



## Estudo de tendência de chuvas de longo prazo

doi: 10.4136/ambi-agua.1168

Received: 08 Aug. 2013; Accepted: 05 Dec. 2013

Fabio de Oliveira Sanches;<sup>1\*</sup> Roberto Verdum;<sup>2</sup>  
Gilberto Fisch<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) - Erechim, RS, Brasil

<sup>2</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) - Porto Alegre, RS, Brasil

<sup>3</sup>Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE/DCTA) - São José dos Campos, SP, Brasil.

\*Autor correspondente: e-mail: fsanches.73@gmail.com,

verdum@ufrgs.br, fisch.gilberto@gmail.com

### RESUMO

Na região da campanha gaúcha no sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul existem áreas que demonstram fragilidade em relação às características climáticas e pedológicas. Os areais da região têm despertado especial atenção nas últimas décadas devido a questões históricas, socioeconômicas e ambientais. O processo de arenização origina-se da dinâmica de fenômenos naturais como precipitações e ventos. Dessa forma, a dinâmica da arenização poderia ser influenciada por uma tendência positiva no aumento das precipitações nesta região. O objetivo desse trabalho foi analisar as precipitações para diferentes escalas de tempo em Alegrete (RS) de 1928-2009 na identificação de possíveis evidências de modificações no seu comportamento. Foram utilizados dados pluviométricos de postos da Agência Nacional de Águas, disponibilizados pelo sistema hidroweb (<http://hidroweb.ana.gov.br>). Após organizar os dados (em escalas de tempo mensal, trimestral e anual), os mesmos foram analisados em relação a sua tendência linear ao longo do tempo. A aplicação do Teste de Mann-Kendall permitiu avaliar qualitativamente as tendências encontradas (positivas e negativas), no entanto, não puderam ser consideradas como evidências de modificação climática, mas sim, como comportamentos aleatórios normais inerentes à própria série de dados.

**Palavras-chave:** Arenização, precipitações, sudoeste do Rio Grande do Sul, teste de Mann-Kendall.

### Trend analysis of long-term rainfall

### ABSTRACT

In the Pampas Region in the southwest of the State of Rio Grande do Sul, there are areas that show fragility in relation to soil and climatic characteristics. The sandy areas of this region have attracted special attention in the recent decades due to historical, socio economic and environmental issues. An increase in the amount of sand, or “sandization”, occurred due to natural phenomena such as rainfall and wind. Therefore, the sandization process could be influenced by an increase of precipitation in the area. The goal of this work was to analyze precipitation during different time periods in Alegrete, Rio Grande do Sul, from 1928 to 2009 in order to identify evidence of changes in rainfall behavior. Rainfall data from the Brazilian National Water Agency (Portuguese acronym ANA) provided by the system hidroweb (<http://hidroweb.ana.gov.br>) were analyzed. After the data were organized on total monthly, trimestral and annual values, they were analyzed for their linear trend over time. The Mann-

Kendall test was used to quantitatively evaluate positive and negative trends; however, the data did not provide evidence of climatic changes, but rather of normal random weather events during the time period studied.

**Keywords:** Sandization, rainfall, southwest of Rio Grande do Sul, Mann-Kendall.

## 1. INTRODUÇÃO

Na porção sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul existem áreas de formação campestre típicas do bioma Pampa, onde a observação da paisagem revela certa fragilidade em relação às características e dinâmicas do meio. Observa-se que na falta da cobertura vegetal herbácea surgem áreas de solos arenosos e descobertos, conhecidos localmente por *areais* (Suertegaray, 1987; 1998; Suertegaray et al., 2001; 2005; Verdum, 1997; 2004b).

Graças a reportagens jornalísticas nas décadas de 70 e 80 e trabalhos científicos como o de Souto (1985), foram propostas as primeiras associações dos areais gaúchos a processos de desertificação, como consequência de atividades pecuaristas (através do superpastoreio) e de plantios (lavouras mecanizadas de soja) (Suertegaray, 2000).

Para Suertegaray (1987), os areais gaúchos são consequência de um processo de arenização, o qual consiste no “retrabalhamento de depósitos areníticos pouco ou nada consolidados e que promovem nessas áreas, uma dificuldade de fixação da vegetação devido à mobilidade dos sedimentos pela ação das águas e dos ventos” (Suertegaray, 1987; 2000; Suertegaray et al., 2005).

O fato dos areais gaúchos não se encontrarem numa zona árida ou semiárida, ou mesmo numa região subúmida seca, também os desqualifica como sendo o resultado do processo de desertificação proposto por Souto (op. cit). Destaca-se, ainda que dos estudos desenvolvidos na região, não há evidências de que os areais gaúchos estariam transitando de um clima úmido para um clima semiárido ou árido (Suertegaray, 1987; 1998; 2000).

Os trabalhos de Verdum (1997; 2004a; 2004b) também analisaram os areais gaúchos quanto às dinâmicas hidroclimáticas nos processos morfoesculturais e, assim como já apresentado, desmitificam os areais como consequentes de processos de desertificação/desertização, uma vez que, as chuvas irregulares e, por vezes, torrenciais são responsáveis pela formação de ravinas e voçorocas. Estas são identificadas como os processos situados a montante da origem dos depósitos arenosos que serão remobilizados pelos ventos.

Dessa forma, associando os estudos desenvolvidos por Suertegaray (1987), Suertegaray et al., (2001) e Verdum (1997, 2004b) é possível considerar que a dinâmica da água nesses solos (arenosos) seja a responsável pela dinâmica dos processos superficiais concentrados, os quais originam sulcos, ravinas e voçorocas, seja devido as intensas precipitações, seja pela participação da água junto à superfície e sub-superfície.

Em relação aos aspectos climáticos, o trabalho de Marengo (2007) procurou avaliar as tendências pluviométricas regionais baseando-se em dados observados, com o objetivo de caracterizar o clima do século XX e sua variabilidade. Para isso compilou resultados de estudos da variabilidade climática em longo prazo para a América do Sul e observou que o sul do Brasil e o norte da Argentina apresentam forte tendência ao aumento das chuvas e vazões de rios associados ao fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS) desde meados do século XX.

Recentemente, o trabalho de Grimm et al. (2012), igualmente demonstrou que houve tendência de aumento das precipitações no Sul do Brasil entre 1950-2000, principalmente no período anterior e posterior a década de 70. No Rio Grande do Sul, esse aumento das chuvas no período mencionado também foi observado nos registros hidrológicos de vazão do rio Uruguai e, para os autores, houve ainda um incremento de 6% nas precipitações para o período de 1971-1990.

Dessa forma, trabalhos sobre precipitações pluviométricas na região dos areais gaúchos justificam-se pela fragilidade ambiental apresentada nessa parte do bioma Pampa em relação a possíveis mudanças ambientais decorrentes das ações humanas e da dinâmica da natureza.

Sendo assim, visando contribuir nos estudos referentes às precipitações no sudoeste do estado do Rio Grande do Sul e sua participação na dinâmica dos areais gaúchos, o presente trabalho tem por objetivo analisar o comportamento das precipitações anuais, trimestrais e mensais na região de Alegrete (RS) no período de 1928 a 2009, avaliando suas tendências e relações com possíveis mudanças climáticas.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Uma discussão sobre a ocorrência de possíveis mudanças climáticas globais e suas repercussões nos níveis regionais e locais tem sido pauta constante em debates científicos nas últimas décadas. Questões ligadas à elevação das temperaturas planetárias associadas às emissões de gases do efeito estufa (tais como CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>) e o aumento dos eventos climáticos extremos (tempestades, chuvas extremas, ondas de calor/frio, por exemplo) norteiam trabalhos produzidos por diversos pesquisadores pelo mundo.

No ano de em 1988 a Organização das Nações Unidas (ONU) criou o *Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC)*, órgão composto por delegados de 130 países, visto que a percepção da ação humana poderia estar exercendo forte influência sobre o clima planetário. Caberia então ao IPCC promover avaliações regulares sobre as mudanças climáticas (Ramos et al., 2008).

Assim, no ano de 1990 foi publicado o 1º Relatório de Avaliação (Assessment Report - AR) o qual reuniu argumentos a favor da criação da Convenção do Quadro das Nações Unidas para Mudanças do Clima, instância esta em que os governos negociariam políticas relacionadas às mudanças climáticas. O segundo relatório, publicado em 1995, acrescentou ainda mais elementos às discussões que resultaram na proposição do Protocolo de Kyoto dois anos depois.

O *Third Assessment Report (TAR)*, nome dado para o terceiro relatório do IPCC publicado no ano de 2001, indicava que a maior parte do aquecimento global, sobretudo o observado nos últimos 50 anos, estava relacionado a causas antropogênicas. Esse terceiro relatório apresentou a base científica que sustentou a ideia de que a concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera estaria em seu nível mais elevado nos últimos 400 mil anos (Marengo, 2007; Ramos et al., 2008).

Já no ano de 2007 o IPCC divulgou seu 4º Relatório de Avaliação das Mudanças do Clima do Planeta chamado de IPCC-AR4, que procurou demonstrar de forma conclusiva os perigos do aumento da concentração de gases do efeito estufa na atmosfera, como resultado da baixa capacidade dos países industrializados em reduzir suas emissões, assim como, resistência de alguns países em desenvolvimento em negociar sua estabilização e, até mesmo a diminuição de suas emissões.

O 4º relatório também projetou um aumento da temperatura global entre 2°C e 4,5°C a mais do que os níveis registrados antes da Era Pré-Industrial. A melhor estimativa comentava um aumento médio de 3°C assumindo que os níveis de dióxido de carbono se estabilizariam 45% acima da taxa anual (Marengo et al., 2007; Marengo e Valverde, 2007).

Por sua vez, a publicação do AR5, em setembro de 2013 (<http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>), reforçou as evidências publicadas no relatório anterior, apontando como inequívoco o aquecimento do sistema climático. O AR5 também reafirmou a tendência de aumento nas concentrações atmosféricas dos gases do efeito estufa desde meados do século XVIII, sendo tais concentrações responsáveis pelas forçantes radiativas positivas responsáveis pelo aquecimento observado nos últimos 250 anos.

Baseados nos relatórios do IPCC, Marengo e Valverde (2007), acreditam que existam evidências de que eventos extremos como secas, enchentes, ondas de calor e frio, furacões e tempestades, que têm afetado diretamente partes do planeta e produzido enormes perdas econômicas e de vidas, sejam consequências do aquecimento global. Os autores, também acreditam que no Brasil, o furacão Catarina (março/2004), a seca da Amazônia em 2005 e as secas ocorridas no sul do país em 2004, 2005 e 2006 tenham relação direta com os efeitos do aquecimento global.

Para Silva Dias (2006) cada vez que ocorre um evento extremo como chuvas fortes, ventos fortes ou furacões, surge a questão: será esse um indício das mudanças climáticas? A análise das séries históricas de temperatura e chuva em algumas regiões do mundo parece indicar que está ocorrendo uma alteração no comportamento do clima. Técnicas estatísticas (por exemplo, a realização de médias móveis de cinco a dez anos) mostram algumas tendências que chamam a atenção, mas que nem sempre podem ser consideradas como provas conclusivas de alterações permanentes do clima.

Mendonça (2006) também defende que os prognósticos contidos no relatório do IPCC-AR4 consideram que as variações dos componentes do ciclo hidrológico (por exemplo a precipitação e a evapotranspiração) atuarão sobre a distribuição de água no planeta de forma diferenciada levando certas regiões a terem um incremento em seus volumes de água e, dessa forma, intensificando a ocorrência de chuvas torrenciais, enchentes, deslizamentos, movimentos de massa e processos erosivos, por exemplo.

Para Marengo (2007) o Quarto Relatório Científico do IPCC-AR4 apresenta evidências de mudanças no clima que poderiam afetar significativamente o planeta, especialmente os extremos climáticos, com maior rigor nos países menos desenvolvidos na região tropical. As conclusões desse relatório sugerem, com um nível de confiança de 90%, que o aquecimento global dos últimos cinquenta anos foi causado pelas atividades humanas. Nesse contexto, o autor ainda afirma que o Brasil é vulnerável às mudanças climáticas atuais e, mais ainda, às mudanças que se projetam para o futuro, sobretudo aquelas associadas aos extremos climáticos.

Criado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), o Grupo de Previsibilidade e Variações Climáticas (CLIVAR) tem desenvolvido estudos referentes às mudanças climáticas analisando o comportamento extremo do conjunto de variáveis climáticas por meio do seu grupo de pesquisadores interinstitucionais denominado *Expert Team on Climate Change Detection and Indices* (ETCCDI) (WMO, 2012).

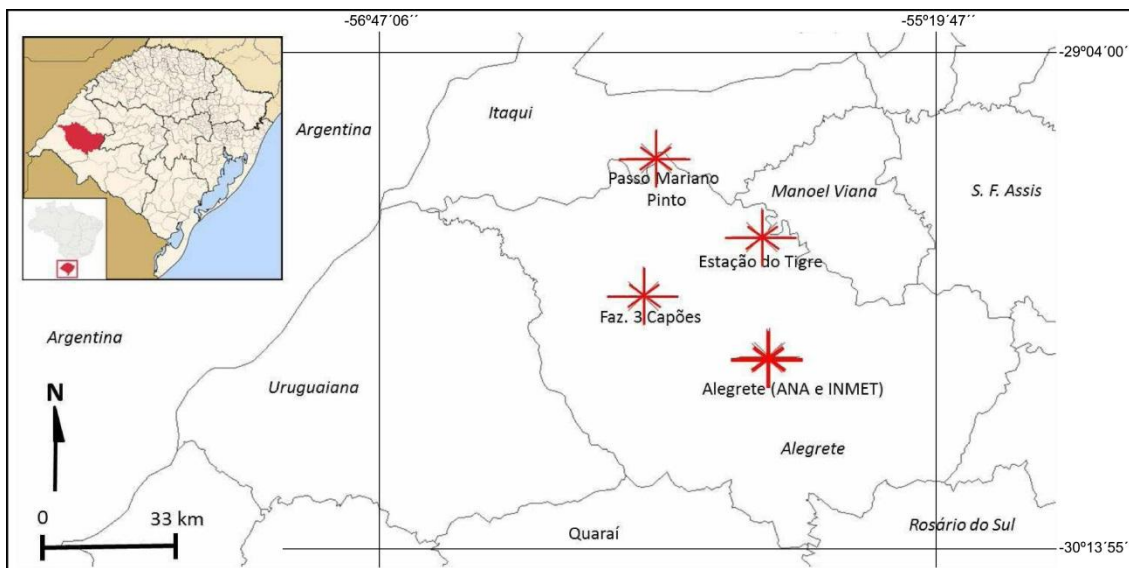
Atualmente, diversos estudos têm sido desenvolvidos buscando identificar alterações ou mesmo variabilidades climáticas em escalas menores (níveis regional e local) dadas à necessidade de se compreender aspectos pontuais nas mudanças (Alves et al., 2011).

Sob esse aspecto, nos últimos anos verifica-se um crescente aumento nos estudos sobre tendências de séries temporais de temperatura e precipitação. Trabalhos como Paiva e Clarke (1995), Alexander et al. (2006), Folhes e Fisch (2006), Obregón e Marengo (2007), Sillmann e Roeckner (2008), Blain (2010), Alves et al. (2011) e Lima et al. (2011), têm procurado analisar o comportamento de variáveis como temperatura e precipitação ao longo do tempo. Uma das principais ferramentas de análises desses trabalhos são os testes estatísticos, sobretudo, o Teste de Mann-Kendall (Siegel, 1975).

O Teste de Mann-Kendall consiste num teste estatístico não paramétrico aplicado na identificação de tendências demonstrando-se bastante robusto quanto aos desvios de normalidade e não-estacionariedade dos valores de uma série. Por esse motivo é uma técnica recomendada pela OMM para estudos de tendências climáticas em séries temporais longas (Paiva e Clarke, 1995; Groppo et al., 2001; Marengo e Alves, 2005; Alexander et al., 2006; Folhes e Fisch, 2006; Obregón e Marengo, 2007; Blain, 2010).

### 3. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizados dados pluviométricos diários obtidos da rede de postos da Agência Nacional de Águas (ANA), através da plataforma hidroweb (<http://hidroweb.ana.gov.br>), sendo selecionados para este trabalho informações dos postos de Alegrete (INMET), Alegrete (ANA), Passo Mariano Pinto, Fazenda Três Capões e Estação do Tigre (Figura 1). Os dados foram organizados e tabulados a fim de se obterem os totais mensais para cada posto analisado.



**Figura 1.** Localização dos postos pluviométricos utilizados em Alegrete (RS).

Dada a existência de falhas em diversos meses no conjunto dos postos utilizados para análise, procurou-se preenchê-las por meio de técnicas de regressão linear simples, bem como testar sua consistência através do Teste de Dupla Massa (Tucci, 2009), para se obter uma série contínua de dados mensais para análise.

**Tabela 1.** Sequência de dados dos postos pluviométricos no município de Alegrete (RS).

| Alegrete            | 1928 | 1929 | 1930 | 1931 | 1932 | 1933 | 1934 | 1935 | 1936 | 1937 | 1938 | 1939 | 1940 | 1941 | 1942 | 1943 | 1944 | 1945 | 1946 | 1947 | 1948 | 1949 | 1950 | 1951 | 1952 | 1953 | 1954 | 1955 | 1956 | 1957 | 1958 | 1959 | 1960 | 1961 | 1962 | 1963 | 1964 |   |
|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---|
| Alegrete (INMET)    | C    | C    | I    | C    | C    | I    | C    | C    | C    | C    | C    | C    | C    | C    | C    | C    | C    | C    | C    | I    |      |      |      |      | I    | C    | C    | C    | C    | C    | C    | C    | C    | C    | C    | C    | C    | I |
| ALEGRETE (ANA)      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |   |
| Faz. 3 Capões       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | I    | C    | C    | C    | C    | C    | C    | C    | C    | C    | C    | C    | I    |   |
| Passo Mariano Pinto |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |   |
| Estação Tigre       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | I    | C    | I    | I    | C    | C    | C    | C    | C    | I    | C    | C    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |   |

Continuação...

|                     | 1965 | 1966 | 1967 | 1968 | 1969 | 1970 | 1971 | 1972 | 1973 | 1974 | 1975 | 1976 | 1977 | 1978 | 1979 | 1980 | 1981 | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |  |
|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| Alegrete (INMET)    | C    | C    | C    | C    | I    | I    |      |      |      |      | C    | I    | C    | I    | C    | C    | C    | C    | C    | C    | C    | C    | I    |      | I    | I    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| ALEGRETE (ANA)      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| Faz. 3 Capões       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| Passo Mariano Pinto |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| Estação Tigre       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |

■ Ano completo   
 ■ Ano incompleto   
 ■ Sem dados

Fonte: Agência Nacional das Águas (ANA) – (<http://hidroweb.ana.gov.br>).

**Tabela 2:** Relação dos postos pluviométricos analisados e o período de dados utilizados.

| Município | Postos              | Coordenadas Geográficas |              | Altitude |
|-----------|---------------------|-------------------------|--------------|----------|
| Alegrete  | Alegrete INMET      | 29°47'0" S              | 55° 46' 0" W | 121 m    |
|           | Alegrete ANA        | 29°47'4" S              | 55° 46'26" W | 80 m     |
|           | Faz. Três Capões    | 29°38'9" S              | 56° 5' 41" W | 150 m    |
|           | Passo Mariano Pinto | 29°18'32" S             | 56° 3' 19" W | 60 m     |
|           | Estação do Tigre    | 29°30'0" S              | 55°47'0" W   | 94 m     |

**Fonte:** Agência Nacional de Águas (ANA) (<http://hidroweb.ana.gov.br/>).

Pela sua localização geográfica e por possuírem grandes conjuntos contínuos de dados no decorrer da série (1928-2009), os postos Alegrete (INMET) e Alegrete (ANA) foram escolhidos como os postos principais: Alegrete (INMET) no período de 1928 a 1985 e Alegrete (ANA) no período de 1986 a 2009.

Dessa forma, os valores obtidos para a série Alegrete (1928-2009) permitiram a organização dos dados em totais anuais, totais trimestrais (dezembro-janeiro-fevereiro; março-abril-maio; junho-julho-agosto e, setembro-outubro-novembro) e totais mensais. Posteriormente, a aplicação do teste de Mann-Kendall permitiu a avaliação qualitativa de seu comportamento linear e sua tendência (Siegel, 1975).

Para o Teste de Mann-Kendall, ao adotar-se a hipótese da estabilidade da série temporal ( $H_0$ ), os valores devem ser independentes e a distribuição de probabilidades deve permanecer sempre a mesma. Sendo assim, considerando uma dada série temporal de  $X_n$  ( $X_1, \dots, X_i, \dots, X_n$ ) a ser analisada para a comprovação  $H_0$  (hipótese nula onde não há tendência positiva nem negativa da série), deve-se calcular a posição de cada elemento  $X_i$  em relação aos outros valores da série, de forma que  $R_1, \dots, R_i, \dots, R_n$  representam a sequência de números que especificam a ordem relativa da série temporal de  $X_i$ . O próximo passo consiste em se determinar o sinal para cada número-ordem pelas funções sinal ( $R_j - R_i$ ) (Equação 1) conforme mostram Folhes e Fisch (2006), Obregon e Marengo (2007) e Blain (2010) em que:

$$\text{sinal } R_j - R_i = \begin{cases} 1; \text{ para } R_j - R_i > 0 \\ 0; \text{ para } R_j - R_i = 0 \\ -1; \text{ para } R_j - R_i < 0 \end{cases} \quad (1)$$

Dessa forma, considerando a hipótese nula ( $H_0$ ) o teste consiste no somatório apresentado na Equação 2:

$$S = \sum_{j=i+1}^n \text{sinal } (R_j - R_i) \quad \dots(2)$$

Partindo da premissa de que a hipótese  $H_0$  seja verdadeira, a estatística  $S$  apresenta uma distribuição aproximadamente normal gaussiana, com média igual a zero e variância (VAR) conforme Equação 3:

$$\text{VAR } S = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad \dots(3)$$

Onde finalmente, o valor da estatística de Mann-Kendall (MK) é dado na Equação 4:

$$MK = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{VAR(S)}} & se \quad S > 0 \\ 0 & se \quad S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{VAR(S)}} & se \quad S < 0 \end{cases} \quad \dots(4)$$

Uma vez concluída a análise estatística de Mann-Kendall é necessário se tomar a decisão final de aceitar ou rejeitar a hipótese de que não há tendência na série analisada ( $H_0$ ) ou rejeitá-la a favor da hipótese alternativa. O sinal da estatística de Mann-Kendall indica se a tendência é crescente ( $MK > 0$ ) ou decrescente ( $MK < 0$ ).

Para Marengo e Alves (2005), Alexander et al. (2006), Folhes e Fisch (2006) e Blain (2010), ao se considerar o nível de significância de 95% ( $\alpha = 0,05$ ), a hipótese  $H_0$ , de que não há tendência nem positiva nem negativa na série, deverá ser rejeitada sempre que o valor MK encontrado estiver  $-1,96 < MK < +1,96$ .

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

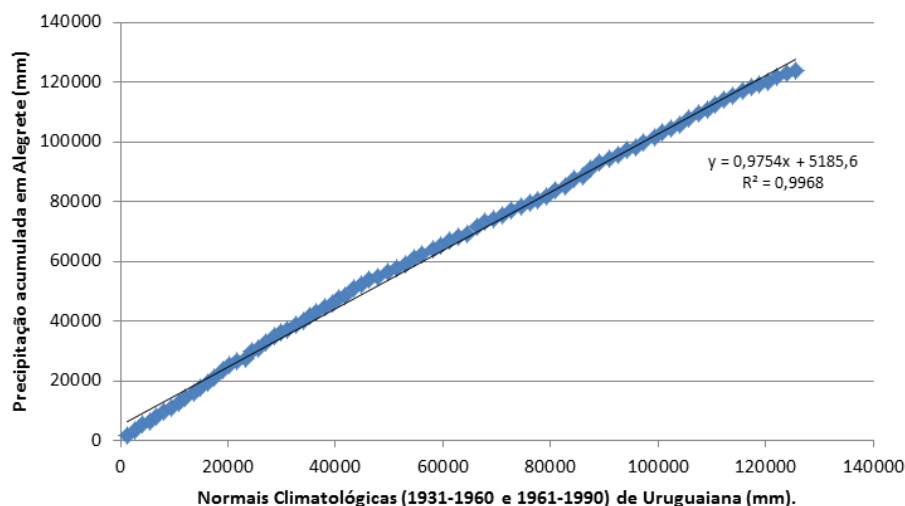
O preenchimento das falhas na série de dados Alegrete (INMET e ANA) se iniciou analisando a correlação entre dados mensais de precipitação comuns aos postos utilizados.

Nesse método foram aplicados testes de correlação entre os dados mensais dos postos analisados (Tabela 3) e a partir das equações de regressão encontradas em cada teste, as falhas mensais na série principal foram preenchidas, graças aos elevados coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e de correlação ( $r$ ).

**Tabela 3:** Relação dos postos correlacionados para preenchimento de falhas por Regressão Linear.

| Postos correlacionados                        | Período   | Preenchimento  | Equação de regressão, $R^2$ .        |
|---|---|--|--------------------------------------|
| <b>Alegrete (INMET) e Faz. 3 Capões</b>       | 1953, 1954, 1955, 1956, 1957, 1958, 1959 e 1960.                                    | 1951   | $y=0,9645x - 3,2238$<br>$R^2=0,9924$ |
| <b>Alegrete (INMET) e Estação do Tigre</b>    | 1944 e 1953.  | 1947, 1948, 1949, 1950 e 1951.   | $y=1,0209x + 22,643$<br>$R^2=0,9795$ |
| <b>Alegrete (INMET) e Passo Mariano Pinto</b> | 1975, 1977, 1978, 1979, 1980, 1981, 1983, 1984 e 1985.                              | 1970, 1971, 1972, 1973, 1974, 1976, 1978, 1986, 1987, 1988, 1989, 1990 e 1991. | $y=0,7578x + 6,4904$<br>$R^2=0,9884$ |
| <b>Alegrete (ANA) e Passo Mariano Pinto</b>   | 1987, 1988, 1989, 1990, 1991, 1994, 1995, 1998, 1999, 2002, 2003, 2004, 2007 e 2008 | 1992 e 1993.   | $y=0,8601x + 3,8605$<br>$R^2=0,9799$ |

A Figura 2 apresenta a Curva de Dupla Massa gerada para a verificação de consistência entre os dados da série Alegrete (1928-2009) e as Normais Climatológicas (1931-1960 e 1961-1990) de Uruguaiana. Os postos de Uruguaiana e Alegrete localizam-se na mesma faixa latitudinal, distando, aproximadamente, 126 km. Ambos os postos localizam-se no bioma Pampa, caracterizados pelo relevo de coxilhas (Ab'Saber, 2003).

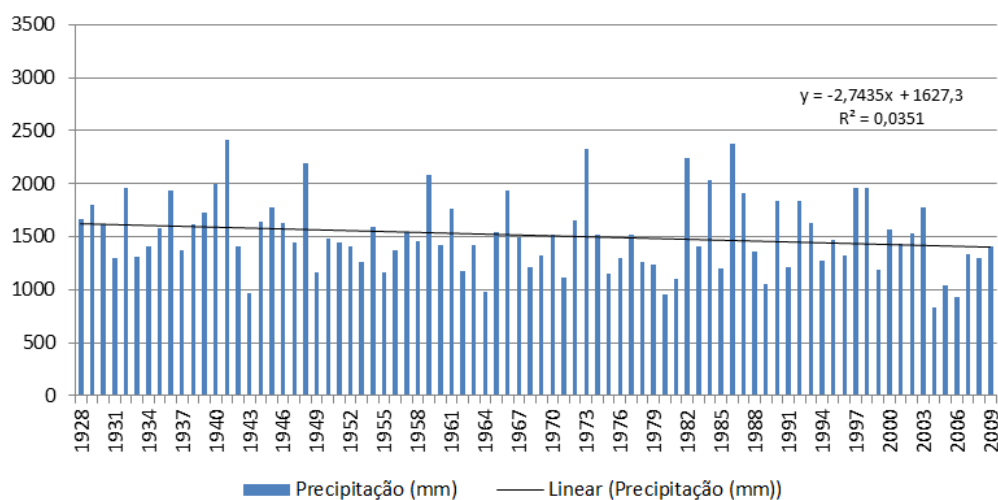


**Figura 2.** Curva de Dupla Massa para análise de consistência entre os dados de Alegrete (RS) e as Normais Climatológicas (1931-1960 e 1961-1990) de Uruguaiana (RS).

Um elevado grau de homogeneidade (99,6%) foi observado entre a série histórica obtida para Alegrete com valores preenchidos pelo Método de Regressão Linear (Figura 2) quando analisados com as Normais Climatológicas (1931-1960 e 1961-1990) de Uruguaiana através do método de Dupla Massa. O alinhamento dos pontos segundo uma linha reta indica a boa consistência do conjunto de dados, descartando a possibilidade de haver erros sistemáticos, alteração nas condições de observação e possíveis mudanças nas condições climáticas regionais.

Dessa forma, após o processo de preparação dos dados dos postos pluviométricos do município de Alegrete (seleção dos postos, análise de correlação de dados, aplicação de método para o preenchimento de falhas e análise de consistência de dados), obteve-se um conjunto de dados mensais de precipitação para a série Alegrete (1928-2009) a ser analisado.

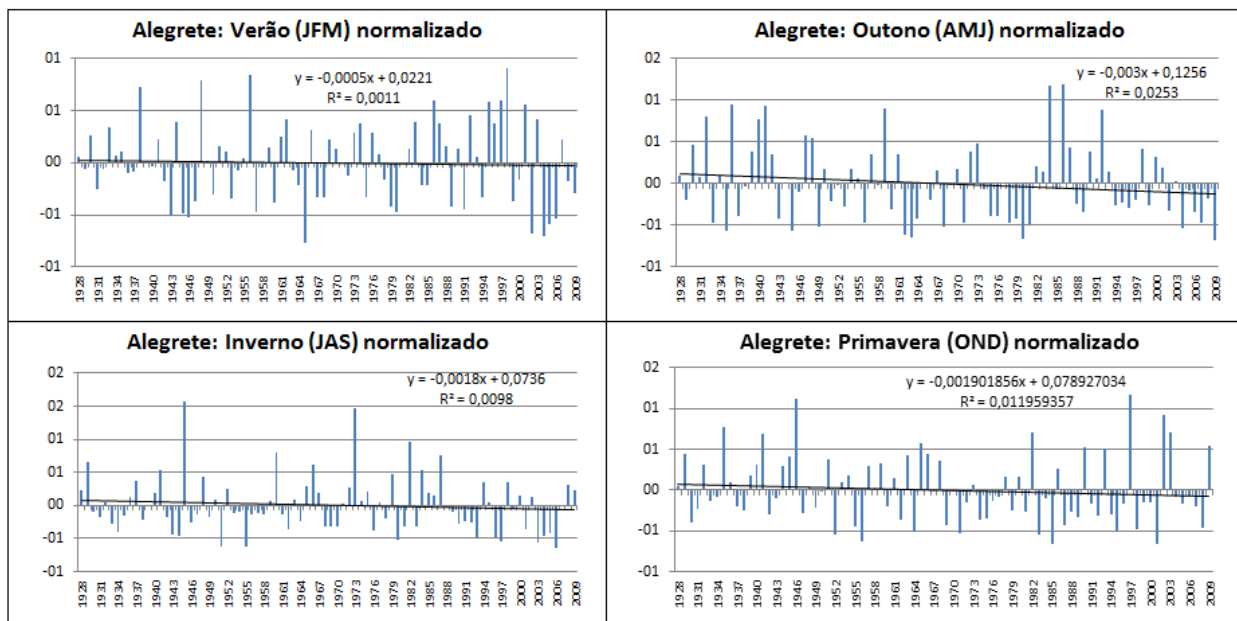
A análise dos totais anuais de precipitação (Figura 3) demonstrou que houve redução de 222,2 mm nas precipitações no decorrer dos 82 anos. Ao se aplicar o teste de Mann-Kendall e avaliar a tendência negativa encontrada, verificou-se por meio de seu coeficiente ( $Z=1,97$ ), que a os totais anuais de precipitação em Alegrete sofreram modificações consideradas significativas no seu comportamento.



**Figura 3.** Totais anuais de precipitação da série Alegrete (RS) e respectiva linha de tendência.



Os valores normalizados dos trimestres – Dezembro-Janeiro-Fevereiro (DJF), Março-Abril-Maio (MAM), Junho-Julho-Agosto (JJA) e, Setembro-Outubro-Novembro (SON) (Figura 4) - permitiram verificar o comportamento sazonal das precipitações no decorrer do período. Destaque deve ser dado a maior tendência linear negativa encontrada para o conjunto de dados referentes ao outono (MAM), muito embora tenha se observado picos de precipitação nessa estação nos anos de 1984 e 1986. Nos demais trimestres o comportamento linear da série também apontou tendências negativas, no entanto mais suaves.



**Figura 4.** Trimestrais normalizados de precipitação da série Alegrete (RS) e respectivas linhas de tendência.

A Tabela 4 demonstra o resultado da aplicação do Teste de Mann-Kendall para os totais trimestrais normalizados da série Alegrete. Os valores MK encontrados permitem considerar que as variações observadas na série correspondem ao comportamento aleatório próprio do conjunto de dados, não podendo ser considerados significativos para mudanças climáticas.

**Tabela 4.** Resultado da análise de tendência dos totais trimestrais normalizados da série Alegrete com nível de confiança de 95%.

| Período analisado | Teste de Mann-Kendall (MK calculado) | Tendência ( $\alpha = 0,05$ ) |
|-------------------|--------------------------------------|-------------------------------|
| Verão (DJF)       | 0,66                                 | Negativa NS                   |
| Outono (MAM)      | 1,75                                 | Negativa NS                   |
| Inverno (JJA)     | 1,17                                 | Negativa NS                   |
| Primavera (SON)   | 0,75                                 | Negativa NS                   |

**Nota:** NS = tendência não significativa.

A análise das tendências temporais dos totais mensais normalizados (Figura 5) também permitiu observar que no decorrer dos 82 anos de dados ocorreram pequenas modificações no comportamento dessas precipitações.

O comportamento da série referente aos meses de janeiro apontou para uma leve tendência negativa, observada por sua reta de tendência linear implicando numa redução de 34,7 mm ao longo dos 82 anos da série.

Diferentemente da série dos meses de janeiro, as informações dos meses de fevereiro mostradas na Figura 5 apontaram para uma tendência positiva da série com um incremento nas precipitações da ordem de 41,2 mm no período analisado.

Na série correspondente aos meses de março os resultados apontaram para uma tendência negativa da série implicando numa redução nos valores pluviométricos da ordem de 23,5 mm no período. Informações sobre os meses de abril permitiram identificar que praticamente não houve mudança na linha de tendência ao longo da série (nem positiva, nem negativa), onde, com base na equação linear verificou-se uma redução de apenas 5,0 mm nas precipitações ao longo dos 82 anos.

No gráfico referente aos meses de maio (Figura 5) mostrou uma tendência linear negativa reduzindo os valores pluviométricos da série em 68,5 mm. O gráfico dos meses de junho (Figura 5) permitiu que se observasse o leve comportamento linear negativo ao longo dos anos analisados. Através de sua equação linear é possível verificar que houve uma redução de 24,0 mm nas precipitações no decorrer do período.

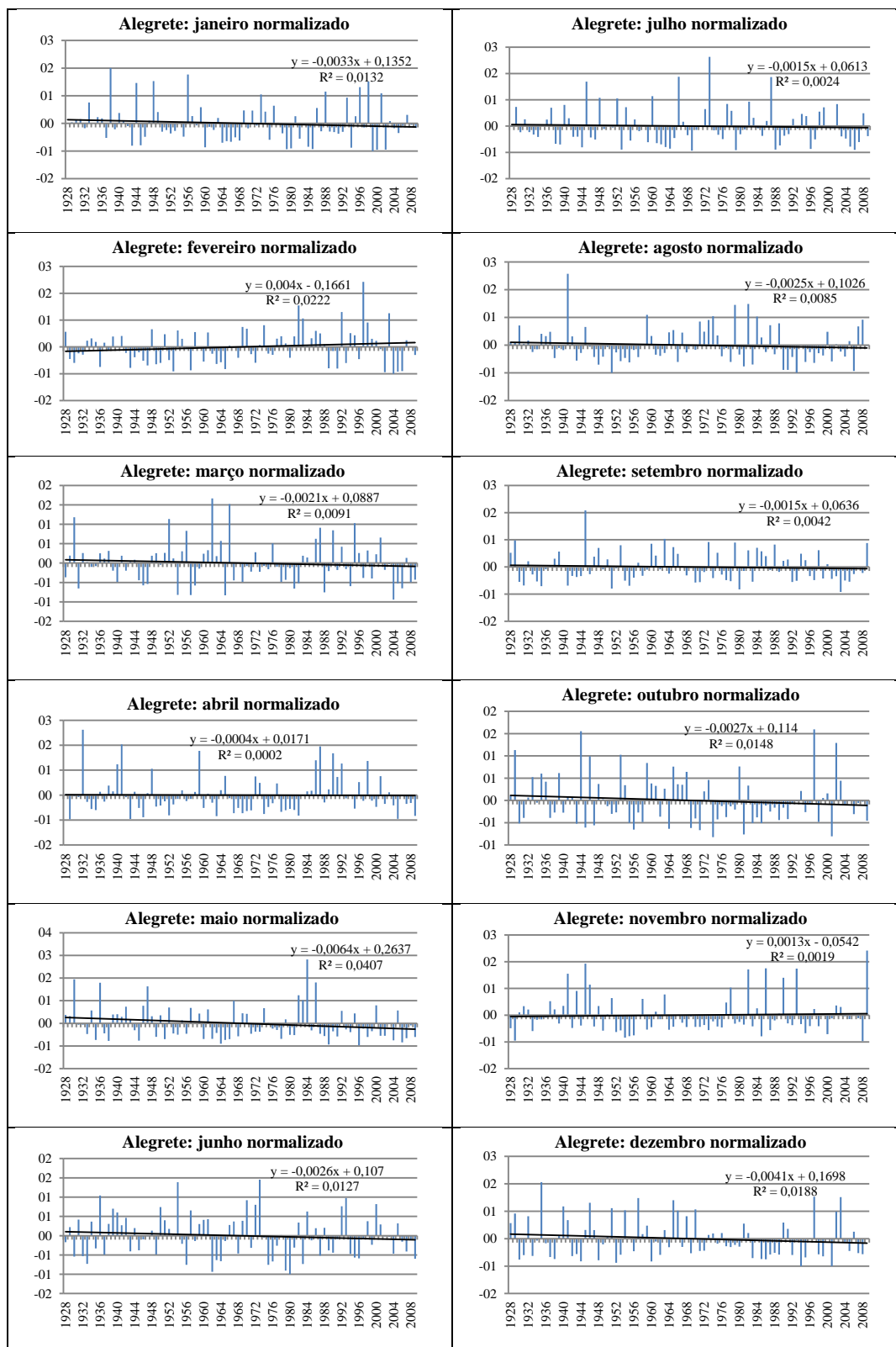
Assim como nos meses de junho, o gráfico dos meses de julho apontou a tendência linear levemente negativa, implicando numa redução de 12,5 mm nas precipitações ao longo da série. A mesma tendência pode ser observada nas precipitações dos meses de agosto onde o comportamento linear negativo reduziu-as em 18,1 mm nos 82 anos. Os totais mensais normalizados de setembro também apontaram para uma tendência negativa ao longo do período reduzindo as precipitações em 16,4 mm nos anos analisados, assim como nos meses de outubro onde a tendência negativa da série se repetiu reduzindo os volumes precipitados em 36,7 mm ao longo do período de dados.

No caso da série de dados referentes ao mês de novembro ocorreu uma leve tendência positiva com um incremento de 12,6 mm nos anos analisados, enquanto que a série de dezembro apontou para uma tendência linear negativa ao longo dos anos implicando a redução de 36,5 mm nas precipitações nos 82 anos da série.

Muito embora tenha se observado tendências negativas na maior parte dos dados mensais, observam-se episódios de precipitação mensal elevada nos meses de maio durante os anos 80 e nos meses de fevereiro, abril e novembro durante as décadas de 80 e 90. Tais dados corroboram com aqueles encontrados por Grimm e Sampaio (2012), sobretudo em função da ocorrência de eventos extremos.

A aplicação do Teste de Mann-Kendall (Siegel, 1975) nos dados analisados permitiu que se avaliasse a dinâmica das tendências encontradas buscando possíveis evidências de mudanças no comportamento no decorrer dos anos.

A Tabela 5 mostra os valores de MK encontrados para os meses da série após a aplicação do teste e a significância encontrada. Com base nestes resultados, é possível verificar que apenas as séries dos meses de fevereiro, abril e novembro apresentaram tendência positiva. Já as demais séries mensais demonstraram tendência negativa. No entanto, considerando o nível de significância proposto (95%), as tendências encontradas não puderam ser consideradas como significativas para mudanças de comportamento no período.



**Figura 5.** Série temporal das precipitações mensais normalizadas em Alegrete (RS) (1928-2009).

**Tabela 5.** Resultado da análise de tendência dos totais mensais da série Alegrete com nível de confiança de 95%.

| Séries mensais analisadas | Teste de Mann-Kendall (MK calculado) | Tendência ( $\alpha = 0,05$ ) |
|---------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|
| <b>Janeiro</b>            | 1,25                                 | Negativa NS                   |
| <b>Fevereiro</b>          | 0,84                                 | Positiva NS                   |
| <b>Março</b>              | 0,93                                 | Negativa NS                   |
| <b>Abril</b>              | 0,10                                 | Negativa NS                   |
| <b>Mai</b>                | 1,85                                 | Negativa NS                   |
| <b>Junho</b>              | 1,00                                 | Negativa NS                   |
| <b>Julho</b>              | 0,60                                 | Negativa NS                   |
| <b>Agosto</b>             | 0,88                                 | Negativa NS                   |
| <b>Setembro</b>           | 0,40                                 | Negativa NS                   |
| <b>Outubro</b>            | 0,92                                 | Negativa NS                   |
| <b>Novembro</b>           | 0,44                                 | Positiva NS                   |
| <b>Dezembro</b>           | 0,87                                 | Negativa NS                   |

**Nota:** NS = tendência não significativa.

## 5. CONCLUSÕES

A análise da tendência linear dos totais anuais demonstrou uma redução em 222,2 mm no decorrer dos 82 anos de dados. A avaliação dessa redução pelo Teste de MK demonstrou que tais valores podem ser considerados como significativos para mudanças climáticas. Porém, a análise dos totais trimestrais normalizados apontou para um comportamento das séries dentro de uma variabilidade considerada natural sendo que o teste de MK não demonstrou indícios de modificações significativas em nenhum dos conjuntos trimestrais.

Em relação ao comportamento dos totais mensais normalizados, a maior parte dos meses apontou para uma redução nos valores no decorrer da série, com exceção dos meses de fevereiro e novembro que apresentaram tendências positivas. Submetidas à avaliação por meio do teste de MK, nenhuma série mensal demonstrou tendência significativa à mudança de comportamento.

Dessa maneira, a aplicação do Teste de MK aos conjuntos de dados permitiu constatar que as tendências (positivas e negativas) encontradas nos totais trimestrais e totais mensais não puderam ser consideradas como decorrentes de modificações climáticas, mas sim como resultado da aleatoriedade normal da própria série. Já os totais anuais demonstraram, após o teste, que podem ter sofrido modificações (redução) significativas.

## 6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPERGS (Edital 04/2012 – PQ Gaúcho), ao Dr. José Marengo e à FAPESP (2008/58161-1) e ao CNPQ (MCTI/CNPQ – Universal nº 14/2012) pelo auxílio no desenvolvimento da pesquisa.

## 7. REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. N. **Domínios da natureza do Brasil: potencialidades paisagísticas.** São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.

- ALEXANDER, L. V.; ZHANG, X.; PETERSON, T. C.; CAESAR, J.; GLEASON, B.; KLEIN TANK, A. M. G. et al. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. **Journal of Geophysical Research**, v. 111, D05109, 2006. <http://dx.doi.org/10.1029/2005JD00690>
- ALVES, E. D. L.; PRADO, M. F.; SPECIAN, V. Análise da variabilidade climática da precipitação pluvial em Barra do Garças, Mato Grosso. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium**, v. 2, n. 2, p. 512-523, jul./dec. 2011.
- BLAIN, G. C. Detecção de tendências monótonas em séries mensais de precipitação pluvial no Estado de São Paulo. **Bragantia, Campinas**, v. 69, n. 4, p. 1027-1033, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052010000400031>
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC. 2010. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br>>. Acesso em: 10 jun. 2012.
- FOLHES, M. T.; FISCH, G. Caracterização climática e estudo de tendência nas séries temporais de temperatura do ar e precipitação em Taubaté (SP). **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 1, n. 1, p. 61-71, 2006. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.6>
- GRIMM, A. M.; SAMPAIO, G.; VON RANDOW, C.; REBELLO, E. R. G.; LACERDA, F. F.; DINIZ, F. de A. et al. Observações ambientais atmosféricas e de propriedades da superfície In: PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. Grupo de Trabalho 1 – Base Científica das Mudanças Climáticas. **Primeiro relatório de avaliação nacional sobre mudanças climáticas**. 2012. Disponível em <<http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/documentos/PBMC-VOLUME1-RAN1.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2012.
- GROPPO, J. D.; MILDE, L. C. E.; GUAMERO, M. E.; MORAES, J. M.; MARTINELLI, L. A. Análise de séries temporais de vazão e de precipitação na Bacia do Rio Piracicaba. **Revista de Ciência & Tecnologia**, v. 8, n. 18, p. 109-117, 2001. Disponível em: <<http://www.unimep.br/phpg/editora/revistaspdf/rct18art10.pdf>>. Acesso em: 30 jan. 2012.
- LIMA, J. R. A.; NEVES, D. J. D.; ARAÚJO, L. E.; AZEVEDO, P. V. Identificação de tendências climáticas no Estado da Bahia. **Revista de Geografia**, v. 28, n. 3, 2011. Disponível em: <<http://www.ufpe.br/revistageografia/index.php/revista/article/view/500/387>>. Acesso em: 22 jan. 2012.
- MARENGO, J. A.; ALVES, L. M. Tendências hidrológicas da bacia do rio Paraíba do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 20, n. 2, p. 215-226, 2005. Disponível em: <<http://www.rbmet.org.br/port/index.php>>. Acesso em: 20 jan. 2012.
- MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas e seus efeitos sobre a biodiversidade**: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XX. Brasília: MMA, 2007. (Biodiversidade, 26), Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/chm/\\_arquivos/14\\_2\\_bio\\_Parte1.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/chm/_arquivos/14_2_bio_Parte1.pdf)>. Acesso em: 12 maio 2011.

- MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; SALATI, E.; AMBRIZZI, T. **Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. Sumário Técnico. Brasília: MMA, 2007. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br>>. Acesso em: abr. 2011.
- MARENGO, J. A.; VALVERDE, M. C. Caracterização do clima no Século XX e Cenários de Mudanças de clima para o Brasil no Século XXI usando os modelos do IPCC-AR4. **Revista Multiciência**, n. 8, 2007. Disponível em: <[http://www.multiciencia.unicamp.br/art01\\_8.htm](http://www.multiciencia.unicamp.br/art01_8.htm)>. Acesso em: 12 maio 2011.
- MENDONÇA, F. Aquecimento Global e suas manifestações regionais e locais: alguns indicadores da região Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 2, p. 71-86, dez. 2006. Disponível em: <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/revistaabclima/article/viewFile/25388/17013>>. Acesso em: 12 maio 2011.
- OBREGÓN, G.; MARENGO, J. A. **Caracterização do clima no Século XX no Brasil: tendências de chuvas e temperaturas médias extremas**. Relatório nº 2. Brasília: MMA, 2007. Disponível em: <[http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/prod\\_probio/Relatorio\\_2.pdf](http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/prod_probio/Relatorio_2.pdf)>. Acesso em: 16 jun. 2010.
- PAIVA, E. M. C. D.; CLARKE, R. T. Análise de tendência de precipitação na Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 10, n. 1/2, p. 37-41, 1995. Disponível em: <<http://www.rbmet.org.br/port/index.php>>. Acesso em: 20 jan. 2012.
- RAMOS, M. A. B.; VIANA, S.; SANTOS, E. B. E. Mudanças climáticas. In: SILVA, C. R. **Geodiversidade do Brasil: conhecer o passado para entender o presente e prever o futuro**. Rio de Janeiro: CPRM, 2008. Disponível em: <<http://www.cprn.gov.br>>. Acesso em: 30 abril 2011.
- SIEGEL, S. **Estatística não-paramétrica para as Ciências do Comportamento**. [S.l.]: McGraw-Hill, 1975.
- SILLMANN, J.; ROECKNER, E. Indices for extreme events in projections of anthropogenic climate change. **Climatic Change**, v. 86, p. 83-104, 2008. <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-007-9308-6>
- SILVA DIAS, M. A. F. Efeito estufa e mudanças climáticas regionais. **Revista USP**, São Paulo, n. 71, p. 44-51, set./nov. 2006. Disponível em: <[http://www.revistasusp.sibi.usp.br/scielo.php?pid=S0103-99892006000400007&script=sci\\_arttext](http://www.revistasusp.sibi.usp.br/scielo.php?pid=S0103-99892006000400007&script=sci_arttext)>. Acesso em: 12 maio 2011.
- SOUTO, J. J. **Deserto, uma ameaça?** Porto Alegre: DRNR, 1985.
- SUERTEGARAY, D. M. A. **A trajetória da natureza: um estudo geomorfológico sobre os areas de Quaraí - RS**. 1987. 243f. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.
- SUERTEGARAY, D. M. A. **Deserto Grande do Sul: controvérsias**. 2. ed., rev., amp. Porto Alegre, Editora da UFRGS, 1998.
- SUERTEGARAY, D. M. A. Desertificação: recuperação e desenvolvimento sustentável. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (orgs). **Geomorfologia e meio ambiente**. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000.

- 
- SUERTEGARAY, D. M. A.; GUASSELLI, L. A.; VERDUM, R. (orgs) **Atlas da arenização sudoeste do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Coordenação e Planejamento e Secretaria da Ciência e Tecnologia Governo do Estado do Rio Grande do Sul, 2001. 84p. Disponível em: < <http://www.ufrgs.br/areas-pampa/index.htm>>. Acesso em: 10 maio 2013.
- SUERTEGARAY, D. M. A.; VERDUM, R.; BELLANCA, E. T.; UAGODA, R. E. S. Sobre a gênese da arenização no sudoeste do Rio Grande do Sul. **Terra Livre**, Goiânia, v. 1, n. 24, p. 135-150, 2005. Disponível em: <[http://www.agb.org.br/files/TL\\_N24.pdf](http://www.agb.org.br/files/TL_N24.pdf)>. Acesso em: 10 maio 2011.
- VERDUM, R. **Approche géographique des “déserts” dans les communes de São Francisco de Assis et Manuel Viana, État du Rio Grande do Sul, Brésil**. 1997. 211f. Tese (Doutorado) - UFR de Géographie et Aménagement, Université de Toulouse Le Mirail, Toulouse, 1997.
- VERDUM, R. Tratados internacionais e implicações locais: a desertificação. **GEOgraphia**, ano 6, n. 11, 2004a. Disponível em: <<http://www.uff.br/geographia/ojs/index.php/geographia/article/view/144/139>>. Acesso em: 10 maio 2011.
- VERDUM, R. Depressão periférica e planalto. Potencial ecológico e utilização social da natureza. In: VERDUM, R.; BASSO, L. A.; SUERTEGARAY, D. M. A. (orgs) **Rio Grande do Sul: paisagens e territórios em transformação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2004b.
- TUCCI, C. E. M. (Org.) **Hidrologia: ciência de aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2009.
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION – WMO. Disponível em: <[http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/CA\\_3.php](http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/CA_3.php)>. Acesso em: 30 abril 2012.