



## XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

### *O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*

## **Precipitação nas estações seca e chuvosa em Belo Horizonte, Minas Gerais (1961 a 2015)**



*Maria José Hatem de Souza<sup>1</sup>; Daniel Dantas<sup>2</sup>, Fulvio Cupolillo<sup>3</sup>, Karine Rocha Santos<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>Eng. Agrícola, Prof. Associada, Depto. de Agronomia, UFVJM, Diamantina-MG, (38) 9962 0428, mariahatem@yahoo.com.br

<sup>2</sup>Graduando em Eng. Florestal, UFVJM, Diamantina-MG, dantasdaniel12@yahoo.com.br

<sup>3</sup>Geógrafo, Prof. D1 de Climatologia do IFMG, Campus Santa Luzia – MG, fulvio.cupolillo@ifmg.edu.br

<sup>4</sup>Graduanda em Eng. Florestal, UFVJM, Diamantina-MG, karocho.floresta@hotmail.com

**RESUMO:** A precipitação é um dos elementos meteorológicos de maior importância para o abastecimento dos recursos hídricos de uma região. Sua classificação e predição na estação seca e chuvosa são importantes para o planejamento do uso da água no meio rural e urbano. Diante desse contexto este estudo visa avaliar a precipitação em Belo Horizonte nas estações secas e chuvosas, durante o período janeiro de 1961 a março de 2015; dados estes obtidos nas estações do INMET. Empregou-se a metodologia dos quantis, para períodos semestrais de maior e menor ocorrência de precipitação, estação chuvosa (EC), de outubro a março, e estação seca (ES), de abril a setembro; e as classifica como Muito seca (MS), Seca (S), normal (N), chuvosa (C) e muito chuvosa (MC). Os dados foram avaliados para o período todo e para 1961 a 1990 (P1) e 1991 a 2015 (P2). Ao utilizar as Redes Neurais Artificiais (RNA) para avaliar a inter-relação entre as estações, verificou-se um erro percentual médio de 12,6%, na predição da precipitação da EC. A precipitação estimada na EC de 2014-2015 teve um erro de estimativa de 11,28%. A precipitação média, em Belo Horizonte, durante o PC é 1348 mm (88% do total anual), e a do PS de 172 mm. A EC com maior precipitação foi em 1984-1985 com 2156 mm, e a menor em 1979-1980, com 923 mm. Já a ES com maior e menor precipitação foram em 2014 (321mm) e 1963 (7mm), respectivamente. Quando analisados nos subperíodos P1 e P2 verificaram-se um aumento percentual da precipitação em relação à P1 de 12% na ES e de 7% na EC; na EC-P1 o total precipitado representa 88,5% do anual, e para o EC-P2 de 86,7%. Apesar de em 2014 a ES ter sido MC, as duas últimas ECs foram MS. Diante destes resultados a população de Belo Horizonte deve economizar água para evitar o racionamento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Precipitação, Período chuvoso, Redes Neurais Artificiais.

### **Rainfall in the dry and wet seasons in Belo Horizonte, Minas Gerais (1961-2015)**

**ABSTRACT:** Rainfall is one of the meteorological elements of the most importance for the supply of water resources of a region. Their classification and prediction in the dry and rainy season are important for planning the use of water in rural and urban areas. In this context this study aims to evaluate the rainfall in Belo Horizonte in the dry and rainy seasons, during January 1961 to March 2015; data obtained from these stations INMET. It was used the methodology of quantis, for six-month periods of greatest and lowest rainfall, rainy season (EC), from October to March, and the dry season (ES), from April to September; and ranks as Very dry (MS), Dry (S), normal (N), rainy (C) and very rainy (MC). Data were evaluated for the entire period and for 1961-1990 (P1) and 1991-2015 (P2). By utilizing Artificial Neural Networks (RNA) to evaluate the interrelation between stations, there was an average percentage error of 12,6% in predicting rainfall of the ES. The estimated rainfall in the EC of 2014-2015 has had an 11.28% estimation error. The average rainfall in Belo Horizonte during the EC is 1348 mm (88% of the annual total), and the 172 mm ES. The EC with highest rainfall was in 1984-1985 with 2156 mm, and the lowest in 1979-1980, with 923 mm. Already the ES with higher and lower precipitation were in 2014 (321mm) and 1963 (7 mm), respectively. When analyzed in sub-periods P1 and P2 there



## XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:



### *O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*

has been a percentage increase of precipitation in relation to P1 by 12% ES and EC in 7%; EC-P1 in the total rainfall is 88.5% of the annual, and the EC-P2 86.7%. Although in 2014 the ES have been MC, the last two were EC MS. In view of these results the population of Belo Horizonte shall to save water to avoid rationing.

**KEY WORDS:** Rainfall, rainy period, Artificial Neural Networks.

## INTRODUÇÃO

Precipitação é o processo pelo qual a água condensa na atmosfera e atinge gravitacionalmente a superfície terrestre. Trata-se do principal mecanismo de reposição dos recursos hídricos da superfície terrestre (Pereira et al., 2002). A precipitação pode ocorrer através de chuva, granizo, neve, orvalho e geada. Seu estudo é de grande interesse pelas consequências óbvias que a sua falta ou excesso causam a vida humana (Souza et al., 2005a). Do ponto de vista agrícola, o estudo da precipitação sob a forma pluvial, chuva, é de grande interesse pelas consequências óbvias que a sua falta ou excesso traz à produção vegetal e animal.

Para o planejamento urbano e rural é de grande importância o conhecimento, para uma região, do total precipitado durante o ano e do regime de chuvas, uma vez que diferem de local para local, dependendo das características climáticas e geográficas (Silva et al., 2007; Minuzzi et al., 2007; Costa et al., 1994).

No Estado de Minas Gerais o regime pluviométrico apresenta uma grande diversificação de valores de precipitação, dada a sua grande extensão territorial e a grande variabilidade de relevo. No entanto existem algumas características comuns em praticamente todas as regiões, tais como: dois períodos bem definidos, um chuvoso no verão e o outro seco no inverno. A precipitação na sua quase totalidade concentra-se em seis e sete meses do ano (outubro a abril), sendo o trimestre de dezembro a fevereiro, responsável por mais de 50% do total anual (Antunes, 1986).

As estações chuvosas e secas podem ser classificadas com base na metodologia dos quantis (apresentado por Xavier, 2001) que agrupa em os períodos mensais de maior ocorrência de precipitação, com duração de seis meses, denominados “sexta chuvosa”; e se empregada para os seis meses mais secos (período seco) caracterizados pelos meses de abril a setembro.

Com relação à predição da precipitação vários métodos podem ser utilizados. Pode-se citar que as Redes Neurais Artificiais (RNA) que têm apresentado resultados satisfatórios na projeção climática. De uma forma simples, segundo Oikawa (2013), a RNA pode ser definida como uma ferramenta estatística que, por meio do processamento de informações, gera uma saída (dados preditos) a partir de uma ou mais entradas (preditores). Através de sucessivas apresentações dos dados de entrada e saída previamente conhecidas, a RNA aprende a relação entre elas (entrada e saída).

O objetivo do presente trabalho foi classificar as estações chuvosas e secas e também utilizar as Redes Neurais Artificiais (RNA) para estimação da precipitação na estação chuvosa, com base em dados de precipitação nas estações secas e chuvosas anteriores em Belo Horizonte, Minas Gerais.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Utilizaram-se dados climáticos mensais, da Estação Climatológica Principal do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) em Belo Horizonte, MG (915 m de altitude, latitude de 19,93°S e longitude de 43,93°W). Os dados são referentes ao período de janeiro de 1961 a março de 2015 disponibilizados pelo INMET, no site e, no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (INMET-BDMEP,

***O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros***

2015). Os dados utilizados foram referentes à precipitação diária ocorrida das 9h do dia anterior até as 9h do dia seguinte, conforme padronização internacional da OMM (Organização Meteorológica Mundial).

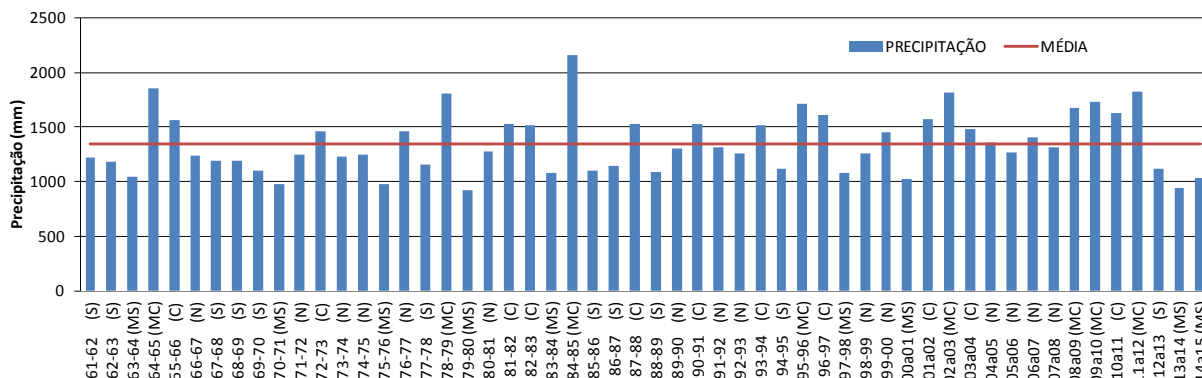
Empregou-se a metodologia dos quantis (segundo apresentado por Xavier, 2001) que agrupou períodos mensais de maior ocorrência de precipitação com duração de seis meses, denominados “sexta chuvosa”, ou seja, período chuvoso caracterizado entre o mês de outubro e março. As estações chuvosas (EC) ou períodos chuvosos (PC) foram classificados como Muito seco (MS), Seco (S), normal (N), chuvoso (C) e muito chuvoso (MC), utilizando os quantis Q(0,15), Q(0,35), Q(0,50), Q(0,65) e Q(0,85), respectivamente como limites para tais classificações. O procedimento foi repetido para a estação seca ou “sexta seca”, definida como o semestre menos chuvoso, que ocorre de abril a setembro.

As Redes Neurais Artificiais (RNA) foram treinadas no Statistica 10 (Statsoft, 2014), por meio da ferramenta Automated Neural Networks (ANN), utilizando-se a análise do tipo séries temporais. Todas as redes utilizadas foram do tipo Radial basis function (RBF) com 1 camada de entrada, 1 camada oculta e 1 camada de saída. A escolha do número de neurônios na camada oculta da rede foi feita de forma automatizada pela ferramenta ANN. Foram treinadas 50 redes neurais, sendo retida a rede que apresentou maior desempenho nos valores de treinamento, teste e validação. A avaliação dos resultados obtidos com as RNA desenvolvidas foi feita com base no cálculo dos Erros Relativos Médios (ERM) (Schaeffer, 1980).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

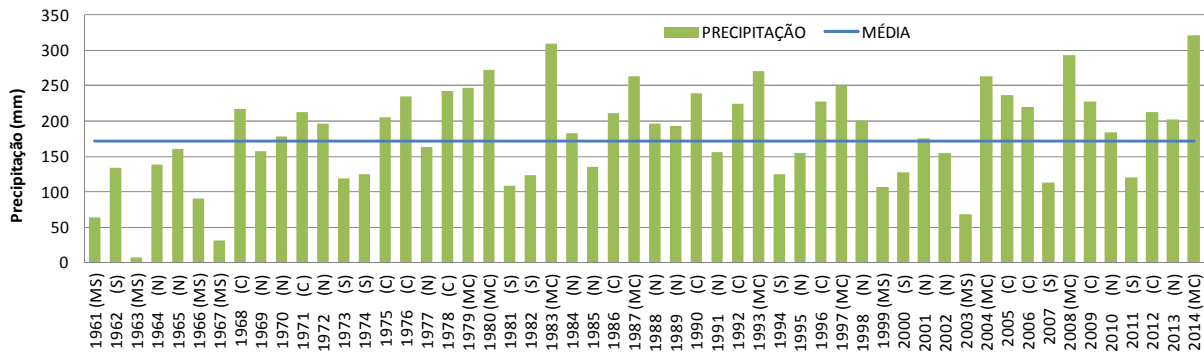
Na Figura 1 são apresentados os valores acumulados mensais de precipitações médias do período de 1961 a 2015. Observa-se nesta figura que a estação chuvosa de 1984 a 1985 foi a de maior valor precipitado (2156mm), seguida pela de 1964 a 1965 (1855mm) e pela de 2011 a 2012 (1826mm). Já a de 1979 a 1980 foi a estação chuvosa mais seca, com menor cota pluviométrica de todas com 923mm precipitados, seguida pela de 2013 a 2014 (941mm), e pela de 1970 a 1971.

Com relação à estação seca, observa-se na Figura 2, que de 1961 a 2014, a estação seca mais seca, com menor cota pluviométrica, foi a de 1963 com apenas 7mm de precipitação acumulada no semestre de abril a setembro, e a de maior volume precipitado foi a de 2014, com 321mm. O valor médio para a estação seca é de 181mm, e para a estação chuvosa de 1348mm.



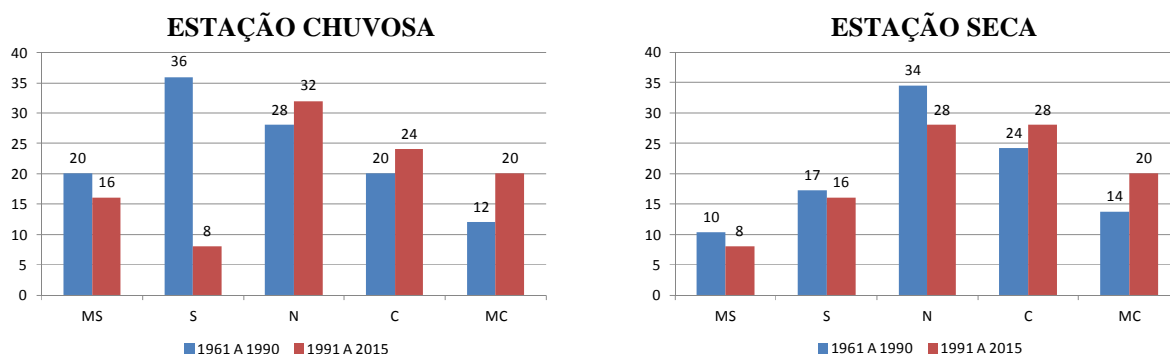
**Figura 1.** Precipitação na estação chuvosa (outubro a março) e sua classificação, muito seca (S), seca (S), normal (N), chuvosa (C), e muito chuvosa (MC).

Quando se analisa os períodos de 1961 a 1990 (P1) e de 1991 a 2015 (P2) pode-se verificar, nas figuras 1 a 3, que a porcentagem de ocorrências de estações normais foi de 28% (P1) e 32% (P2) para as estações chuvosas e de 34% (P1) e de 28% (P2) para as estações secas.



**Figura 2.** Precipitação na estação seca (abril a setembro) e sua classificação, muito seca (S), seca (S), normal (N), chuvosa (C), e muito chuvosa (MC).

Para o período de 1961 a 1990 (Figura 3) a maior ocorrência de estações chuvosas secas e muito secas, quando comparadas as chuvosas e muito chuvosas; resultado inverso é observado para a estação seca de P1, em que se se tem uma maior ocorrência de estações secas mais chuvosas e muito chuvosas (totalizando 38% acima da normalidade). Para o período de 1991 a 2015 verifica-se maior ocorrência (34%) de estações chuvosas classificadas como chuvosas (24%) e muito chuvosas (20%), contra 16% muito secas e 8% secas. Já para a estação seca para este mesmo período verifica-se também que as maiores ocorrências são acima da normalidade com 28% das estações secas classificadas como C e 20% MC, enquanto 8% são MS e 16% S.



**Figura 3.** Porcentagem de ocorrência das estações muito seca (MS), seca (S), Normal (N), chuvosas (C) e muito chuvosas (MC), em relação ao total, para os períodos de 1961 a 1990 e de 1991 a 2015 nas estações chuvosas e secas.

Quando se analisa mensalmente (Tabela 2) verifica-se que dezembro é o mês mais chuvoso, com 336mm, seguido do mês de janeiro com 311mm, e por novembro (237mm). O mês menos chuvoso é do de junho e julho (11mm), seguidos pelo mês de agosto (13mm). A media anual da precipitação é de 1536mm, com desvio padrão de 331mm e coeficiente de variação de 22%. Observa-se também nesta tabela que os maiores coeficientes de variação são nos meses da sexta seca, de abril a setembro, em que os maiores valores ocorrem nos meses de menor precipitação..

Observa-se na Figura 3, que na estação chuvosa, no período de 1961-1990 há um predomínio de ocorrências de estações muito secas e secas, enquanto no período de 1991-2015 a ocorrência predominante é normal, chuvosa e muito chuvosa. Durante a estação seca, no período de 1961-1990, o predomínio ocorrido é de muito seco, seco e normal, enquanto no período de 1961-2015 o predomínio é chuvoso e muito chuvoso. Tal fato demonstra uma mudança no padrão das chuvas de Belo Horizonte,

***O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros***

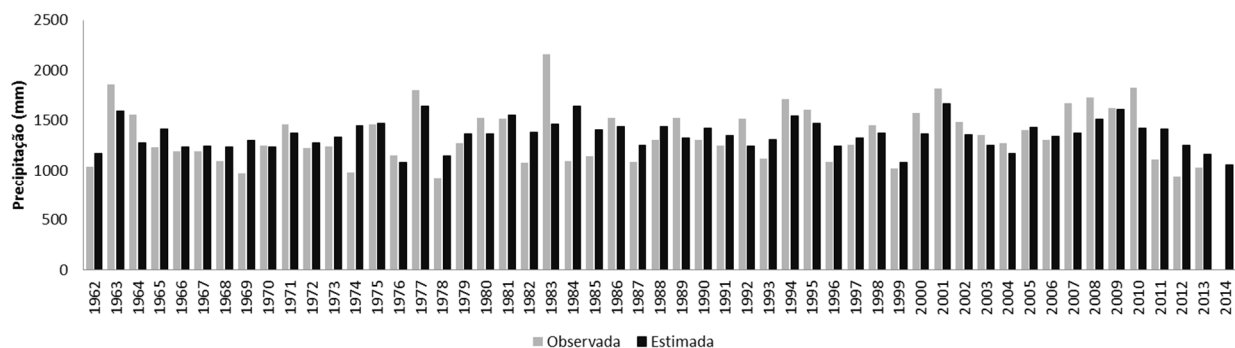
nos dois períodos (1961-1990 e 1991-2015), a estação chuvosa como a estação seca, estão se transformando, cada vez mais, em porcentuais de ocorrências chuvosa e muito chuvosa. Este processo, devido ao seu período curto de tempo (em torno de 30 anos), sugere evidências de uma flutuabilidade climática natural. Na Tabela 1 ainda pode-se observar os maiores e menores valores precipitados mensalmente em Belo Horizonte

**Tabela 1.** Médias mensais, desvio-padrão, coeficiente de variação (CV), e valores extremos de precipitação pluviométrica mensal e anual para Belo Horizonte, MG, de 1961 a 2015

| Mês   | Média (mm) | Desvio Padrão (mm) | CV (%) | Mínimo (mm) | Ano ocorrido | Maximo (mm) | Ano ocorrido |
|-------|------------|--------------------|--------|-------------|--------------|-------------|--------------|
| JAN   | 311        | 184                | 59     | 50,6        | 1990         | 786,3       | 1985         |
| FEV   | 179        | 110                | 61     | 4,0         | 1984         | 487,3       | 1978         |
| MAR   | 176        | 102                | 58     | 7,0         | 1963         | 410,6       | 1985         |
| ABRIL | 74         | 49                 | 67     | 5,2         | 1989         | 235,8       | 2014         |
| MAIO  | 27         | 21                 | 79     | 0,0         | 1963 e 1967  | 79,4        | 1978         |
| JUN   | 11         | 15                 | 135    | 0,0         | 14 oc*       | 68,5        | 1971         |
| JUL   | 11         | 17                 | 152    | 0,0         | 18 oc        | 54,9        | 1978         |
| AGO   | 13         | 17                 | 136    | 0,0         | 16 oc        | 74,6        | 1990         |
| SET   | 45         | 34                 | 76     | 0,0         | 4 oc         | 127,2       | 2005         |
| OUT   | 117        | 79                 | 68     | 3,2         | 1986         | 344,3       | 2009         |
| NOV   | 237        | 91                 | 38     | 65,4        | 1982         | 452,2       | 1975         |
| DEZ   | 336        | 139                | 42     | 86,6        | 1963         | 720,0       | 2011         |
| ANO   | 1536       | 331                | 22     | 497,0       | 1963         | 2307,0      | 1983         |

\*oc – ocorrências

Ao se utilizar as RNA para estimação da precipitação na estação chuvosa, verificou-se um ERM de 12,6%. Pode-se observar que as redes conseguiram descrever as variações na precipitação ao longo do período estudado, tendo como variável de entrada apenas dados de períodos secos anteriores. No entanto, verifica-se uma ligeira tendência de suavização destas variações, uma vez que em períodos muito secos ou muito chuvosos houve um maior erro percentual (Figura 4). Com os dados até setembro de 2014, o volume precipitado estimado no PC de 2014-2015 foi de 1166 mm, enquanto o volume real no período foi de 1029 mm, tendo assim um erro de estimativa de 11,28%. Para o PC de 2015-2016 o valor previsto é de 1062 mm, indicando que o volume precipitado no PC 2015-2016 ocasionará uma estação chuvosa muito seca (muito seco < 1083mm, quantil 0,15)



**Figura 4:** Precipitação observada e estimada por RNA utilizando-se dados de precipitação no período seco para prever a precipitação no período chuvoso finalizado em cada ano.

Com os dados até setembro de 2014, o volume precipitado estimado no período chuvoso (PC) de 2014-2015 foi de 1166 mm, enquanto o volume real no período foi de 1029 mm, tendo assim um erro de estimativa de 11,28%. Para o PC de 2015-2016 o valor previsto é de 1062 mm, indicando que o volume precipitado ocasionará uma estação chuvosa muito seca.

As estações chuvosa e seca de Belo Horizonte, para os períodos de 1961-1990 e 1991-2015, apresentam tendências de porcentuais de ocorrências chuvosa e muito chuvosa, o que sugere uma situação de fluutuabilidade climática natural.

## AGRADECIMENTOS

A Fundação de amparo à pesquisa do Estado de Minas Gerais pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.G. et al. **Crop evapotranspiration** - guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 297 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).
- INMET-BDMEP - Instituto Nacional de Meteorologia. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: março de 2013.
- MINUZZI, R.B. SEDIYAMA, G.C.; COSTA, J.M.N; VIANELLO, R.L. Influência da La Niña na Estação Chuvosa da Região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.22, n.3, p.345-353, 2007.
- OIKAWA, R. T.; ISHIKI, H. M. Modelos estatísticos e de redes neurais artificiais utilizados na predição de precipitação. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, São Paulo, v. 9, n. 8, p. 19-34, 2014.
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P, C. **Agrometeorologia fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba – RS: Livraria e editora Agropecuária Ltda. 2002. 478p.
- STATSOFT, INC. **Statistica (data analysis software system)** - version 10. 2014. <[www.statsoft.com](http://www.statsoft.com)>
- SCHAEFFER, D.L. A model evaluation methodology applicable to environmental assessment models. **Ecological Modelling**, Tennessee, v. 8, p. 275-295, 1980.
- SILVA, J. C.; HELDWEIN, A. B.; FABRINA, B.; TRENTIN, G.; EDENIR, L. Análise de distribuição de chuva para Santa Maria, RS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.1, p.67-72, 2007.
- SOUZA, M. J. H. **Caderno didático de meteorologia e climatologia: precipitação**. Diamantina - MG: UFVJM, 2005.
- VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Versão Digital. Brasília: INMET, 2006. 449p.



**XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

***O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros***

VIANELLO, R.L., ALVES, A.R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: UFV, 460p, 2012.



XAVIER, T. M. B. S. **Tempo de Chuva**: Estudos Climáticos e de previsão para o Ceará e Nordeste semententrional. Ceará: ABC Editora; 478p. 2001.