



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

AVALIAÇÃO DA HABILIDADE DE MODELOS DE PREVISÃO NUMÉRICA DE TEMPO BASEADA EM DIAGRAMAS ESTATÍSTICOS

Carlos José Ribeiro Júnior

Relatório de Iniciação Científica do
programa PIBIC, orientada pelo
Me. Carlos Frederico Bastarz.

URL do documento original:

[<http://urlib.net/>](http://urlib.net/)

INPE
São José dos Campos
2017

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3945-6923/6921

Fax: (012) 3945-6919

E-mail: <pubtc@sid.inpe.br>

**COMISSÃO DO CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO
DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE (DE/DIR-544):****Presidente:**

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Membros:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

Dr. Amauri Silva Montes - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espaciais (ETE)

Dr. André de Castro Milone - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Dr. Joaquim José Barroso de Castro - Centro de Tecnologias Espaciais (CTE)

Dr. Manoel Alonso Gan - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Dra. Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SID)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Marcelo de Castro Pazos - Serviço de Informação e Documentação (SID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SID)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

AVALIAÇÃO DA HABILIDADE DE MODELOS DE PREVISÃO NUMÉRICA DE TEMPO BASEADA EM DIAGRAMAS ESTATÍSTICOS

Carlos José Ribeiro Júnior

Relatório de Iniciação Científica do
programa PIBIC, orientada pelo
Me. Carlos Frederico Bastarz.

URL do documento original:

[<http://urlib.net/>](http://urlib.net/)

INPE
São José dos Campos
2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Sobrenome, Nomes.

Cutter Avaliação da Habilidade de Modelos de Previsão Numérica de
Tempo Baseada em Diagramas Estatísticos / Carlos José Ribeiro
Júnior. – São José dos Campos : INPE, 2017.
xi + 26 p. ; ()

Dissertação (Iniciação Científica) – Instituto Nacional de Pes-
quisas Espaciais, São José dos Campos, 2017.
Orientador : Carlos Frederico Bastarz.

1. Palavra chave. 2. Palavra chave 3. Palavra chave. 4. Palavra
chave. 5. Palavra chave I. Título.

CDU 000.000



Esta obra foi licenciada sob uma Licença [Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

**ATENÇÃO! A FOLHA DE
APROVAÇÃO SERÁ IN-
CLUIDA POSTERIORMENTE.**

Iniciação Científica

RESUMO

Nesse trabalho contribuimos para a avaliação e classificação dos modelos de previsão numérica de tempo, transformando uma análise antes feita por vários gráficos (uma para cada métrica de avaliação) em apenas um diagrama polar, tornando esse processo mais simples. Após os estudos iniciais, decidiu-se usar o Diagrama de Taylor como base para elaborar o diagrama polar que contempla as métricas estatísticas, representadas por um mesmo ponto em um gráfico único, com as imagens plotadas através da linguagem de programação Python. Foi realizado um levantamento teórico, com o estudo das definições de precisão e acurácia, modelos de previsão numérica de tempo, o programa SCANTEC (que por meio dele foram geradas as tabelas estatísticas com os valores da Raiz de Erro Quadrático Médio e o Coeficiente de Correlação de Anomalia) possibilitando assim, fazer os diagramas necessários para o projeto. Com as tabelas geradas a partir do SCANTEC e a aplicação do script desenvolvido, foi possível a partir de seu resultado obter o modelo mais preciso e mais acurado e também identificá-lo através das imagens geradas. Esse desenvolvimento tem aplicação na área, pois permite entregar a classificação e representação, por meio de imagens. É possível também determinar o melhor modelo para qualquer horário de previsão dentre a quantidade de modelos que se queira analisar, ampliando a capacidade de análise, já que ela foi simplificada.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
2.1 Representação bidimensional da Temperatura do Ar sobre a América do Sul, proveniente da análise do 3DVar. À esquerda: representação latitude x longitude; à direita: representação latitude x altura (níveis de pressão).	6
2.2 Temperatura do ar sobre a região da América do Sul para no dia 1 de Janeiro de 2013, proveniente do modelo denominado “NCEP”, À esquerda: representação latitude x longitude; à direita: representação latitude x níveis de pressão.	7
2.3 Representação unidimensional da Umidade Específica: média da área. À esquerda, representação para a análise do 3DVar; à direita: representação para a análise do NCEP. Gráficos referente ao dia 1 de Janeiro de 2013.	8
2.4 Os gráficos representam o REQM, o VIES e o CCA no período do dia 5 a 15 de agosto de 2014. Esses gráficos são feitos a partir da tabela gerada pelo SCANTEC, pela leitura das métricas tabeladas.	11
2.5 Diagrama de Taylor representando uma simulação com cinco modelos distintos. São representados 5 avaliações A, B, C, D e E. O experimento A mostra $CCA = 0,5$ (linha azul), $REQM = 1$ (linha verde), e $Desvio\ Padrão(S) = 1$ (linha preta). O ideal seria $REQM = 0$, $CCA = 1$ e $S = 1$. Fonte: < http://www.lamma.ufrj.br/sites/spo/atlasul/scripts/taylor/diagrama.php >.	12
3.1 Diagramas de 24 a 120 horas dos modelos testados NCEP, EnSRF e EnKF, com base no modelo de referência CTRL. Esse diagrama está representando como se comporta a variação de uma das variáveis, VTMP-500 (Temperatura Virtual em 500 hPa) durante os horários de previsão. Nos eixos estão demonstrados os valores do REQM e no ângulo os valores do CCA	17
A.1 Representação gráfica de uma grade regular contendo suas devidas conde-nadas. O objetivo para utilizar essa interpolação é encontrar a coordenada do ponto (P). Fonte: < http://www.im.ufal.br/professor/thales/icg/Aula1.2.pdf >	25

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
2.1 Tabela de Contingência	8
2.2 Tabela da REQM gerado pelo SCANTEC	10
2.3 Tabela da CCA gerado pelo SCANTEC	11
3.1 Tabela de Precisão dos Modelos	18
3.2 Tabela de Acurácia dos modelos	19

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivo Geral	2
1.2 Objetivos Específicos	2
2 METODOLOGIA	5
2.1 SCANTEC	10
2.2 Diagrama de Taylor	12
2.3 Métricas Estatísticas Básicas	13
2.3.1 Viés	13
2.3.2 Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM)	14
2.3.3 Coeficiente de Correlação de Anomalia (CCA)	14
3 RESULTADOS	17
4 CONCLUSÕES	21
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23
APÊNDICE - INTERPOLAÇÃO BILINEAR	25

1 INTRODUÇÃO

Com o acúmulo de informações sobre a simulação do estado atual e o futuro da atmosfera produzido nos diversos centros operacionais de Previsão Numérica de Tempo e Clima (PNTC), tornou-se necessário que uma avaliação estatística prévia dos modelos fosse elaborada com o objetivo de identificar quais modelos representam melhor essas observações. Tais modelos são baseados nas leis de conservação de massa, *momentum* (produto da massa pela velocidade do corpo) e energia, sua descrição é feita a partir das equações básicas de continuidade, movimento e termodinâmica.

Segundo [Willmott \(1981\)](#) a maioria dos modelos são baseados em procedimentos de ajuste de curvas, onde uma porção da variabilidade de uma variável obrigatoriamente está ligada a variações exibidas em uma ou mais variáveis independentes. Diante disso para determinar, por exemplo, a probabilidade de precipitação, são analisadas, no mínimo, as interações entre: pressão atmosférica, umidade, temperatura e velocidade do vento. Com esse conjunto de variáveis pode-se definir a capacidade de algumas previsões na identificação da possibilidade ou não de precipitação, com base na acurácia e precisão de cada modelo.

[Mikhail e Ackermann \(1976\)](#) apresentam acurácia como sendo o grau de proximidade de uma estimativa com seu parâmetro (ou valor verdadeiro), enquanto precisão expressa o grau de consistência da grandeza medida com sua média. Os mesmos autores acrescentam que acurácia reflete a proximidade de uma grandeza estatística ao valor do parâmetro para o qual ela foi estimada e que precisão está diretamente ligada com a dispersão da distribuição das observações.

Para avaliar a habilidade de um modelo, quanto à sua acurácia e precisão, os modelos são frequentemente comparados com os valores das observações. Para assegurar que o modelo é um bom preditor da realidade, geralmente é realizado um teste de significância estatística expressa no Coeficiente de Correlação de Momentos de Produto (r). ([WILLMOTT, 1981](#)).

Na avaliação de um modelo também são utilizadas métricas baseadas em índices estatísticos como o Viés, o Erro Quadrático Médio (REQM) e o Coeficiente de Correlação de Anomalia (CCA), que por sua vez fornecem uma visão geral da habilidade de previsão do modelo. Sua avaliação pode ser tanto para variáveis contínuas (vento, pressão, temperatura e umidade) quanto para variáveis discretas (precipitação). As observações utilizadas na avaliação dos modelos requerem um tratamento especial, pois se trata de combinar em uma grade regular informações

de modelos com uma grade irregular de dados observados, ou seja, mapeamos e dividimos o globo terrestre em pontos de grade, sendo que cada ponto é equidistante um do outro. Por outro lado, temos as estações meteorológicas que fornecem as observações do tempo, que são distribuídas de forma irregular no tempo e no espaço.

O Sistema Comunitário de Avaliação de modelos Numéricos de Tempo e Clima (SCANTEC) foi iniciado com a premissa de resolver e otimizar em um único sistema diferentes tipos de métricas para avaliar diferentes tipos de modelos numéricos de previsão de tempo. Através de ferramentas gráficas, o mesmo também possibilita a visualização desses modelos em 1D e 2D tornando a análise dos dados mais simples e clara, além de permitir avaliar qual dos modelos representa a melhor aproximação em relação às observações. Seu desenvolvimento é baseado em softwares livres, utilizando linguagens como o Fortran 90, Shell Script e outras ferramentas de acesso livre.

Durante o estudo teórico sobre a avaliação de modelos de previsão numérica de tempo, encontrou-se uma oportunidade de estudo para o desenvolvimento e aplicação de um diagrama simples, onde é possível classificar os modelos quanto à sua precisão e acurácia, ou seja, representar quais são os maiores e menores valores do REQM e do CCA entre diferentes modelos.

1.1 Objetivo Geral

O objetivo desse projeto é facilitar a análise dos modelos, permitindo identificar com maior clareza os experimentos em relação a sua referência (climatologia ou observação). Ao utilizarmos o Diagrama de Taylor como base para o desenvolvimento desse trabalho, pois o mesmo permite de uma forma gráfica a representação de apenas um ponto as três métricas mais utilizadas em avaliações, sendo elas o CCA, REQM e o Desvio Padrão (S), assim essa comparação entre os experimentos é simplificada.

Estudar a avaliação de modelos de previsão numérica de tempo por meio de uma aplicação dos Diagramas de Taylor e mostrar sua vantagem, por representar em um único diagrama as três métricas estatísticas, e desvantagens como a representação de uma única unidade de medida para cada modelo, na avaliação de variáveis contínuas. E, sobre precisão e acurácia, entender como determinar se um modelo é mais preciso e acurado e representá-lo graficamente.

1.2 Objetivos Específicos

Para o desenvolvimento do projeto, deverão ser executadas as seguintes etapas:

- Investigar dentre as métricas básicas de avaliação da habilidade de modelos de previsão numérica de tempo, quais podem ser aplicadas em diagramas estatísticos;
- Analisar os diagramas estatísticos definidos na etapa anterior em linguagem Python para a avaliação dos resultados;
- Definir a precisão e acurácia de cada modelo em relação a referência;
- Avaliar o desempenho do modelo global do CPTEC utilizando o diagrama polar desenvolvido de forma a identificar a acurácia e a precisão entre diferentes simulações;
- Plotar os gráficos dos diagramas polares.

2 METODOLOGIA

No início das atividades relacionadas ao projeto, foi elaborado um levantamento teórico sobre como é a avaliação de modelos de previsão numérica de tempo, incluindo a leitura dos artigos “Investigação de métricas estatísticas e implementação no Sistema Comunitário de Avaliação de Modelos Numéricos de Previsão de Tempo e Clima” Sapucci et al. (2011) e “On the Validation of models” Willmott (1981) e resumo dos mesmos para entendimento e discussão com o orientador. Esta primeira parte do estudo é importante durante todo o período da bolsa, pois é o assunto que dará suporte ao tema da pesquisa da Iniciação Científica.

Para que fosse possível ter uma primeira ideia sobre os resultados dos modelos de previsão numérica de tempo, foi realizado um estudo prático com alguns tipos de saídas dos modelos. Para este propósito, foram utilizados arquivos de duas versões diferentes do modelo global do CPTEC, nomeados “3DVar” e “NCEP”. Este estudo prático envolveu a utilização do programa GrADS, que por meio de diversos comandos permite que diferentes tipos de gráficos sejam representados. Esses comandos também podem ser executados através de scripts simplificando a execução sequencial de várias linhas de comando. Esses gráficos foram feitos com a proposta de aprendizado do software GrADS. O programa também é capaz de fazer diversos tipos de cálculos, sendo um dos mais utilizados, o cálculo de interpolação no anexo “A” com o comando “regrid”, que é capaz de calcular qualquer valor dentro do espaço referenciado, por meio de um espaço entre pontos referenciais.

Os dois primeiros gráficos mostram a temperatura do ar sobre a região da América do Sul no dia 1 de Janeiro de 2013, sendo cada um deles referentes aos resultados dos modelos denominados “3DVar” e “NCEP”. Nas Figuras 2.1 e 2.2, estão representadas os recortes nas dimensões latitude x longitude e latitude x altura. Estes dois recortes permitem a visualização de diferentes características dos campos.

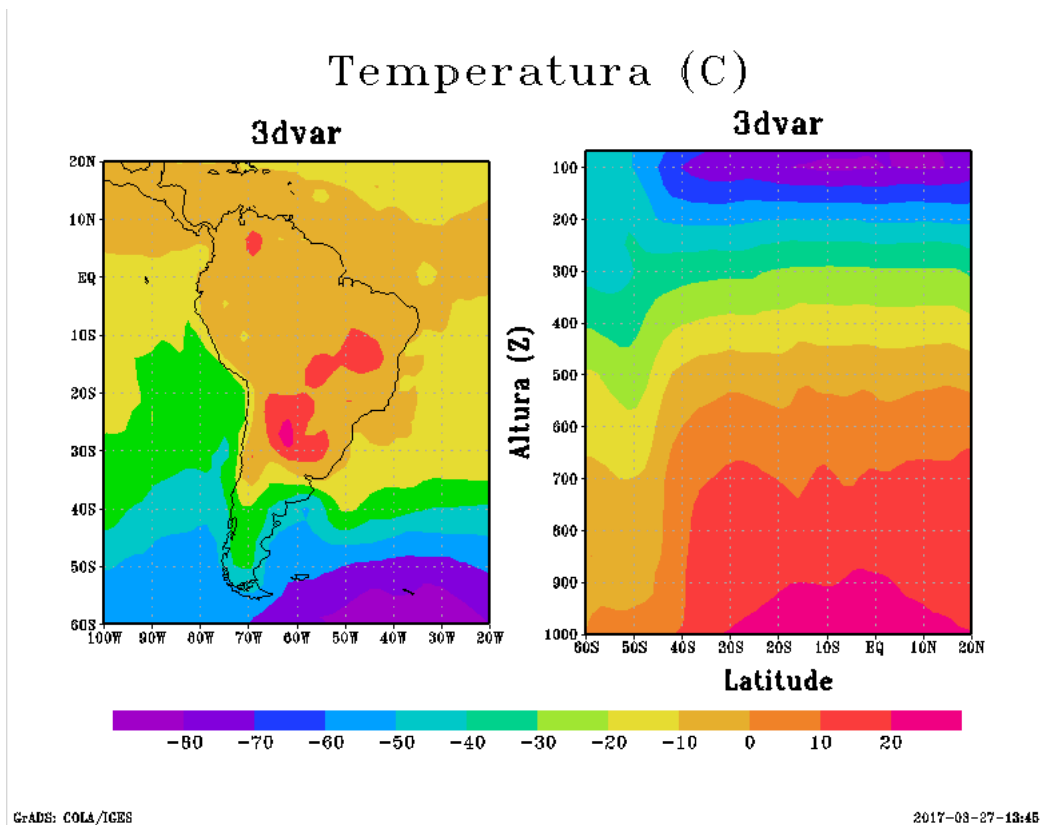


Figura 2.1 - Representação bidimensional da Temperatura do Ar sobre a América do Sul, proveniente da análise do 3DVar. À esquerda: representação latitude x longitude; à direita: representação latitude x altura (níveis de pressão).

A Figura 2.2 apresenta o mesmo campo da Figura 2.1 e para o mesmo período, mas para o modelo denominado “NCEP”. Neste caso, uma comparação entre os dois modelos utilizados é apenas subjetiva, através da observação entre as semelhanças e diferenças entre os modelos das Figuras 2.1 e 2.2. O SCANTEC é um software que permite a comparação objetiva entre dois ou mais modelos e uma referência, e esta comparação é feita através de estatísticas básicas.

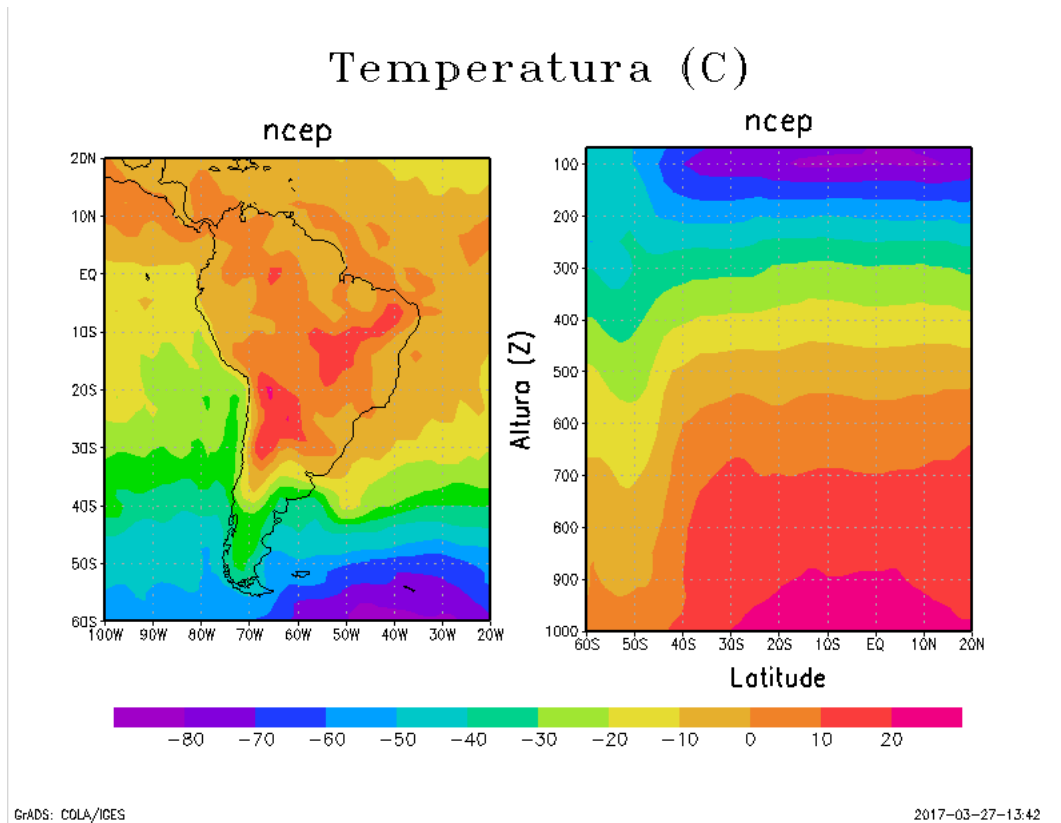


Figura 2.2 - Temperatura do ar sobre a região da América do Sul para no dia 1 de Janeiro de 2013, proveniente do modelo denominado “NCEP”, À esquerda: representação latitude x longitude; à direita: representação latitude x níveis de pressão.

Na Figura 2.3 estão representadas as médias espaciais da Umidade Específica sobre a América do Sul para o dia 1 de Janeiro de 2013. Neste caso, a média da área foi feita com o comando “aave”, que calcula a média em uma determinada área. O objetivo desta figura é entender a representação da média de um campo espacial.

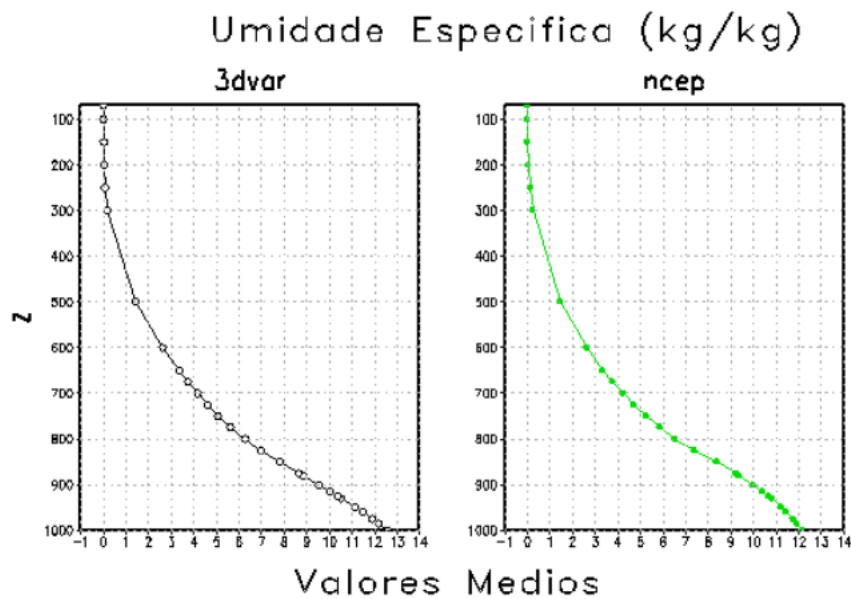


Figura 2.3 - Representação unidimensional da Umidade Específica: média da área. À esquerda, representação para a análise do 3DVar; à direita: representação para a análise do NCEP. Gráficos referente ao dia 1 de Janeiro de 2013.

O critério de acerto ou erro da previsão de precipitação baseia-se na ocorrência ou não do evento de chuva, onde qualquer previsão é de ocorrência ou não do evento em uma das duas categorias, sendo elas: as previsões e as observações.

A comparação entre elas pode ser feita através da Tabela de Contingência, uma ferramenta matemática de comparação entre os dados observados e as saídas gráficas da previsão do modelo.

Tabela 2.1 - Tabela de Contingência

		Observado		
		Sim	Não	
Previsão	Sim	a	b	$a + b$
	Não	c	d	$c + d$
		$a + c$	$b + d$	$a + b + c + d$

onde:

- a : o modelo previu chuva e ocorreu no ponto de verificação
- b : o modelo previu chuva no ponto e não ocorreu
- c : o modelo não previu chuva no ponto e ocorreu
- d : o modelo não previu chuva no ponto e não ocorreu

Com base na Tabela de Contingência é possível calcular alguns índices de avaliação sendo eles: a Proporção de Acerto (PA), o Índice Crítico de Sucesso (ICS), a Relação do falso alarme (RAF), a Probabilidade de Detecção (POD), a Pontuação de Ameaça (PEA) e o Viés.

A PA analisa o quanto o modelo acertou previamente em relação às previsões ocorridas. Esta fração é dada a n previsões ocorridas para as quais a probabilidade de prever corretamente, sendo que a proporção do pior do acerto é de 0 e a melhor é de 100 por cento. Podemos representar esse modelo teórico especificado acima pela Fórmula 2.1:

$$PA = \frac{a + d}{n} \quad (2.1)$$

O ICS indica o número de previsões corretas a dividida pelo número total de ocasiões no qual aquele evento foi previsto e observado, dada pela Fórmula 2.2:

$$ICS = \frac{a}{(a + b + c)} \quad (2.2)$$

Podendo variar de 0 a 100 por cento, sendo que quanto mais próximo esse valor se aproxima ou iguala a 100 melhor é o ICS do modelo.

O RAF, a Razão do falso alarme são as previsões de chuvas que não aconteceram, por isso o termo "Falso Alarme". Sua variação é de 0 a 100 por cento, nesse caso quanto mais próximo de zero melhor representa a capacidade do modelo de previsão. Sua representação é dada pela Formula 2.3:

$$RAF = \frac{b}{a + b} \quad (2.3)$$

As previsões dos modelos podem acertar, subestimar ou superestimar. Essas três

classes são obtidas em função da porcentagem de cada classe em relação a todos os dados existente no domínio da validação. O acerto por parte do modelo ocorre quando os valores encontram-se dentro de um determinado intervalo, sendo que, valores inferiores a esse intervalo são considerados como subestimativas, ou seja, o modelo representa dados inferiores em relação aos dados observados ou dados de referências. O mesmo acontece quando o modelo superestima, ou seja, quando seus resultados foram maiores que os dados referenciados.

2.1 SCANTEC

De acordo com Carrasco (2017) o módulo para a leitura e escrita dos dados do SCANTEC permite dispor um grande número de formatos normalmente usados nessa função. A versão atual em desenvolvimento está preparada para ler dados binários, em suas diferentes versões.

A Tabela 2.2 representa os valores do REQM de algumas variáveis contínuas gerada pelo SCANTEC, sendo também uma das tabelas utilizadas para fazer a simulação que gerou os resultados plotados nos gráficos da Figura 3.1.

Tabela 2.2 - Tabela da REQM gerado pelo SCANTEC

Previsao	VTMP-925	VTMP-850	VTMP-500	TEMP-850	TEMP-500	TEMP-250	UMES-925	UMES-850	UMES-500	UVEL-850	UVEL-500	UVEL-250
000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
006	1.031	0.897	0.521	0.888	0.528	0.535	0.783	0.828	0.370	1.491	1.375	1.835
012	1.302	1.221	0.740	1.207	0.747	0.743	0.985	1.022	0.465	1.984	1.964	2.684
018	1.562	1.508	0.921	1.484	0.928	0.935	1.121	1.183	0.529	2.382	2.493	3.309
024	1.716	1.719	1.084	1.687	1.089	1.111	1.213	1.280	0.573	2.693	2.924	3.833
030	1.921	1.941	1.245	1.900	1.249	1.278	1.305	1.393	0.613	2.970	3.308	4.312
036	2.043	2.111	1.400	2.064	1.402	1.433	1.376	1.472	0.642	3.213	3.650	4.767
042	2.186	2.275	1.551	2.220	1.552	1.579	1.432	1.543	0.669	3.440	3.973	5.222
048	2.296	2.424	1.702	2.363	1.702	1.725	1.479	1.593	0.692	3.649	4.277	5.674
054	2.432	2.575	1.859	2.509	1.856	1.864	1.524	1.646	0.716	3.853	4.576	6.114
060	2.517	2.699	2.011	2.628	2.007	2.002	1.561	1.687	0.736	4.052	4.866	6.530
066	2.626	2.826	2.164	2.749	2.158	2.132	1.589	1.723	0.753	4.249	5.159	6.931
072	2.722	2.952	2.314	2.871	2.306	2.260	1.613	1.752	0.769	4.442	5.445	7.321
078	2.838	3.082	2.463	2.996	2.454	2.380	1.637	1.777	0.782	4.622	5.720	7.681
084	2.920	3.198	2.604	3.107	2.593	2.491	1.659	1.799	0.795	4.792	5.977	8.025
090	3.021	3.314	2.739	3.219	2.727	2.593	1.680	1.821	0.808	4.943	6.221	8.344
096	3.112	3.428	2.868	3.330	2.855	2.692	1.697	1.838	0.819	5.076	6.441	8.636
102	3.216	3.541	2.990	3.440	2.976	2.785	1.713	1.857	0.829	5.200	6.645	8.915
108	3.289	3.638	3.107	3.533	3.091	2.872	1.729	1.874	0.837	5.319	6.825	9.176
114	3.376	3.735	3.222	3.627	3.205	2.953	1.743	1.890	0.846	5.431	7.000	9.428
120	3.456	3.831	3.328	3.719	3.310	3.028	1.754	1.904	0.853	5.537	7.164	9.675

A Tabela 2.3 representa os valores do CCA de algumas variáveis contínuas gerada pelo SCANTEC, conforme dito anteriormente essa tabela tem a mesma importância na confecção dos diagramas polares da Figura 3.1.

Tabela 2.3 - Tabela da CCA gerado pelo SCANTEC

Previsao	VTMP-925	VTMP-850	VTMP-500	TEMP-850	TEMP-500	TEMP-250	UMES-925	UMES-850	UMES-500	UVEL-850	UVEL-500	UVEL-250
000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
006	0.970	0.978	0.992	0.977	0.992	0.996	0.987	0.978	0.955	0.970	0.990	0.992
012	0.955	0.963	0.983	0.960	0.983	0.991	0.980	0.966	0.928	0.947	0.980	0.983
018	0.938	0.947	0.975	0.943	0.974	0.986	0.974	0.955	0.905	0.924	0.967	0.973
024	0.928	0.934	0.965	0.930	0.965	0.980	0.970	0.947	0.887	0.902	0.954	0.964
030	0.912	0.918	0.955	0.914	0.954	0.974	0.965	0.937	0.870	0.881	0.941	0.954
036	0.901	0.906	0.944	0.901	0.943	0.967	0.961	0.929	0.856	0.860	0.928	0.944
042	0.889	0.893	0.931	0.888	0.930	0.960	0.958	0.922	0.842	0.839	0.915	0.932
048	0.880	0.880	0.918	0.875	0.917	0.952	0.955	0.917	0.829	0.819	0.901	0.920
054	0.865	0.866	0.903	0.860	0.902	0.944	0.952	0.911	0.816	0.797	0.886	0.906
060	0.855	0.853	0.887	0.847	0.886	0.936	0.950	0.906	0.803	0.775	0.870	0.893
066	0.842	0.839	0.870	0.833	0.869	0.927	0.948	0.902	0.793	0.752	0.854	0.878
072	0.832	0.825	0.852	0.819	0.851	0.918	0.946	0.898	0.782	0.729	0.836	0.864
078	0.816	0.808	0.833	0.801	0.832	0.909	0.945	0.895	0.773	0.706	0.819	0.849
084	0.803	0.791	0.814	0.785	0.813	0.900	0.943	0.893	0.764	0.683	0.801	0.834
090	0.788	0.775	0.795	0.768	0.794	0.892	0.942	0.890	0.755	0.662	0.784	0.820
096	0.777	0.758	0.776	0.751	0.775	0.884	0.941	0.888	0.747	0.642	0.767	0.806
102	0.760	0.740	0.757	0.733	0.756	0.876	0.940	0.885	0.739	0.623	0.751	0.792
108	0.747	0.723	0.739	0.715	0.738	0.869	0.938	0.883	0.733	0.604	0.737	0.779
114	0.733	0.707	0.721	0.698	0.720	0.862	0.937	0.881	0.726	0.586	0.722	0.766
120	0.722	0.691	0.704	0.682	0.703	0.855	0.937	0.879	0.720	0.569	0.708	0.752

Os dados analisados pelo SCANTEC são representados em três gráficos diferentes com suas respectivas métricas, mais utilizados para analisar os modelos de PNT, conforme demonstrado a baixo:

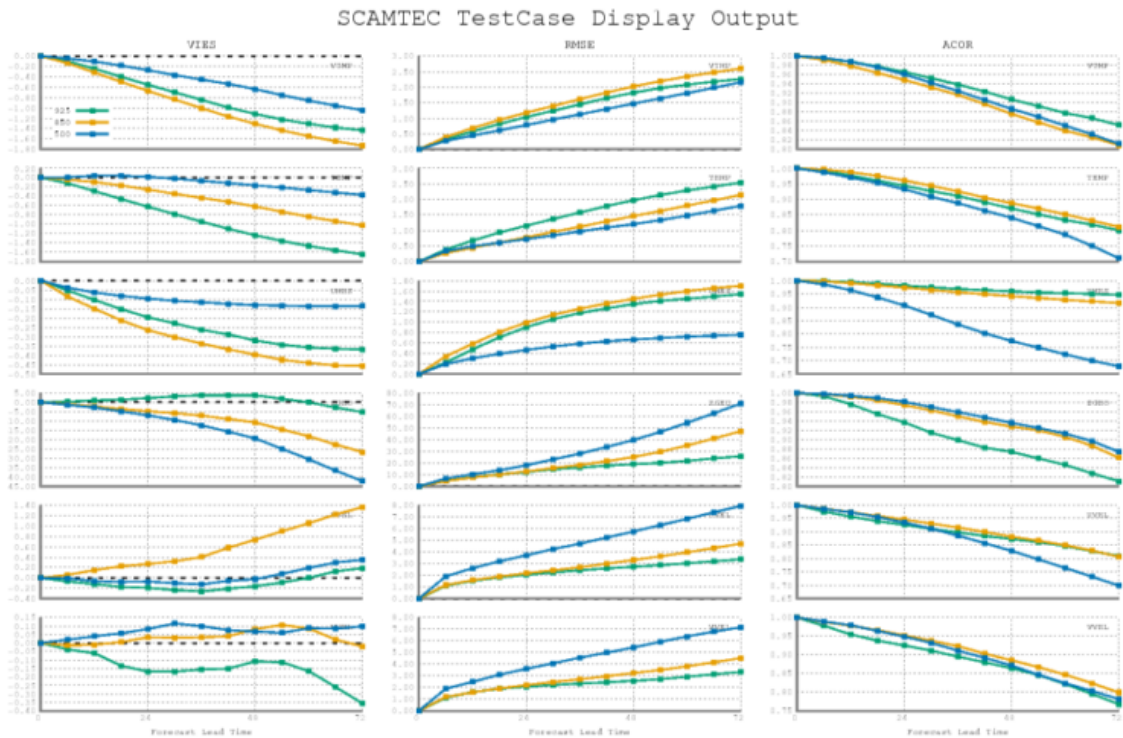


Figura 2.4 - Os gráficos representam o REQM, o VIES e o CCA no período do dia 5 a 15 de agosto de 2014. Esses gráficos são feitos a partir da tabela gerada pelo SCANTEC, pela leitura das métricas tabeladas.

As análises desses gráficos tem suas limitações, já que a análise tem que ser realizada com os três gráficos simultaneamente. Com isso, a proposta é incluir no programa uma representação gráfica simplificada para tentar inferir a precisão e acurácia de um modelo. Para desenvolver essa melhoria, será usado como base desse estudo, o Diagrama de Taylor.

2.2 Diagrama de Taylor

O Diagrama de Taylor exhibe estatísticas úteis para avaliar a semelhança de uma variável simulada por um modelo em relação à variável observada. A seguir um exemplo de Diagrama de Taylor:

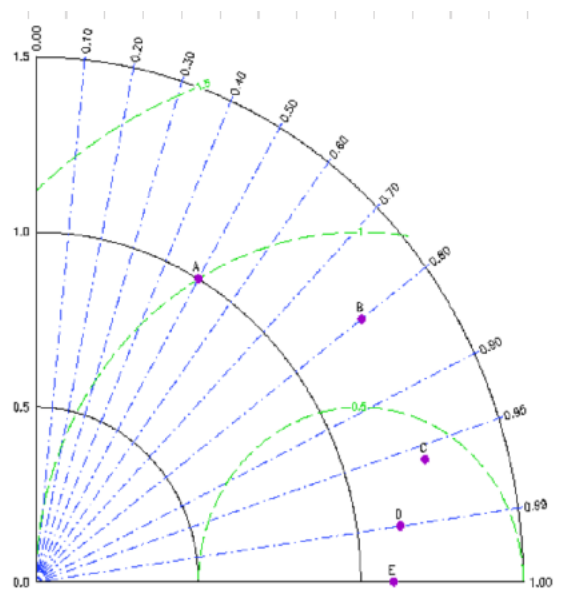


Figura 2.5 - Diagrama de Taylor representando uma simulação com cinco modelos distintos. São representados 5 avaliações A, B, C, D e E. O experimento A mostra $CCA = 0,5$ (linha azul), $REQM = 1$ (linha verde), e $Desvio\ Padr\~ao(S) = 1$ (linha preta). O ideal seria $REQM = 0$, $CCA = 1$ e $S = 1$. Fonte: <<http://www.lamma.ufrj.br/sites/spo/atlasul/scripts/taylor/diagrama.php>>.

O Diagrama de Taylor é basicamente um diagrama polar no qual podem ser representados nos eixos x e y os valores da Raiz do Erro Quadrático Médio, no ângulo de inclinação pode ser representado a Correlação de Anomalia, e o Desvio Padrão pode ser representado pelas linhas pretas tendo seu ponto de origem o zero e sendo referenciado por um ponto pré determinado (ponto de referência).

Esse diagrama foi desenvolvido por Taylor et al. (2000) para visualizar informações do padrão de similaridade entre modelo e observações, e caracteriza a relação estatística entre esses dois componentes. Cada ponto, no espaço bidimensional, do Diagrama de Taylor representa três estatísticas diferentes ao mesmo tempo: o REQM, o CCA e o S. Essas estatísticas estão relacionadas pela seguinte Fórmula 2.4:

$$E'^2 = \sigma_f^2 + \sigma_r^2 - 2\sigma_f\sigma_r R \quad (2.4)$$

onde:

- R é o CCA entre a previsão e a observação;
- E' é o REQM;
- σ_f e σ_r são os Desvios Padrão da previsão e da observação;

A construção do diagrama é baseada na similaridade dessa equação com a Lei dos Cossenos.

2.3 Métricas Estatísticas Básicas

As Métricas Estatísticas são frequentemente utilizadas para avaliação das variáveis contínuas, sendo também base para gerar as tabela de saída do SCANTEC sendo representada acima nas Tabela 2.2 e Tabela 2.3.

2.3.1 Viés

O Viés, de forma simplificada, é a comparação da previsão média com a observação. Especificamente, o Viés trata do desvio médio em relação ao valor verdadeiro ou valor de referência. Podendo ser maior, menor ou igual ao valor referenciado. Se o Viés for próximo do valor de referência, mais precisa será a capacidade do modelo de previsão. O Viés é expresso pela Formula 2.5:

$$VIES = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x'_i - x_i) \quad (2.5)$$

onde:

- n : números de pontos de grade;

- x_i : valor observado;
- x'_i : valor previsto;
- i : tempo ou ponto de grade;

2.3.2 Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM)

A Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM) representa uma medida da diferença média entre os valores previstos e observados. Devido ao termo quadrático na equação, o REQM é mais sensível a grandes erros na previsão e é definido como a média do quadrado da diferença entre o valor estimado e o valor de referência. Sua expressão é dada pela seguinte Fórmula 2.6:

$$REQM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x'_i - x_i)^2 \quad (2.6)$$

onde:

- n : números de pontos de grade;
- x_i : valor observado;
- x'_i : valor previsto;
- i : tempo ou ponto de grade;

2.3.3 Coeficiente de Correlação de Anomalia (CCA)

O Coeficiente de Correlação de Anomalia (CCA) pode ser descrito por uma medida adimensional (sem grandeza física ou unidade) e positiva, sendo geralmente utilizada para verificar a correlação (espacial ou temporal) entre os campos meteorológicos previstos, os campos de análise e o intervalo da extensão das previsões válidas dos modelos. A anomalia mede, portanto, o “desvio” do valor previsto com respeito à sua medida climática ou histórica, e o desvio do valor analisado com respeito à sua medida climática. O CCA pode ser calculado pela Fórmula 2.7:

$$CCA = \frac{\sum_{i=1}^n [(P_i - C_i) - (\overline{P_i - C_i})][(A_i - C_i) - (\overline{A_i - C_i})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n [(P_i - C_i) - (\overline{P_i - C_i})]^2 \sum_{i=1}^n [(A_i - C_i) - (\overline{A_i - C_i})]^2}} * 100 \quad (2.7)$$

onde:

- P : previsões;
- A : análises;
- C : climatologia;
- i : tempo ou ponto de grade;

3 RESULTADOS

Após todo levantamento teórico sobre meteorologia, software e ferramentas utilizadas no CPTEC, pôde-se desenvolver um Script, que possibilita a leitura das tabelas geradas pelo SCANTEC com os valores de VIÉS, REQM e CCA. Esse Script fornece os diagramas polares de cada horário de previsão para cada experimento, mostrando assim os valores de duas métricas no mesmo diagrama. Com o apoio da linguagem de programação Python gerou-se os Diagramas Polares da Figura 3.1, com o objetivo de tornar a análise mais simplificada e coerente.

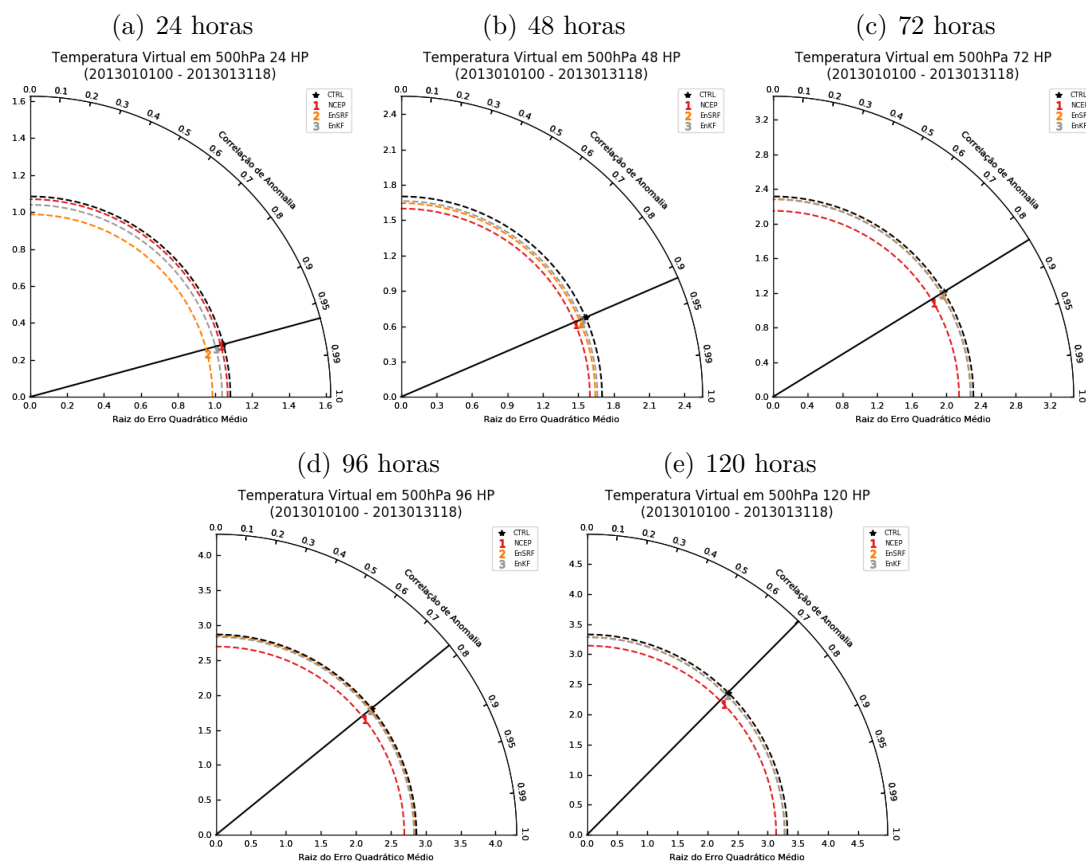


Figura 3.1 - Diagramas de 24 a 120 horas dos modelos testados NCEP, EnSRF e EnKF, com base no modelo de referência CTRL. Esse diagrama está representando como se comporta a variação de uma das variáveis, VTMP-500 (Temperatura Virtual em 500 hPa) durante os horários de previsão. Nos eixos estão demonstrados os valores do REQM e no ângulo os valores do CCA

Com as leituras das tabelas aliado à lógica de programação, foi possível ter uma ideia de como calcular a precisão e acurácia dos modelos, pois o script é capaz de calcular

as diferenças entre os valores dos experimentos em relação à um valor de referência.

Pela definição do termo, a precisão é quando os valores da REQM de um modelo tem menor variação em relação a uma referência, assim quanto menor a variação entre os valores, mais preciso é o modelo. Na Tabela 2.2 sendo uma representação dos resultados do script, tem-se que às 6 horas o modelo EnKF é o mais preciso e o modelo menos preciso é o NCEP, pois o EnKF apresenta a menor diferença da REQM em relação ao CRTL (Modelo considerado como referência).

Tabela 3.1 - Tabela de Precisão dos Modelos

Horas	Modelo Mais Preciso	Modelo Menos Preciso
6	EnKF	NCEP
12	NCEP	EnSRF
18	NCEP	EnSRF
24	NCEP	EnSRF
30	EnKF	EnSRF
36	EnKF	EnSRF
42	EnKF	NCEP
48	EnKF	NCEP
54	EnKF	NCEP
60	EnKF	NCEP
66	EnSRF	NCEP
72	EnSRF	NCEP
78	EnSRF	NCEP
84	EnSRF	NCEP
90	EnSRF	NCEP
96	EnSRF	NCEP
102	EnSRF	NCEP
108	EnSRF	NCEP
114	EnSRF	NCEP
120	EnSRF	NCEP

O mesmo critério para calcular a diferença do REQM, foi utilizado para determinar a acurácia, porém usando os valores do CCA. Assim, por definição quanto mais próximo os valores de correlação de um modelo é de sua referência, mais acurado é esse modelo. A Tabela 2.3 apresenta a classificação dos modelos testados em mais e menos acurado em cada horário de previsão. Nota-se que nas 6 horas de previsão o experimento EnKF é o mais acurado, pois apresenta a menor diferença do CCA em relação a CRTL (Modelo considerado como referência). Nessa simulação, com 18

horas de previsão, tem-se dois modelos mais acurados e isso se deve ao fato de que as diferenças entre esses modelos em relação à referência são as mesmas.

Tabela 3.2 - Tabela de Acurácia dos modelos

Horas	Modelo Mais Acurado	Modelo Menos Acurado
6	EnKF	NCEP
12	NCEP	EnSRF
18	NCEP/EnKF	EnSRF
24	NCEP	EnSRF
30	NCEP	EnSRF
36	NCEP	EnSRF
42	EnKF	EnSRF
48	EnKF	EnSRF
54	EnKF	NCEP
60	EnKF	NCEP
66	EnKF	NCEP
72	EnKF	NCEP
78	EnKF	NCEP
84	EnKF	NCEP
90	EnKF	NCEP
96	EnKF	NCEP
102	EnKF	NCEP
108	EnKF	NCEP
114	EnKF	NCEP
120	EnKF	NCEP

Analisando as tabelas geradas, pode-se identificar qual é o melhor modelo para cada horário de previsão. Como por exemplo, nas 6 horas de previsão o modelo EnKF apresentou ser o modelo mais hábil, pois é o mais preciso e o mais acurado dentre todos os outros modelos testados.

4 CONCLUSÕES

Conclui-se que a melhoria proposta para a simplificação da análise dos modelos de previsão, por meio da transformação da análise de múltiplos gráficos em um único, além de ter sido concluída, é capaz também de classificar os modelos quanto à sua precisão e acurácia, ou seja, comparando a variação das variáveis Raiz do Erro Quadrático Médio e Coeficiente de Correlação de Anomalia com um modelo referencial, uma qualidade do script construído por um lógica dinâmica possibilita a leitura das tabelas independente da quantidade de horas previstas e a quantidade de modelos que se queira analisar. Uma das etapas que contribuiu para atingir o objetivo do projeto, também foi alcançado, já que o script desenvolvido é capaz de plotar as imagens dos diagramas polares dos modelos. Algumas dificuldades como, o processo de aprendizagem em um período razoavelmente curto, o prévio domínio básico em uma linguagem de programação e também em uma língua estrangeira, com termos científicos, foram encontradas durante o curso do projeto, porém sendo possível concluí-lo positivamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARRASCO, A. R. **Método de Avaliação Orientada a Objeto aplicado às previsões de precipitação sobre a América do Sul**. Dissertação (Mestrado) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2017. 10
- MIKHAIL, E.; ACKERMANN, F. **Observations and least squares**. IEP, 1976. (IEP series in civil engineering). ISBN 9780700224814. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=Yx3vAAAAMAAJ>>. 1
- SAPUCCI, L. F.; MATTOS, J. G. F. d.; SANTOS, A. F. d.; GONÇALVES, L. G. G. d.; BASTARZ, C. F.; SCHUBERT, D. V. Potencialidades do scamtec (sistema de avaliação de modelos numérico de previsão de tempo e clima) na avaliação de previsões de precipitação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA., 2011, Guarapari-SP Rio de Janeiro RJ. **Anais...** [S.l.]: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2011. Setores de Atividade: Pesquisa e desenvolvimento científico. Acesso em: 28 abr. 2017. 5
- TAYLOR, K.; DIAGNOSIS, L. L. N. L. P. for C. M.; INTERCOMPARISON. **Summarizing Multiple Aspects of Model Performance in a Single Diagram**. Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison, Lawrence Livermore National Laboratory, 2000. (PCMDI report). Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=moBDGwAACAAJ>>. 13
- WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical geography**, Taylor & Francis, v. 2, n. 2, p. 184–194, 1981. 1, 5

APÊNDICE - INTERPOLAÇÃO BILINEAR

A interpolação bilinear é uma extensão da linear. O objetivo é interpolar funções para duas variáveis, para isso é necessário a realização da interpolação linear em uma direção, e depois novamente em outra direção.

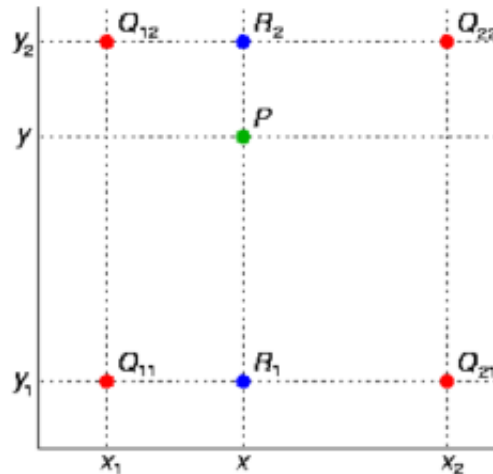


Figura A.1 - Representação gráfica de uma grade regular contendo suas devidas condensas. O objetivo para utilizar essa interpolação é encontrar a coordenada do ponto (P). Fonte: <<http://www.im.ufal.br/professor/thales/icg/Aula1.2.pdf>>

Suponha que queremos encontrar o valor da função desconhecida f no ponto $P = (x, y)$. Supõe-se que sabemos o valor de f em quatro pontos $Q_{11} = (x_1, y_1)$, $Q_{12} = (x_1, y_2)$, $Q_{21} = (x_2, y_1)$ e $Q_{22} = (x_2, y_2)$.

1 - Interpolação linear na direção x :

$$f(R_1) = \frac{(x_2 - x)}{(x_2 - x_1)}f(Q_{11}) + \frac{(x - x_1)}{(x_2 - x_1)}f(Q_{21}) \quad (\text{A.1})$$

$$f(R_2) = \frac{(x_2 - x)}{(x_2 - x_1)}f(Q_{12}) + \frac{(x - x_1)}{(x_2 - x_1)}f(Q_{22}) \quad (\text{A.2})$$

onde $R_1 = (x, y_1)$ e $R_2 = (x, y_2)$

2 - Interpolação linear na direção y :

$$f(P) = \frac{(y_2 - y)}{(y_2 - y_1)} f(R_1) + \frac{(y - y_1)}{(y_2 - y_1)} f(R_2) \quad (\text{A.3})$$

ou seja:

$$\begin{aligned} f(P) &= \frac{f(Q_{11})}{(x_2 - x_1)(y_2 - y_1)} (x_2 - x)(y_2 - y) \\ &\quad + \frac{f(Q_{21})}{(x_2 - x_1)(y_2 - y_1)} (x - x_1)(y_2 - y) \\ &\quad + \frac{f(Q_{12})}{(x_2 - x_1)(y_2 - y_1)} (x_2 - x)(y - y_1) \\ &\quad + \frac{f(Q_{22})}{(x_2 - x_1)(y_2 - y_1)} (x - x_1)(y - y_1) \end{aligned} \quad (\text{A.4})$$