

## **PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA – UFBA**

**Nome** – Danilo Silva Lisboa

**Título** – PREVISÃO PROBABILÍSTICA DO BRANQUEAMENTO DOS CORAIS: ASPECTOS TEÓRICOS E PRÁTICOS PARA O DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE ALERTA PRECOCE PARA RECIFES DO OCEANO ATLÂNTICO

**Nível**– Doutorado

**Data de Defesa** – 14/09/2020

**Área de Concentração** – Geologia Marinha, Costeira e Sedimentar.

**Orientador:** Prof. Dr. Ruy Kenji Papa de Kikuchi

**Palavras Chaves:** Previsão de branqueamento dos corais; Modelo de Rede Bayesiana; Oceano Atlântico; Sistema de alerta precoce.

**RESUMO** - O branqueamento dos corais representa a resposta negativa mais proeminente dos ecossistemas recifais frente às atuais mudanças climáticas. Capaz de promover mortalidade em massa das colônias e significativas alterações nas estruturas das comunidades recifais, estes fenômenos devem tornar-se cada vez mais frequentes, intensos, duradouros e globalmente generalizados, a ponto de comprometer a viabilidade dos ecossistemas recifais nas próximas décadas. A escolha da rede bayesiana para a modelagem do branqueamento advém de sua inerente aptidão em integrar dados e conhecimentos com diferentes características e lidar com as incertezas e complexidades relacionadas a estes fenômenos graças ao uso de probabilidades. Nesta pesquisa razões pelas quais a abordagem Bayesiana pode ser bastante proficiente para modelagem dos ambientes recifais e particularmente para o caso do branqueamento dos corais são apresentadas, e os aspectos mais relevantes de referências-chave são discutidos com maiores detalhes sob a perspectiva do cientista/modelador recifal. Descrevemos a natureza destes modelos e os procedimentos para sua construção, fornecendo recomendações para uma modelagem apropriada em cada uma das principais etapas, e apresentamos um estudo de caso de formalização do modelo conceitual de previsão sazonal do branqueamento dos corais a partir de um caso controle em uma área de reserva ambiental. Para isso, duas ideias bem fundamentadas cientificamente foram avaliadas e confirmadas em relação à sua contundência nos eventos de branqueamento: 1- existe uma relação entre a intensidade do fenômeno El Niño e anomalias térmicas positivas no oceano Atlântico; e 2- o branqueamento dos corais é principalmente influenciado por anomalias térmicas positivas na água do mar. O modelo conceitual formalizado organizou hierarquicamente os indicadores relativos à estes pressupostos em

uma estrutura de rede de acordo com seus níveis de influência sobre o branqueamento e foi utilizado como ponto de partida para o desenvolvimento de modelos concorrentes aptos a realizar previsões sazonais para as áreas recifais do oceano Atlântico Norte. Procedimentos de mineração de dados, validação, e testes de pontuação foram utilizados como critério de comparação, demonstrando a viabilidade da abordagem Bayesiana para realizar previsões sazonais do estado de branqueamento com níveis de acurácia acima de 80%. Como alternativas para melhorar a precisão foram desenvolvidos modelos personalizados com bases de dados restritas a situações específicas, mas ao custo da perda da capacidade preditiva. Acreditamos que o modelo de rede Bayesiana desenvolvido, testado e avaliado nesta pesquisa representa um recurso útil para auxiliar os cientistas, governos e gestores ambientais através de um sistema de aviso prévio de branqueamento capaz de fornecer tempo suficiente para planejar campanhas de campo e possíveis ações mitigadoras. Finalmente, sob o ponto de vista evidenciado nesta pesquisa, a abordagem Bayesiana representa uma alternativa com expressivo potencial para auxiliar à gestão dos ecossistemas recifais e deve se estabelecer como uma técnica padrão de análise nos próximos anos. Familiarizar-se com características e procedimentos desta abordagem deve ser de grande valia para estudantes/pesquisadores e gestores empenhados em salvaguardar a viabilidade futura destes inestimáveis ecossistemas.

## **ABSTRACT –**

Coral bleaching represents the most prominent negative response of reef ecosystems to current climate change. Capable of promoting mass mortality of colonies and significant changes in reef community structures, these phenomena should become increasingly frequent, intense, long-lasting and globally widespread, to the point of compromising the viability of reef ecosystems in the coming decades. The choice of Bayesian nets for bleaching modelling comes from their inherent ability to integrate data and knowledge with different characteristics and to deal with the uncertainties and complexities related to these phenomena through the use of probabilities. In this research reasons why the Bayesian approach can be quite proficient for modelling reef environments and particularly for the case of coral bleaching are presented, and the most relevant aspects of key references are discussed in more detail from the perspective of the reef scientist/modeler. We describe the nature and procedures for building these models, providing recommendations for appropriate modeling in each of the major steps. We present a case study of formalizing the conceptual model of seasonal coral bleaching prediction from a control case in an environmental reserve area. For this, two well founded scientific ideas have been evaluated and confirmed in relation to their

forcefulness in bleaching events: 1- there is a relationship between the intensity of the El Niño phenomenon and positive thermal anomalies in the Atlantic Ocean; and 2- the bleaching of corals is mainly influenced by positive thermal anomalies in seawater. The formalised conceptual model has hierarchically organised the indicators related to these assumptions into a network structure according to their levels of influence on bleaching and has been used as a starting point to develop competing models capable of making seasonal forecasts for the reef areas of the North Atlantic Ocean. Data mining procedures, validation, and scoring tests were used as criteria for comparison, demonstrating the feasibility of the Bayesian approach to make seasonal forecasts of the bleaching state with accuracy levels above 80%. As alternatives to improve accuracy, customized models were developed with databases restricted to specific situations, but at the cost of loss of predictive capacity. We believe that the Bayesian network model developed, tested and evaluated in this research represents a useful resource to assist scientists, governments and environmental managers through a bleaching early warning system capable of providing sufficient time to plan field campaigns and possible mitigation actions. Finally, from the point of view shown in this research, the Bayesian approach represents an alternative with expressive potential to assist the management of reef ecosystems and should be established as a standard technique of analysis in the coming years. Familiarizing oneself with the characteristics and procedures of this approach should be of great value to students/researchers and managers committed to safeguarding the future viability of these priceless ecosystems.

**Keywords:** Coral bleaching forecast; Bayesian Network Model; Short-term prediction; Atlantic Ocean; Early warning system.