e do CNS, obtidos tanto na etapa de calibração quanto na de previsão do modelo, foram identificados como adequados na medida em convergem para uma pequena medida de erro. É importante salientar que as metodologias baseadas

em autocorrelação de séries históricas induzem o conhecimento estritamente a partir dos dados utilizados para a calibração dos modelos. Valores com baixa recorrência de monitoramento ou mudanças bruscas nas escalas de valores ocasionadas por alterações climáticas constituem um ponto fraco para o uso deste tipo de abordagem.

Apesar de apresentar algumas limitações, que são inerentes a qualquer modelo teórico, o emprego da técnica de regressão/classificação baseado em SVM evidenciou algumas vantagens ao simular dados de nível estático e precipitação para fazer simulações e preenchimento de falhas em séries temporais de água subterrânea.

A metodologia permite realizar a integração de dados com outros poços ou utilizar mais estações pluviométricas no treinamento do modelo, podendo apresentar boas previsões dos níveis freáticos no contexto das bacias hidrográficas. Períodos de monitoramento mais longos ou a inserção de outras variáveis nas simulações, quando disponíveis, podem trazer aperfeiçoamentos na calibração do modelo e algum efeito aditivo na previsão.

6 | CONCLUSÕES

Algoritmos baseados em Vetores de Suporte demonstraram-se vantajosos para a simulação de dados de nível de água subterrânea em poço de monitoramento de aquífero livre. A metodologia empregada permitiu a obtenção de previsões consistentes a partir da precipitação e dos níveis de água anteriores.

Os resultados alcançados apresentaram um ótimo ajuste à série de dados, evidenciado pelos coeficientes de determinação (R^2) que atingiram 94% na calibração e 89% na fase de previsão para 120 e 180 dias.

Abordagens com a técnica SVM podem colaborar para o preenchimento de falhas em séries históricas, simular cenários de recargas ou descargas em bacias hidrográficas e na elaboração de estratégias que auxiliem na tomada de decisão no campo dos recursos hídricos subterrâneos.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS - ANA. **Atlas Brasil: Abastecimento urbano de água. Resultados por estado**, v. 2. Brasília: DF, 2010. 92 p.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES, G.; LEONARDO, J., SPAROVEK, G. **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift, v. 22, n.6, p. 711-728. 2013.

ASEFA, T. et al. **Multi-time scale stream flow predictions: the support vector machines approach**. Journal of Hydrology, v. 318, n. 1, p. 7-16. 2006.

BEHZAD, M.; ASGHARI, K.; EAZI, M.; ALHANG, M. **Generalization performance of support vector machines and neural networks in runoff modeling**. Expert Systems with applications, v. 36, n. 4, p. 7624-7629, 2009.

CHANG, C.C.; LIN, C. J. **LIBSVM: a library for support vector machines**. ACM Transactions on

Intelligent Systems and Technology (TIST), v. 2, n. 3, p. 27, 2011.

DIBIKE, Y. B. et al. **Model induction with support vector machines: introduction and applications.** Journal of Computing in Civil Engineering, v. 15, n. 3, p. 208-216, 2001.

FEITOSA, E. C.; MANOEL FILHO, J.; COSTA, W. D.; FEITOSA, F. A. C.; DEMETRIO, J. G. A.; FRANÇA, H. D. Avaliação de Recursos Hídricos Subterrâneos. In: FEITOSA, F. A. C. et al. (Org.) *Hidrogeologia: Conceitos e aplicações*. 3 ed. Revisada e ampliada. Rio de Janeiro: CPRM, LABHID, 2008. Cap. 7.1, p. 661-669.

GAO, D.; ZHOU, J.; XIN, L. **SVM-based detection of moving vehicles for automatic traffic monitoring**, in: Proc. IEEE 4th Int. Conf. Intelligent Transportation Systems, pp. 745–749, 2001.

GONG, Y.; ZHANG, Y.; LAN, S.; WANG, H. **A comparative study of artificial neural networks, support vector machines and adaptive neuro fuzzy inference system for forecasting groundwater levels near Lake Okeechobee, Florida.** Water resources management, v. 30, n. 1, p. 375-391, 2016.

GONG, Y.; WANG, Z.; XU, G.; ZHANG, Z. **A comparative study of groundwater level forecasting using data-driven models based on ensemble empirical mode decomposition.** Water, v. 10, n. 6, 2018.

HIDROWEB. Sistema de Informações Hidrológicas. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 13 de out. de 2018.

HIPEL, K. W.; MCLEOD, A. I. **Time series modelling of water resources and environmental systems.** Elsevier, 1994.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo 2010.** Disponível: <<http://censo2010.ibge.gov.br/>> Acesso em: 02 de mai. de 2016.

KAMPOURAKI, A.; MANIS, G.; NIKOU, C. **Heartbeat time series classification with support vector machines.** IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, v. 13, n. 4, p. 512-518, 2009.

KHAN, M. S.; COULIBALY, P. **Application of support vector machine in lake water level prediction.** Journal of Hydrologic Engineering, v. 11, n. 3, p. 199-205, 2006.

LI, Z.; YUAN, R.; GUAN, X. **Accurate classification of the internet traffic based on the svm method.** In: IEEE International Conference on Communications. IEEE, p. 1373-1378. 2007.

LIN, J.; CHENG, C.; CHAU, K. **Using support vector machines for long-term discharge prediction.** Hydrological Sciences Journal, v. 51, n. 4, p. 599-612, 2006.

LUIZ, T. B. P.; GAIARDO, G. F.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L. **Utilização de máquina de vetor de suporte para previsão de níveis de água subterrânea.** Águas Subterrâneas, v. 32, n. 1, p. 25-34, 2018a.

LUIZ, T. B. P.; SCHRÖDER, T.; SILVÉRIO DA SILVA. **Simulação dos Níveis Freáticos em Poço Tubular Localizado em Aquífero Livre: uma Comparação de Técnicas Preditivas.** Anuário do Instituto de Geociências, v. 41, n. 3, p. 227-238, 2018b.

MACHADO, J. L. F.; FREITAS, M. A. de. **Projeto Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul: relatório final.** Porto Alegre: CPRM, 2005.

MISRA, D. et al. **Application and analysis of support vector machine based simulation for runoff and sediment yield.** Biosystems engineering, v. 103, n. 4, p. 527-535, 2009.

PRADHAN, A. **Support vector machine - a survey**. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, v. 2, n. 8, p. 82-85, 2012.

PYTHON SOFTWARE FOUNDATION. Python Language Reference, versão 3.4.5. Disponível em: <<http://www.python.org>> Acesso em 25 de out. de 2016.

RAGHAVENDRA, S. J.; DEKA, P. C. **Support vector machine applications in the field of hydrology: a review**. Applied Soft Computing, v. 19, p. 372-386, 2014.

REDE INTEGRADA DE MONITORAMENTO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS - RIMAS. Disponível em: <<http://siagasweb.cprm.gov.br>> Acesso em 14 de mar. de 2019.

SHIRI, J.; KISI, O.; YOON, H., LEE, K. K; NAZEMI, A. H. **Predicting groundwater level fluctuations with meteorological effect implications - A comparative study among soft computing techniques**. *Computers & Geosciences*, v. 56, p. 32-44, 2013.

SHIRMOHAMMADI, B. et al. **Application of several data-driven techniques for predicting groundwater level**. *Water Resources Management*, v. 27, n. 2, p. 419-432, 2012.

SUN, Z.; BEBIS, G.; MILLER, R. **Improving the performance of on-road vehicle detection by combining Gabor and wavelet features**. In: Proceedings. The IEEE 5th International Conference on Intelligent Transportation Systems. IEEE, p. 130-135. 2002.

TRIPATHI, S.; SRINIVAS, V. V.; NANJUNDIAH, R. S. **Downscaling of precipitation for climate change scenarios: a support vector machine approach**. *Journal of hydrology*, v. 330, n. 3, p. 621-640, 2006.

VAPNIK, V. **The nature of statistical Learning theory**. Springer, New York, USA, 1995. 188 p.

VAPNIK, V. N. **Statistical learning theory**. Vol. 1. New York: Wiley, 1998. 732 p.

YOON, H.; JUN, S. C.; HYUN, Y.; BAE, G. O.; LEE, K. K. **A comparative study of artificial neural networks and support vector machines for predicting groundwater levels in a coastal aquifer**. *Journal of Hydrology*, v. 396, n. 1, p. 128-138. 2011.

WU, C. H.; HO, J. M.; LEE, D. T. **Travel-time prediction with support vector regression**. *IEEE transactions on intelligent transportation systems*, v. 5, n. 4, p. 276-281, 2004.

SOBRE OS ORGANIZADORES

Jorge González Aguilera: Engenheiro Agrônomo (Instituto Superior de Ciências Agrícolas de Bayamo (ISCA-B) hoje Universidad de Granma (UG)), Especialista em Biotecnologia pela Universidad de Oriente (UO), CUBA (2002), Mestre em Fitotecnia (UFV/2007) e Doutorado em Genética e Melhoramento (UFV/2011). Atualmente, é professor visitante na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) no Campus Chapadão do Sul. Têm experiência na área de melhoramento de plantas e aplicação de campos magnéticos na agricultura, com especialização em Biotecnologia Vegetal, atuando principalmente nos seguintes temas: pre-melhoramento, fitotecnia e cultivo de hortaliças, estudo de fontes de resistência para estres abiótico e biótico, marcadores moleculares, associação de características e adaptação e obtenção de vitroplantas. Tem experiência na multiplicação “on farm” de insumos biológicos (fungos em suporte sólido; Trichoderma, Beauveria e Metharrizum, assim como bactérias em suporte líquido) para o controle de doenças e insetos nas lavouras, principalmente de soja, milho e feijão. E-mail para contato: jorge.aguilera@ufms.br

Alan Mario Zuffo: Engenheiro Agrônomo (Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT/2010), Mestre em Agronomia – Produção Vegetal (Universidade Federal do Piauí – UFPI/2013), Doutor em Agronomia – Produção Vegetal (Universidade Federal de Lavras – UFLA/2016). Atualmente, é professor visitante na Universidade Federal do Mato Grosso do Sul – UFMS no Campus Chapadão do Sul. Tem experiência na área de Agronomia – Agricultura, com ênfase em fisiologia das plantas cultivadas e manejo da fertilidade do solo, atuando principalmente nas culturas de soja, milho, feijão, arroz, milheto, sorgo, plantas de cobertura e integração lavoura pecuária. E-mail para contato: alan_zuffo@hotmail.com

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-475-7

