



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSAS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
PIBIC-CNPq 2007-2007

AVALIAÇÃO DE ATLAS DE VENTOS E DE ONDAS
UTILIZANDO A COMBINAÇÃO DO OPERADOR AAF E A FASE
DO OPERADOR CEF DA TÉCNICA GPA (*GRADIENT PATTERN*
***ANALYSIS*)**

São José dos Campos, SP
2007



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSAS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
PIBIC-CNPq 2007-2007

**Avaliação de Atlas de Ventos e de Ondas utilizando a combinação do
operador AFF e a Fase do operador CEF da técnica GPA (Gradient
Pattern Analysis)**

Paulo Stewart Dubovicki Vasques (ITA, Bolsista PIBIC/CNPq)

E-mail: paulo-vasques@uol.com.br

Nandamudi Lankalapalli Vijaykumar (LAC/CTE/INPE, Orientador)

E-mail: vijay@lac.inpe.br

COLABORADORES

Reinaldo Roberto Rosa (LAC/CTE/INPE)

São José dos Campos, SP
2007

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha família e amigos que me apoiaram durante o decorrer do projeto e principalmente ao meu orientador, Doutor Nandamudi Lankalapalli Vijaykumar, pela sua orientação, dedicação e conhecimento que me foi transmitido na elaboração desse trabalho.

Não menos importante, ao Professor Doutor Reinaldo Roberto Rosa pela sua colaboração fundamental na conclusão do projeto.

Agradeço também ao CNPq e ao PIBIC pela oportunidade e concessão da bolsa, bem como todos os auxílios fornecidos.

RESUMO

É fundamental conhecer o clima do passado para poder avaliar o clima de futuro, bem como o clima costeiro para avaliar impactos de mudanças climáticas nesta áreas. Pensando nisso a União Européia financiou um projeto para gerar dados consistentes para o clima do passado (*hindcast*) utilizando modelos atmosféricos e de ondas para a região da Europa. O projeto em questão se concentra para a região da Irlanda onde os resultados de um modelo de circulação global foram refinados por um modelo atmosférico de área limitada para gerar ventos com alta resolução. Tais ventos foram integrados com um modelo de ondas para que alturas de ondas e outras informações relevantes fossem geradas. O projeto gerou um atlas de ventos e de ondas de 1958 a 1997. É importante avaliar esses dados no domínio espaço-temporal, porém foi comprovado que avaliações geradas por estatísticas convencionais não conseguem detectar um resultado satisfatório, devido à assimetria e não-linearidade dos dados. Este trabalho tem como objetivo utilizar a técnica *Gradient Pattern* (GPA) como caracterizador de evolução espaço-temporal dos padrões de ventos e ondas. Ela é baseada em dois operadores computacionais: AAF (*Asymmetric Amplitude Fragmentation*) que permite obter uma medida de quebra de simetria de um padrão dinâmico; e CEF (*Complex Entropic Form*), que permite observar padrões intermitentes durante a evolução espaço-temporal. Nessa análise, aplicamos os operadores AAF, gerando o primeiro momento gradiente (g_1^a), e o CEF, gerando o quarto momento gradiente (em particular a fase, Φ_{g_4}) em uma parte desse *hindcast* (1988-1997) para detectar padrões de equilíbrios em médias e pequenas escalas colocando-se em destaque os resultados obtidos no domínio espaço-temporal de $g_1^a \times \Phi_{g_4}$, além de observar esses comportamentos ao longo dos anos.

ABSTRACT

It is important to understand the past coastal climate to evaluate the future coastal climate, in order to evaluate impacts of climatic changes. European Union financed a project to produce data for the past climate (hindcast) using atmospheric models and of wave models for the region of Europe. This project is concentrated for the region of Ireland where the results of a GCM were refined by a limited area atmospheric model to produce winds with high resolution. Those winds were used by a wave model from which wave heights and other relevant information were produced. The project produced an atlas of winds and of waves from 1958 to 1997. It is important these data are evaluated at the spatio-temporal domain. However such evaluation produced by conventional statistics do not produce satisfying results, due to the non-linear and asymmetry of the data. This work uses the Gradient Pattern (GPA) technique to characterize the evolution of spatial-temporal patterns of winds and waves. It is based on two computational operators: AAF (Asymmetric Amplitude Fragmentation) that allows to obtain a measure of asymmetry of a dynamic pattern; and CEF (Complex Entropic Form), which allows to observe intermittent patterns during the spatio-temporal evolution. In this analysis, we apply the operators AAF, producing the first gradient moment (g), and CEF, producing the fourth gradient moment (in particular, the phase, Φg_4) in a part of this hindcast (1988-1997) to detect patterns of medium and small scales.

SUMÁRIO

Resumo	4
Abstract.....	5
Lista de Figuras	7
Lista de Abreviações e Siglas.....	8
1. Introdução.....	9
1.1 Metodologia	9
1.2 Objetivo.....	9
2. O Projeto HIPOCAS.....	10
3. A Técnica GPA.....	11
3.1 O Quarto Momento Gradiente e o Operador CEF.....	11
4. Resultados.....	12
5. Conclusão	16
6. Referências	16

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Dispersão de grande variação de $g_1^a \times \Phi_{g_4}$	12
Figura 2 - Dispersão de pequena variação de $g_1^a \times \Phi_{g_4}$	13
Figura 3 - Coeficiente de Dispersão Geométrica.....	14

LISTA DE ABREVIACOES E SIGLAS

AAF - Asymmetric Amplitude Fragmentation.

CEF - Complex Entropy Form.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change.

GPA - Gradient Pattern Analysis.

HINDCAST – Banco de dados com parâmetros de ventos e ondas.

CMRC - Coastal and Marine Resources Centre.

UCC - University College Cork.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

PIBIC - Programa de Incentivo a Bolsas de Iniciao Cientfica.

CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Cientfico e Tecnolgico

HIRLAM - High-Resolution Limited Area Model.

REMO - Regional Model.

NCEP - National Center for Environmental Prediction.

NCAR - National Center for Atmospheric Research, Boulder.

IDL - Interactive Data Language.

WAM - Wave Model.

HIPOCAS - Hindcast of Dynamical Processes of the Ocean and Coastal Areas of Europe.

1. INTRODUÇÃO

No século 21, o aquecimento global está diretamente associado com riscos de meio ambiente costeiro e da marina, afetando tanto a população humana como a vida animal. É o que estabelece um relatório emitido pela IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Temendo o que pode acontecer, a população costeira exige informações detalhadas sobre os impactos causados pelas mudanças climáticas globais. Relatórios mais recentes sobre margens nas costas europeias indicam aumento em velocidades de ventos, em alturas das ondas forçando tempestades. Isto possibilitaria a validação dos modelos utilizados já que pode-se contar com dados observados para o período passado. Esta importância foi reconhecida em nível internacional e a União Europeia financiou um projeto *HIPOCAS – Hindcast of Dynamical Processes of the Ocean and Coastal Areas of Europe* o qual consistiu em gerar um atlas de ventos e de ondas de alta resolução para várias regiões costeiras da Europa.

O projeto contou com participação de várias instituições de países como Alemanha, Bulgária, Espanha, França, Irlanda, Malta, Polónia e Portugal. O atual trabalho concentra para a região da Irlanda que foi a responsabilidade do Coastal and Marine Resources Centre (CMRC) da University College Cork (UCC) da cidade de Cork.

1.1. Metodologia

Aplicar a Técnica GPA, através do uso de seu operador CEF (Complex Entropy Form), nos parâmetros de ventos e ondas do projeto HIPOCAS. Obtidos Fase e Modulo através do Operador, combinações são feitas com outros operadores para gerar gráficos de dispersão. O trabalho em questão utiliza a Fase do operador CEF combinado com o Frag do operador AFF. Tal combinação é responsável por detectar mudanças intermediárias a baixas.

1.2. Objetivo

Até o momento os resultados obtidos do projeto HIPOCAS só foram analisados utilizando estatística convencional. O objetivo é aplicar técnica GPA para detectar padrões de equilíbrios em ambientes não-lineares, além de observar esses comportamentos ao longo dos anos.

2. O PROJETO HIPOCAS

A base deste projeto consistiu na disponibilização dos resultados de reanálise de 40 anos (1958 a 1997) por institutos especializados. Para se adequar ao caso das águas da Irlanda, foram feitos processos de *downscaling* utilizando um modelo de área limitada *HIRLAM* (*High-Resolution Limited Area Mode*) [Gault et al, 2006] para ventos, conseguindo uma resolução espacial de 10Km e temporal de 1 Hora.

Antes de prosseguir para integrar estes campos de ventos com o modelo de Ondas, eles foram validados com alguns dados de observação disponíveis além de comparar com resultados de outros modelos.

O próximo passo natural é integrar os campos de ventos com o modelo de ondas WAM (Wave Model) [Gault et al, 2006]. De uma maneira semelhante, a mesma abordagem de validação aplicada ao parâmetro de vento gerado pelo modelo HIRLAM também foi aplicada aos resultados gerados pelo modelo WAM.

Com o término da geração dos parâmetros de vento e de ondas, o CMRC possui hoje 40 anos (1958 à 1997) de ventos a partir do HIRLAM espaçados por hora e também as condições de ondas a partir do WAM espaçados a cada três horas. Já foram calculadas as médias mensais para cada coordenada pertencente à grade cobrindo a Irlanda (48 a 58N e 15 a 0W). Esta análise preliminar mostrou uma coerência com a realidade em termos de variação sazonal e em especial alguns picos estão de acordo com tempestades severas ocorridas na região. Como era de se esperar, os modelos também mostram ventos e ondas mais fortes na costa oeste (que está totalmente exposto às tempestades no Atlântico Norte) e a sua diminuição ao se aproximar da costa leste.

A proposta consiste em uma análise mais fina desses dados, onde informações como: onde ocorrem grandes variações nas atividades de ventos e ondas, com que frequência isso ocorre, bem como traçar tendências desses eventos poderão ser obtidas utilizando a técnica GPA.

3. A TÉCNICA GPA

A técnica de Análise de Padrões Gradiente GPA é capaz de caracterizar a formação e a evolução de estruturas espaço-temporais. Consiste na extração de quatro valores de uma matriz escalar, os momentos gradientes [Vijaykumar et al, 2006] que chamaremos de g_1 , g_2 , g_3 e g_4 .

Existem operadores computacionais capazes de caracterizar a assimetrias e entropias no campo gradiente. O GPA calcula três parâmetros: Frag (g_1^a), Fase (Φg_4) e Módulo (lg_4), extraídos do grupo de quatro momentos gradientes citados acima, que são as medidas vetoriais e as assimetrias locais (g_1), a desordem de modelo (g_2), a desordem de fase (g_3) e a entropia complexa (g_4). O operador computacional chamado de CEF, calcula o módulo e a fase relativos à forma complexa do quarto momento gradiente g_4 .

Até o momento a análise do GPA é feita baseada no primeiro momento gradiente g_1 e no quarto momento gradiente g_4 . Não há operadores computacionais publicados na literatura para calcular o segundo e terceiro momento gradiente.

3.1 O Quarto Momento Gradiente e o Operador CEF

O momento gradiente g_4 é uma representação complexa do módulo, lg_4 , e da fase, Φg_4 , de um campo gradiente. O operador computacional CEF (Complex Entropic Form) permite quantificar o grau de desordem das fases associado a um dado campo gradiente de um sistema dinâmico espacial não-linear estendido.

Sistemas dinâmicos não-lineares produzem padrões de amplitude complexas, dificultando para a física computacional a definição de medidas apropriadas para caracterizar as dinâmicas de tais sistemas

Aplicamos o Operador CEF para caracterizar a formação de padrões de amplitude (fragmentação, quebra e desordem da fase simétrica) para a velocidade dos ventos e as alturas de ondas do projeto HIPOCAS, analisando a correlação nas atividades dessas estruturas irregulares, em médias e pequenas escalas, devido a dinâmicas locais e globais não lineares do sistema integrado oceano-atmosfera.

4. RESULTADOS

Utilizando-se dos algoritmos originais, desenvolvidos nas linguagens de programação IDL (operador CEF) e Fortran (tratamento de dados de HINDCAST), testes iniciais com o operador foram feitos a fim de adaptá-lo para a leitura de matrizes, já que o mesmo foi desenvolvido para a leitura de vetores. Após essa adequação, leituras nos dados foram feitas para matrizes 120X80, com um intervalo de tempo de uma hora para ventos; e para matrizes de 180X120, com um intervalo de tempo de três horas para ondas.

Nossa análise tem como objetivo integrar os resultados do quarto momento gradiente (Φg_4) [Ramos et al, 2000] do operador CEF, responsável por detectar mudanças em pequenas escalas, com os resultados do primeiro momento gradiente (g_1^a) [Rosa et al, 1999], do operador AAF, responsável por detectar mudanças em médias escalas, para ratificar a potencialidade de detecção dessas variações.

Uma das principais propriedades do parâmetro g_1^a é a sua capacidade de quantificar a dinâmica de modelos em escala intermediária comparada com as escalas globais e locais da grade sendo analisada. Esta propriedade é devida às assinaturas de multi-escala presentes no campo de triangulação construído sobre vetores assimétricos. O quarto momento gradiente é mais sensível para as características globais e locais do campo gradiente. Em consequência a dinâmica do modelo gradiente pode se caracterizar por um par de g_1^a versus Φg_4 .

Nos dois espaços pode ser determinado o coeficiente δ , dado pela media da distância euclidiana entre os pontos espaciais da fase.

A combinação $\delta_L \times t$ (g_1^a versus Φg_4) caracteriza a dinâmica relacionada com escalas abrangendo do nível intermediário até o nível local. Em resumo a metodologia usando o AAF e o CEF segue as etapas abaixo descritas:

- 1 - Calcular g_1^a na grade para cada etapa.
- 2 - Calcular $|g_4|$ e Φg_4 da grade(matriz) para cada etapa.
- 3 - Calcular δ_L da metodologia apresentada em [Miyata, 2007], para detectar variações da escalas média até a escala grande.
- 4 - Calcular δ_L a partir do gráfico g_1^a e Φg_4 para detectar variações da escalas pequenas até a escala média
- 5 - A dinâmica de uma estrutura irregular espaço-tempo está caracterizada nas duas séries de tempo: $\delta_L x t$ e $\delta_t x t$

A primeira figura apresenta um momento em que há uma dispersão com grande variação, com ênfase para ondas, enquanto que a segunda figura apresenta um momento com pequena variação para ambos os fenômenos.

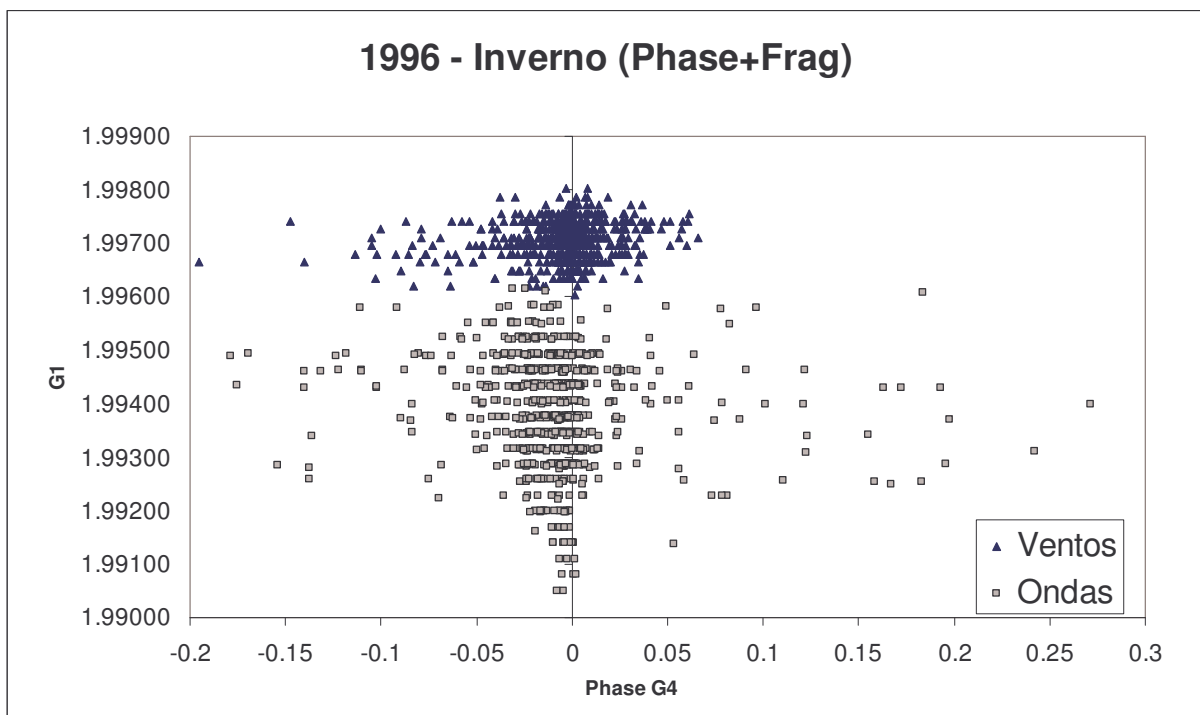


Figura 1. Dispersão de grande variação de g_1^a X Φg_4

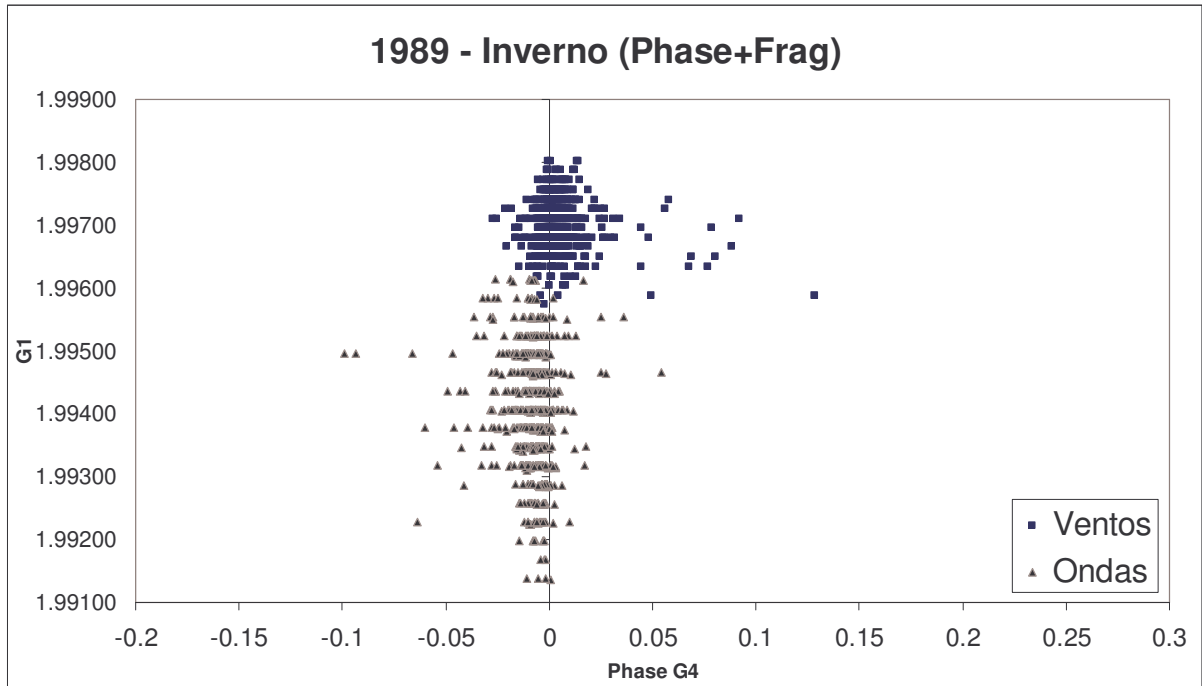


Figura 2. Dispersão de pequena variação de g_1^a X Φ_{g_4}

Uma outra análise consiste em obter-se a distância euclidiana entre os pontos extremos dos gráficos de dispersão, de cada fenômeno, para verificar uma possível correlação de um fenômeno sobre outro. No atual projeto, essa análise foi aplicada a cada inverno num período de 10 anos (1988 – 1997), como mostra a Figura 3.

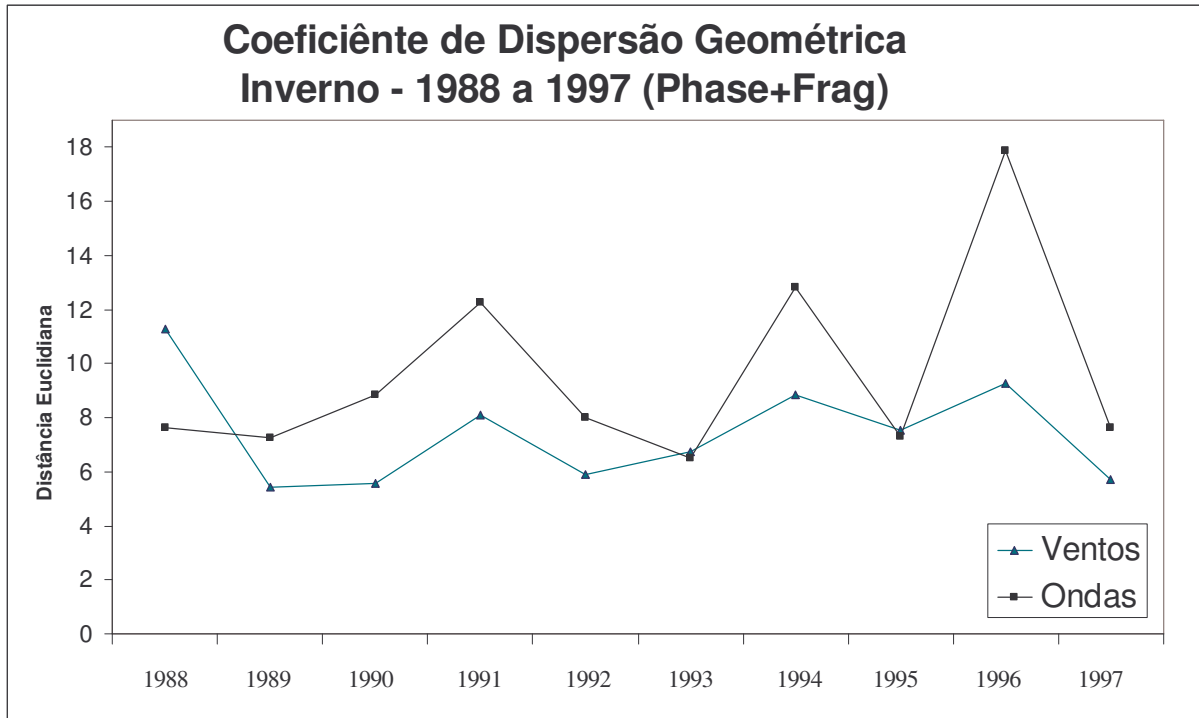


Figura 3. Coeficiente de Dispersão Geométrica

Os testes revelaram uma forte correlação na maioria dos intervalos de tempo. Isto quer dizer que, medidas da distância determinadas no conjunto de velocidades do vento é seguida pela medida da distância determinada no conjunto da altura da onda, indicando uma elevada influência não linear dos ventos sobre as ondas, abrangendo desde a escala intermediária até a pequena escala. Nesse caso as pequenas flutuações não lineares são difíceis de determinar usando simples medidas estatísticas. Assim a combinação de g_1^a e Φg_4 é sensível para detectar tais situações.

5. CONCLUSÃO

O trabalho possibilitou demonstrar a importância de se usar a técnica GPA (Gradient Pattern Analysis) quando se trata de sistemas complexos. É uma ferramenta ideal para detectar correlações não-lineares entre as dinâmicas espaço-temporais do sistema oceano-atmosfera.

Através dos resultados obtidos com as análises dos dados de ventos e de ondas, nota-se que a técnica GPA é capaz de detectar assimetrias e entropias relacionadas com o campo gradiente das matrizes. Tal técnica é capaz de caracterizar a formação e resolução de modelos complexos a partir de correlações espaço-tempo entre flutuações de amplitude, grandes e pequenas.

Sendo um projeto piloto, esse documento mostra a necessidade de se analisar estruturas espaço-temporais passadas para testar técnicas que, se aprovadas, serão aplicadas em previsões futuras.

Os operadores computacionais utilizados atualmente consomem um tempo relevante para a execução dos mesmos, além de utilizarem software proprietário (IDL). A fim de melhorar o desempenho computacional e utilizar um software OpenSource, os mesmos operadores estão sendo desenvolvidos em SciLab.

Com isso, será possível realizar um estudo mais a fundo sobre modelos de escala não-linear e dinâmicos, utilizando os resultados para previsões futuras e até proteções costeiras.

6. REFERÊNCIAS

- Gault, J.; Vijaykumar, N.L.; Devoy, R. On Producing Past Wave Climate for the Irish Sea. *LITTORAL 2006 Coastal Innovations and Initiatives*, Gdansk, Poland, September 2006. (Proceedings of Coastal Environment, Processes and Evolution)
- Miyata, R. M.; Avaliação de Atlas de Ventos e de Ondas Utilizando a Combinação do Operador AAF e o Módulo do Operador CEF da técnica GPA (Gradient Pattern Analysis), PIBIC, INPE/SJCampos, 2007
- Ramos, F.M.; Rosa, R.R.; Neto, C.R.; Zanandrea, A. Generalized complex entropic form for gradient pattern analysis of spatio-temporal dynamics. *Physica A*, 283, 171-174, 2000.
- Rosa, R.R.; Sharma, A.S.; Valdivia, J.A. Characterization of asymmetric fragmentation patterns in spatially extended systems. *International Journal of Modern Physics C*, 10 (1), 147-163, 1999.
- Vijaykumar, N.L.; Rodrigues, M.; Moraes, T.; Rosa, R.R.; Ramos, F.M.; Gault, J.; Devoy, R. Application of Gradient Pattern Analysis to Hindcast of Wind and Wave Datasets for Irish Waters. *LITTORAL 2006 Coastal Innovations and Initiatives*, Gdansk, Poland, September 2006. (Proceedings of Coastal Environment, Processes and Evolution)