

**VI-167 - AVALIAÇÃO DE TENDÊNCIAS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA REGIÃO DO MÉDIO VALE DO ITAJAÍ-SC****Alan Henn<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Sanitarista e Ambiental e mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Pesquisador da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI) na Estação Experimental de Urussanga (EEUR).

**José Luiz Rocha Oliveira**

Engenheiro Sanitarista e Ambiental e mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Pesquisador da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI) na Estação Experimental de Urussanga (EEUR). Professor do Centro Universitário Barriga Verde (UNIBAVE).

**Álvaro José Back**

Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Mestre em Irrigação e Drenagem pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Pesquisador da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI) na Estação Experimental de Urussanga (EEUR). Professor da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC) no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rod. SC-446, Km 16 - Bairro Estação - Urussanga - SC - CEP: 88840-000 - Brasil - Tel/Fax: (48) 3465-1209 - e-mail: [alanhenn@epagri.sc.gov.br](mailto:alanhenn@epagri.sc.gov.br)

**RESUMO**

As pesquisas científicas ao longo do tempo, e mais recentemente os estudos de muitos pesquisadores, afirmam que as mudanças climáticas são responsáveis pela ocorrência e maior frequência de eventos extremos, como o desequilíbrio nas temperaturas, o aumento da frequência e intensidade das chuvas, provocando enchentes, inundações, deslizamentos de terra, além de tornados e furacões. A maior ocorrência de eventos extremos é um dos fatores que afeta diretamente as populações e podem levar a alteração do estilo de vida da sociedade que conhecemos. As mudanças climáticas locais são medidas por meio de análise de séries históricas de variáveis meteorológicas, tais como a temperatura do ar e a precipitação pluvial. A Organização Meteorológica Mundial (OMM) elaborou 11 índices climáticos, específicos para precipitação, que auxiliam na detecção de mudanças climáticas. O objetivo do estudo foi analisar a tendência de índices de precipitação para detecção de mudanças climáticas na região do Médio Vale da bacia hidrográfica do rio Itajaí-Açu, no Estado de Santa Catarina. Foram utilizados os dados diários de séries históricas de precipitação até o ano de 2009 (período médio de 68 anos de monitoramento) das estações pluviométricas de Benedito Novo, Blumenau, Pomerode e Rio dos Cedros, que fazem parte da rede de estações hidrometeorológicas da Agência Nacional de Águas (ANA). A avaliação da tendência foi feita por meio do coeficiente angular da equação de regressão linear considerando nível de significância de 5%. Dentre os principais resultados estão as similaridades de tendências ocorridas entre os índices de precipitação das estações de Blumenau e Pomerode (SDII, R20 e R95p) e entre as estações de Pomerode e Rio dos Cedros (PRCPTOT e Rx5d). Além disso, individualmente, cada estação pluviométrica analisada apresentou no mínimo um índice de precipitação com tendência estatisticamente significativa. A única exceção foi o índice R10 que não apresentou significância estatística.

**PALAVRAS-CHAVE:** Mudanças Climáticas, Precipitação, Eventos Extremos.

**INTRODUÇÃO**

O tema mudanças climáticas se tornou assunto de debate da sociedade contemporânea em curto espaço de tempo. Dada a complexidade do tema, é preciso encarar com seriedade as possibilidades e incertezas dos cenários gerados para o Século 21. Acrescente a isso a compreensão das relações entre as mudanças climáticas e o dinamismo em relação ao crescimento e a moradia populacional. São muitas as preocupações, mas é necessário estar preparado para enfrentar as novas situações que podemos vivenciar em termos das mudanças climáticas e ambientais globais e seus consequentes impactos para as próximas décadas e futuras gerações.

Segundo Silva & Azevedo (2008), a variabilidade e a mudança do clima global e regional exercem grande influência nas atividades humanas e econômicas. É de extrema importância determinar o quanto essa variação climática afeta a relação homem-meio, pois o clima afeta diretamente a produção em todos os setores da sociedade, e particularmente, naqueles que dependem exclusivamente dos processos naturais (a agricultura, a pesca, a produção de energia elétrica, etc.).

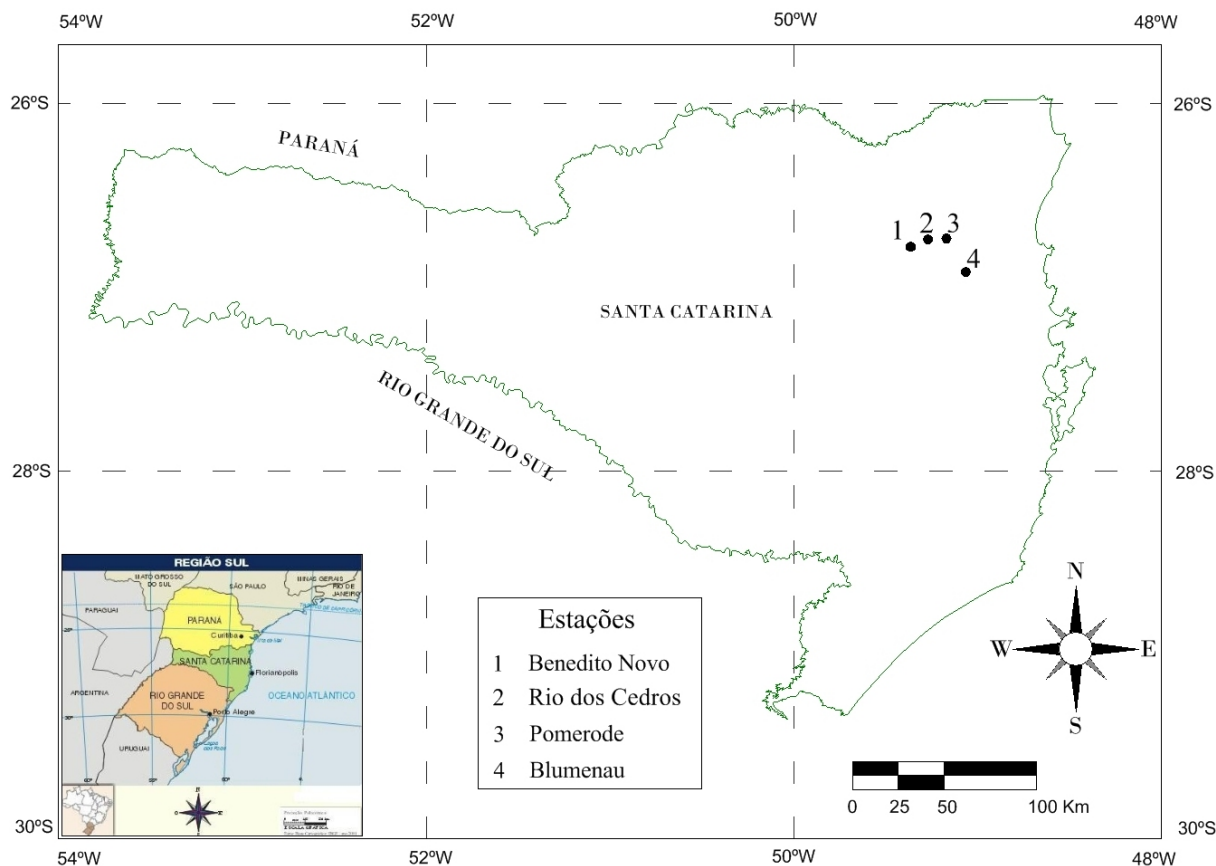
As mudanças climáticas locais são medidas por meio de análise de séries históricas de variáveis meteorológicas, tais como a temperatura do ar e a precipitação pluvial. A Organização Meteorológica Mundial (OMM) elaborou 27 índices climáticos, sendo 16 de temperatura e 11 de precipitação, que auxiliam na detecção de mudanças climáticas.

O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e a Organização Meteorológica Mundial (OMM) criaram na década de 90 o Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC), com o objetivo de avaliar, com bases científicas, as variações do clima e os cenários de mudanças climáticas para o futuro. Com este embasamento a elaboração de índices de tendências de mudanças climáticas de uma determinada região funciona como ferramenta imprescindível para a compreensão do fenômeno das mudanças climáticas globais e futuras.

Buscando compreender melhor esta ferramenta, o presente estudo analisou a tendência de índices de precipitação para detecção de mudanças climáticas na região do Médio Vale do Itajaí, no Estado de Santa Catarina, de acordo com os índices estabelecidos pela Organização Meteorológica Mundial (OMM).

## MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados os dados diários de séries históricas de precipitação até o ano de 2009 (período médio de 68 anos de monitoramento) de quatro estações pluviométricas localizadas no Médio Vale da bacia hidrográfica do rio Itajaí-Açu, no Estado de Santa Catarina. A Figura 1 mostra a localização dessas estações.



**Figura 1: Localização das quatro estações pluviométricas da rede ANA.**

As estações pluviométricas de Benedito Novo, Blumenau, Pomerode e Rio dos Cedros fazem parte da rede de estações hidrometeorológicas da Agência Nacional de Águas (ANA). Estas estações fazem parte da bacia hidrográfica do rio Itajaí-açu, sub-bacia hidrográfica 83 pertencente a Vertente Atlântica de Santa Catarina. Pelo portal do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) no sítio eletrônico da Agência Nacional de Águas (ANA) é possível visualizar a localização das estações bem como as séries de dados disponíveis e extrair os dados para análise.

Os índices e os dados estatísticos de regressão linear (coeficiente angular, significância (p) e os limites inferior e superior do intervalo de confiança) foram determinados por meio de programa computacional desenvolvido em DELPHI 5.0 e posteriormente trabalhados em planilha eletrônica (Excel) para a geração de gráficos.

Para efeito deste estudo foram utilizados 11 índices climáticos para precipitação pluvial, conforme a definição realizada pelo "Expert Team on Climate Change Detection Monitoring and Indices (ETCCDMI)".

**Tabela 1: Índices climáticos de precipitação pluvial, com suas definições e unidades.**

Índice	Nome do Indicador	Definição	Unidade
<b>PRCPTOT</b>	<i>Precipitação total anual nos dias úmidos</i>	<i>Precipitação total anual nos dias úmidos (<math>RR \geq 1</math> mm)</i>	<i>mm</i>
<b>SDII</b>	<i>Índice simples de intensidade diária</i>	<i>Precipitação total anual dividida pelo número de dias úmidos</i>	<i>mm/dia</i>
<b>R10</b>	<i>Número de dias com precipitação acima de 10 mm</i>	<i>Número de dias em um ano em que a precipitação foi <math>\geq 10</math> mm</i>	<i>dias</i>
<b>R20</b>	<i>Número de dias com precipitação acima de 20 mm</i>	<i>Número de dias em um ano em que a precipitação foi <math>\geq 20</math> mm</i>	<i>dias</i>
<b>R50</b>	<i>Número de dias com precipitação acima de 50 mm</i>	<i>Número de dias em um ano em que a precipitação foi <math>\geq 50</math> mm</i>	<i>dias</i>
<b>R95p</b>	<i>Dias muito úmidos</i>	<i>Precipitação total anual em que <math>RR &gt; 95</math> percentil</i>	<i>mm</i>
<b>R99p</b>	<i>Dias extremamente úmidos</i>	<i>Precipitação total anual em que <math>RR &gt; 99</math> percentil</i>	<i>mm</i>
<b>Rx1d</b>	<i>Quantidade máxima de precipitação em um dia</i>	<i>Máximo anual de precipitação em 1 dia</i>	<i>mm</i>
<b>Rx5d</b>	<i>Quantidade máxima de precipitação em cinco dias</i>	<i>Máximo anual de precipitação em 5 dias consecutivos</i>	<i>mm</i>
<b>CDD</b>	<i>Dias consecutivos secos</i>	<i>Número máximo de dias consecutivos com <math>RR &lt; 1</math> mm</i>	<i>dias</i>
<b>CWD</b>	<i>Dias consecutivos úmidos</i>	<i>Número máximo de dias consecutivos com <math>RR \geq 1</math> mm</i>	<i>dias</i>

A Tabela 1 mostra os índices climáticos de precipitação, sua descrição, a definição e a unidade de cada índice. O RR é o valor da precipitação diária.  $RR \geq 1$  mm representa um dia úmido e  $RR < 1$  mm, um dia seco.

As tendências nos índices de precipitação foram avaliadas por meio do coeficiente angular da equação de regressão linear, adotando como nível de significância 5% ( $p < 0,05$ ). Também foram analisadas as tendências de cada índice climático, com a finalidade de pesquisar o aumento ou a diminuição da ocorrência dos efeitos físicos relacionados a esses índices.

## RESULTADOS

A Tabela 2 apresenta os dados estatísticos dos índices climáticos de precipitação para as quatro estações pluviométricas monitoradas em Santa Catarina.

A partir desses dados, pôde-se verificar que ocorreram tendências estatisticamente significativas ( $p < 0,05$ ) em 10 dos 11 índices climáticos de precipitação estabelecidos pela OMM e analisados neste estudo. O índice de precipitação R10 foi o único que não apresentou tendência estatisticamente significativa. Os valores em negrito na Tabela 2 destacam os índices com  $p < 0,05$  e suas respectivas tendências ( $a > 0$  - tendência positiva e  $a < 0$  - tendência negativa).

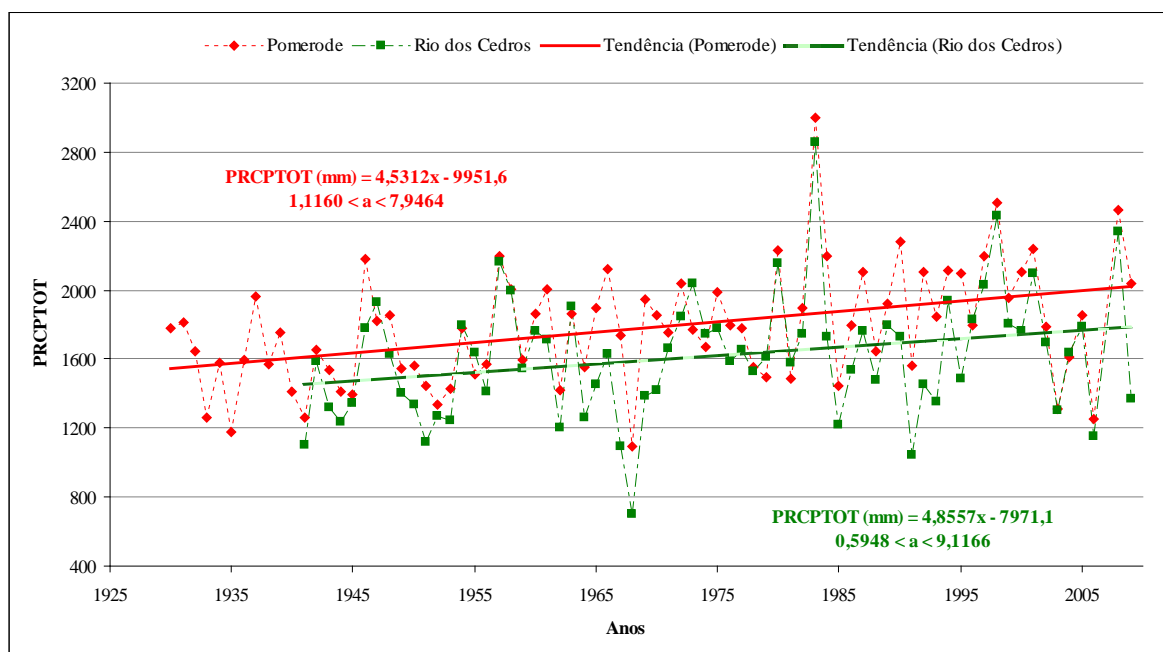
**Tabela 2: Dados estatísticos dos índices de precipitação para as estações pluviométricas do Médio Vale do Itajaí, SC.**

	Benedito Novo		Blumenau		Pomerode		Rio do Cedros	
	a <sup>(1)</sup>	p <sup>(2)</sup>	a <sup>(1)</sup>	p <sup>(2)</sup>	a <sup>(1)</sup>	p <sup>(2)</sup>	a <sup>(1)</sup>	p <sup>(2)</sup>
<b>PRCPTOT</b>	0,5864	0,8033	4,8015	0,0577	<b>4,5312</b>	<b>0,0100</b>	<b>4,8557</b>	<b>0,0261</b>
<b>SDII</b>	0,0151	0,3373	<b>0,0488</b>	<b>0,0017</b>	<b>0,0321</b>	<b>0,0003</b>	0,0386	0,0679
<b>R10</b>	-0,0625	0,3885	0,1231	0,1043	0,0813	0,1353	0,0943	0,1690
<b>R20</b>	0,0294	0,4999	<b>0,1018</b>	<b>0,0383</b>	<b>0,1514</b>	<b>0,0000</b>	0,0871	0,0855
<b>R50</b>	0,0152	0,3859	0,0216	0,1908	<b>0,0260</b>	<b>0,0239</b>	0,0303	0,0922
<b>R95p</b>	2,1615	0,1325	<b>2,8654</b>	<b>0,0438</b>	<b>2,9645</b>	<b>0,0025</b>	1,7105	0,1268
<b>R99p</b>	0,6197	0,3976	<b>2,2546</b>	<b>0,0171</b>	1,0732	0,0568	0,9855	0,0967
<b>Rx1d</b>	0,1240	0,3706	0,3580	0,1093	0,1476	0,3061	<b>0,4081</b>	<b>0,0046</b>
<b>Rx5d</b>	0,3649	0,1810	0,9400	0,0570	<b>0,5248</b>	<b>0,0256</b>	<b>0,7457</b>	<b>0,0095</b>
<b>CDD</b>	0,0013	0,9803	<b>-0,1161</b>	<b>0,0442</b>	0,0138	0,6487	0,0755	0,2871
<b>CWD</b>	<b>0,1394</b>	<b>0,0180</b>	0,2056	0,6354	0,2715	0,0899	0,0295	0,5243

**Legenda:** <sup>(1)</sup> Coeficiente angular da reta de regressão linear e <sup>(2)</sup> Significância estatística.

As principais similaridades de tendências ocorreram entre os índices de precipitação das estações de Blumenau e Pomerode (SDII, R20 e R95p) e entre as estações de Pomerode e Rio dos Cedros (PRCPTOT e Rx5d). Além disso, individualmente, cada estação pluviométrica analisada apresentou no mínimo um índice climático de precipitação com tendência estatisticamente significativa.

As Tabelas 1 e 2 auxiliam o entendimento dos gráficos apresentados da Figura 2 até a Figura 11.



**Figura 2: PRCPTOT (mm) em função do tempo (anos) para as estações de Pomerode e Rio dos Cedros.**

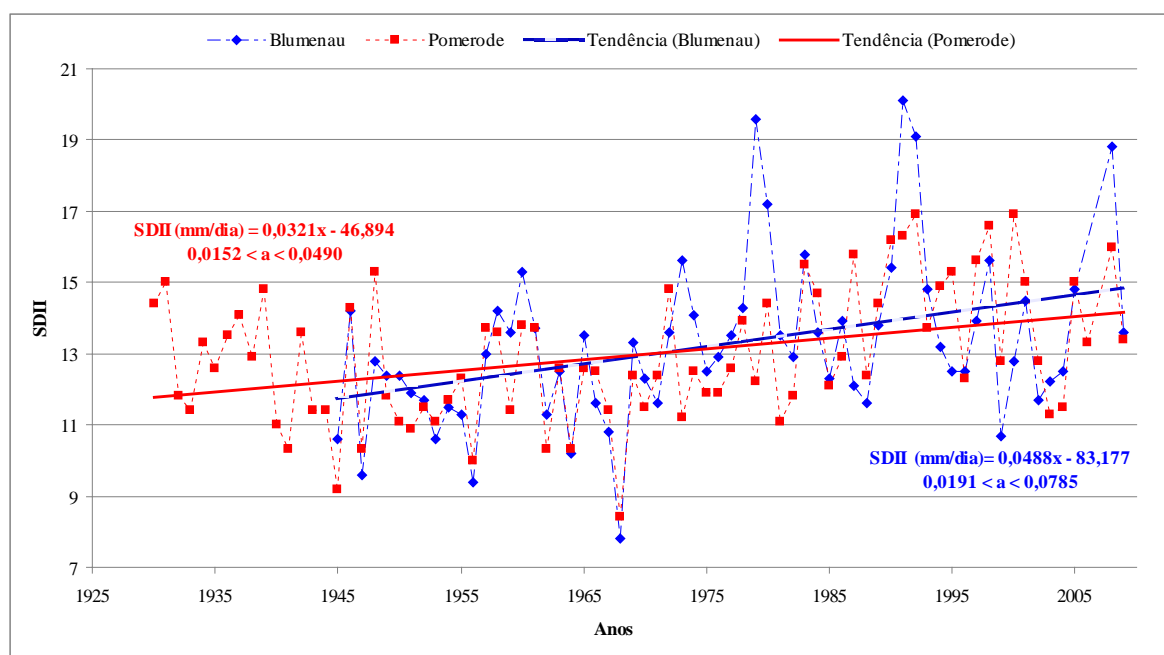
As séries históricas das estações pluviométricas analisadas, de 1941 a 2006 para Benedito Novo (64 anos), de 1945 a 2009 para Blumenau (63 anos), de 1930 a 2009 para Pomerode (79 anos) e de 1941 a 2009 para Rio dos Cedros (68 anos) representam dados muito importantes, mesmo com pequenas falhas, em um período médio de 68 anos de observação.

Em termos de precipitação, neste período de estudo, a quantidade anual mínima, média e máxima de dias úmidos ( $RR \geq 1$  mm) foi de 54, 112 e 179 dias (1983) para Benedito Novo, de 23, 119 e 160 dias (1983) para Blumenau, de 94, 138 e 193 dias (1983) para Pomerode e de 38, 109 e 163 dias (2008) para Rio dos Cedros. É possível notar que as quantidades máximas de dias úmidos ocorreram em 1983 e 2008, anos marcados pelas grandes enchentes e alagamentos em Santa Catarina com grandes prejuízos para o Vale do Itajaí.

Na Figura 2 podemos ver o comportamento anual do índice PRCPTOT (mm) para as estações de Pomerode e Rio dos Cedros. Este índice climático apresentou significância estatística com tendência positiva ( $a > 0$ ), para ambas as estações, cujos valores se encontram em **negrito** na Tabela 2.

De acordo com os coeficientes angulares das retas, se os dados continuarem a apresentar a mesma tendência nos próximos anos, é possível afirmar que a cada ano ocorrerá um aumento de 4,5 mm e 4,8 mm na precipitação anual de Pomerode e Rio dos Cedros, respectivamente. Comportamento semelhante foi observado por Oliveira et al. (2010) para a região de Apiúna, onde a tendência de aumento foi de 4,83 mm/ano.

A precipitação total anual média e máxima foi de 1.781 mm e 3.000 mm para Pomerode e de 1.617 mm e 2.855 mm para Rio dos Cedros. As máximas anuais ocorreram em 1983 como pode ser visto no gráfico da Figura 2. Para Benedito Novo e Blumenau, a precipitação total anual média em 1983 foi de 2.892 mm e 2.520 mm, respectivamente.



**Figura 3: SDII (mm/dia) em função do tempo (anos) para as estações de Blumenau e Pomerode.**

O gráfico da Figura 3 apresenta as equações das retas para o índice SDII das estações de Blumenau e Pomerode com seus limites inferiores e superiores do intervalo de confiança de 95% dos coeficientes angulares ( $a$ ) apresentados na Tabela 2. O índice SDII (mm/dia), a exemplo de PRCPTOT (mm), também apresentou tendência positiva no caso de Pomerode.

Os resultados ao longo do período analisado mostram tendência de aumento para o futuro, ou seja, significa dizer que a intensidade diária de chuva (mm/dia), tanto em Blumenau, quanto em Pomerode pode aumentar, embora este aumento futuro seja pequeno em relação ao período histórico analisado.

Henn et al. (2010) e Oliveira et al. (2010) analisando os índices de precipitação para as regiões de Florianópolis-SC e Apiúna-SC, respectivamente, verificaram tendência positiva para o índice SDII, porém sem significância estatística.

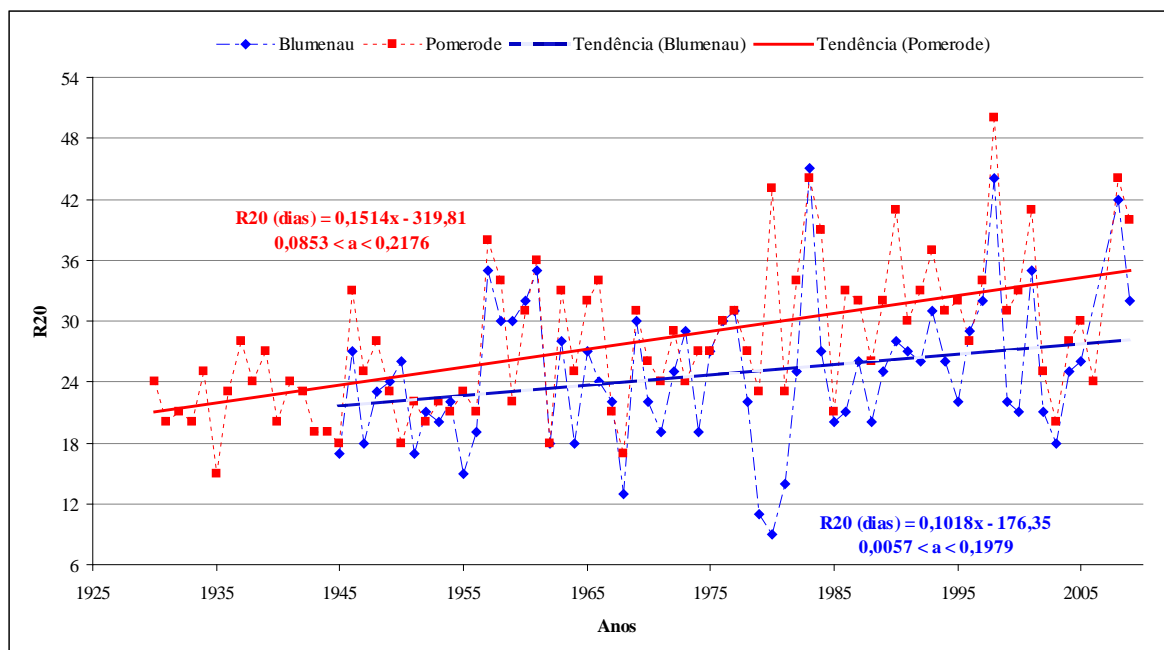


Figura 4: R20 (dias) em função do tempo (anos) para as estações de Blumenau e Pomerode.

As Figuras 4 e 5 contêm resultados comparativos. Há uma tendência positiva confirmada pelos dados obtidos na Tabela 2 que demonstram aumento no número de dias em um ano com precipitação acima de 20 mm (R20), tanto para Blumenau, quanto para Pomerode. De acordo com o gráfico da Figura 4, Blumenau teria um incremento de um dia a mais por década e Pomerode de um dia e meio a mais por década com precipitação acima de 20 mm. Para o número de dias em um ano com precipitação acima de 50 mm esta tendência de aumento também se confirma para Pomerode, pois o índice R50 apresentou tendência positiva ( $a > 0$ ).

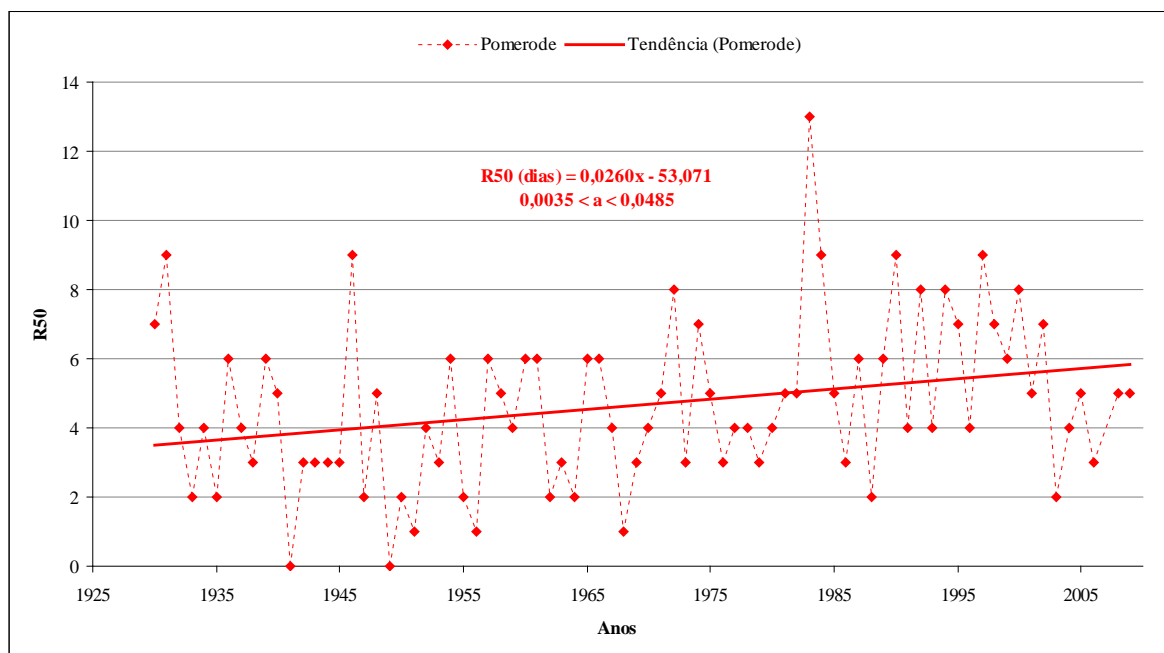


Figura 5: R50 (dias) em função do tempo (anos) para a estação de Pomerode.



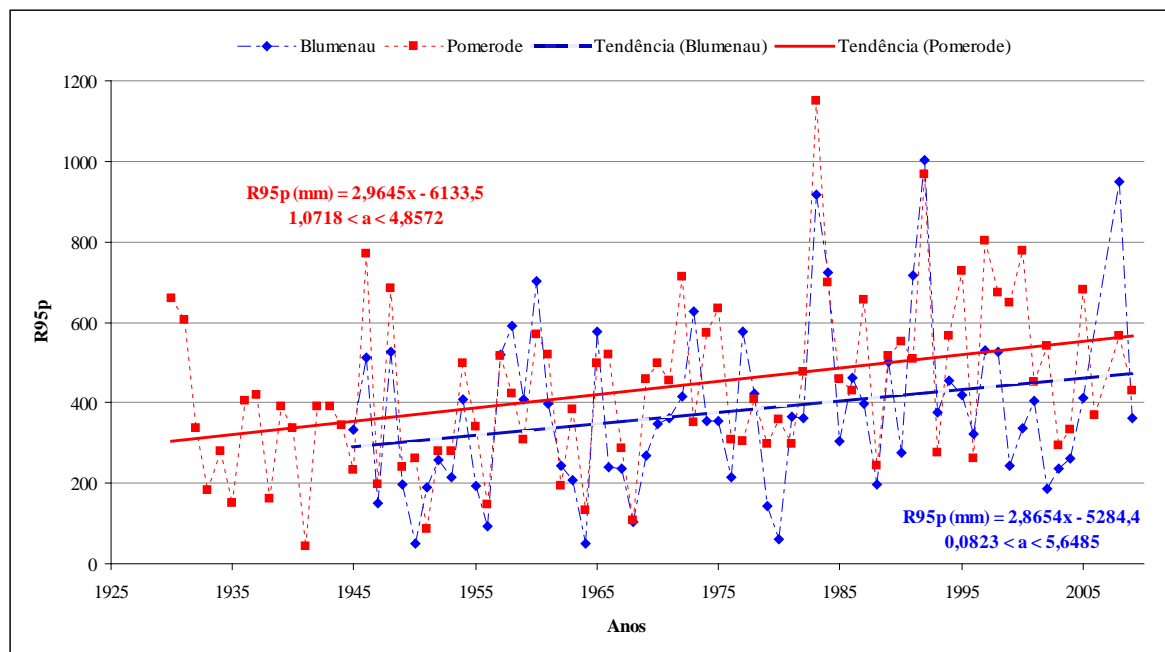


Figura 6: R95p (mm) em função do tempo (anos) para as estações de Blumenau e Pomerode.

Através da Figura 6, referente aos dias muito úmidos, verifica-se a tendência positiva para a precipitação total anual em que a chuva foi maior que a chuva do 95º percentil da normal hidrológica (1961-1990). As equações das retas de regressão linear mostram valores de coeficientes angulares (a) semelhantes, tanto para Blumenau, quanto para Pomerode.

Para o índice R99p, que representa os dias extremamente úmidos, verifica-se, assim como no R95p para Blumenau, a tendência positiva ( $a > 0$ ) de acordo com o coeficiente angular da reta de regressão linear, da ordem de 2,2 mm ao ano (Figura 7). Os valores iguais a zero correspondem aos anos em que não ocorreram precipitações anuais totais maiores que o 99º percentil. O R99p e o R95p não representam incrementos em termos de precipitação anual para o futuro, mas confirmam as tendências anteriores.

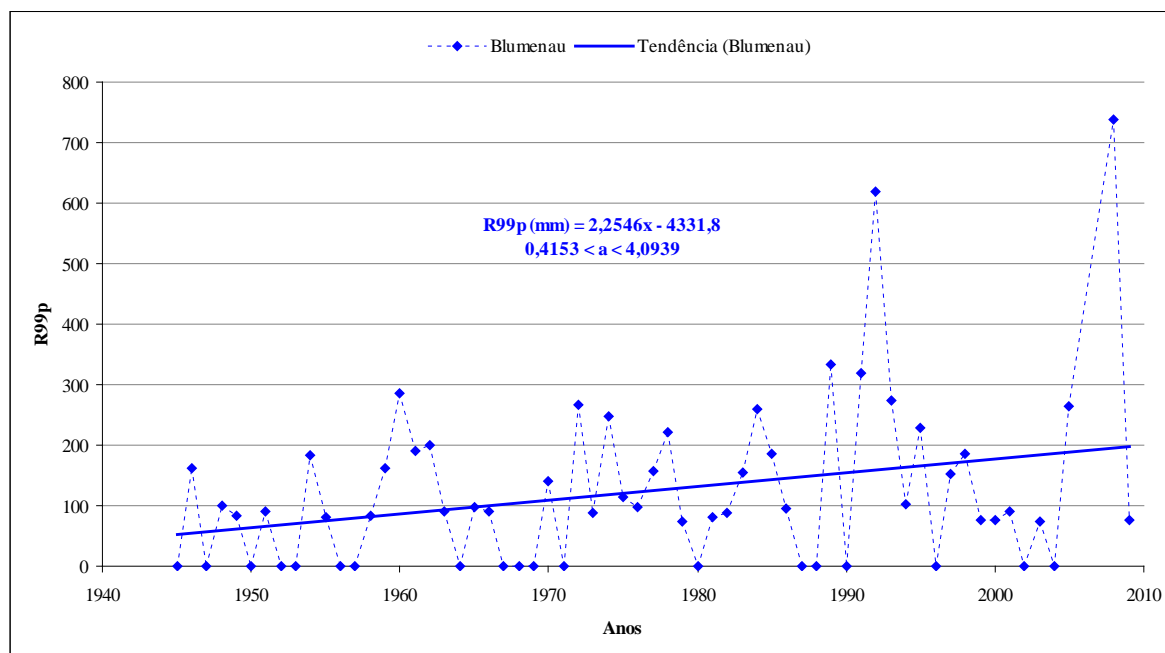


Figura 7: R99p (mm) em função do tempo (anos) para a estação de Blumenau.

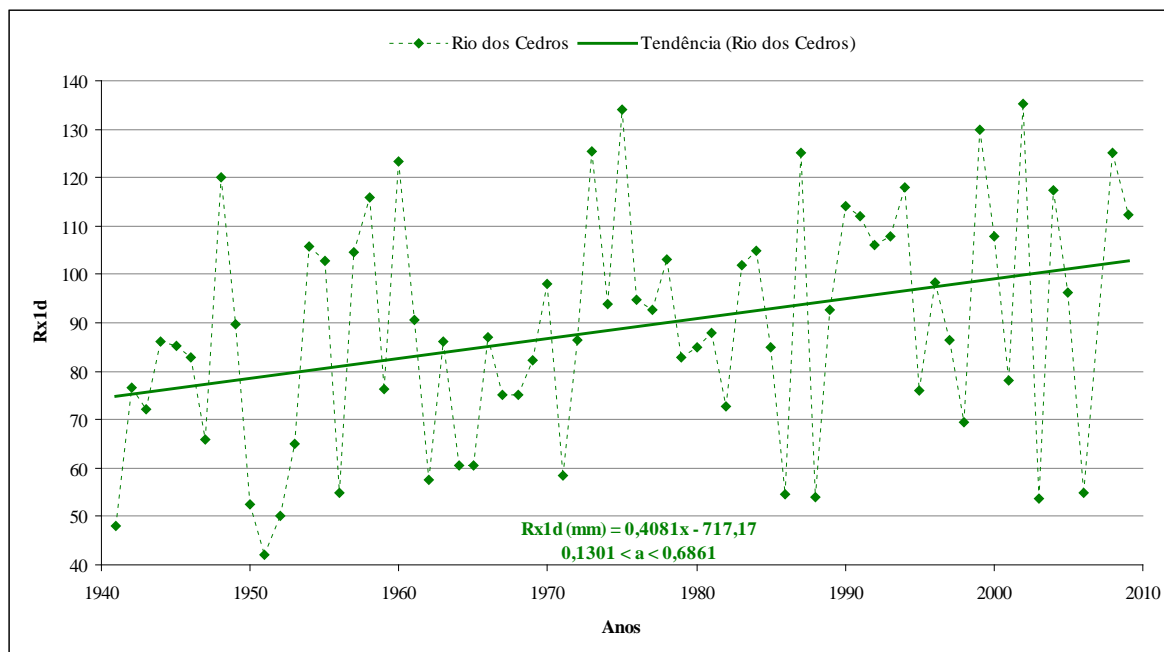


Figura 8: Rx1d (mm) em função do tempo (anos) para a estação de Rio dos Cedros.

A Figura 8 apresenta o comportamento do índice climático de precipitação Rx1d (mm) que representa a quantidade máxima anual de precipitação em um dia, com valor médio de 89 mm. Este índice apresentou significância estatística com tendência positiva ( $a > 0$ ), conforme a equação da reta de regressão linear para a estação pluviométrica de Rio dos Cedros, porém não representa grandes mudanças para o cenário futuro.

No mesmo contexto, a Figura 9 apresenta as equações das retas de regressão linear para o índice Rx5d (mm), que representa a quantidade máxima anual de precipitação em cinco dias para as estações de Pomerode e Rio dos Cedros. O referido índice apresentou significância estatística com tendência positiva ( $a > 0$ ) para ambas as estações pluviométricas. No entanto, o Rx5d não configura incremento nos volumes de precipitação para os próximos anos. Apenas confirma as tendências que já vinham ocorrendo para as estações em destaque.

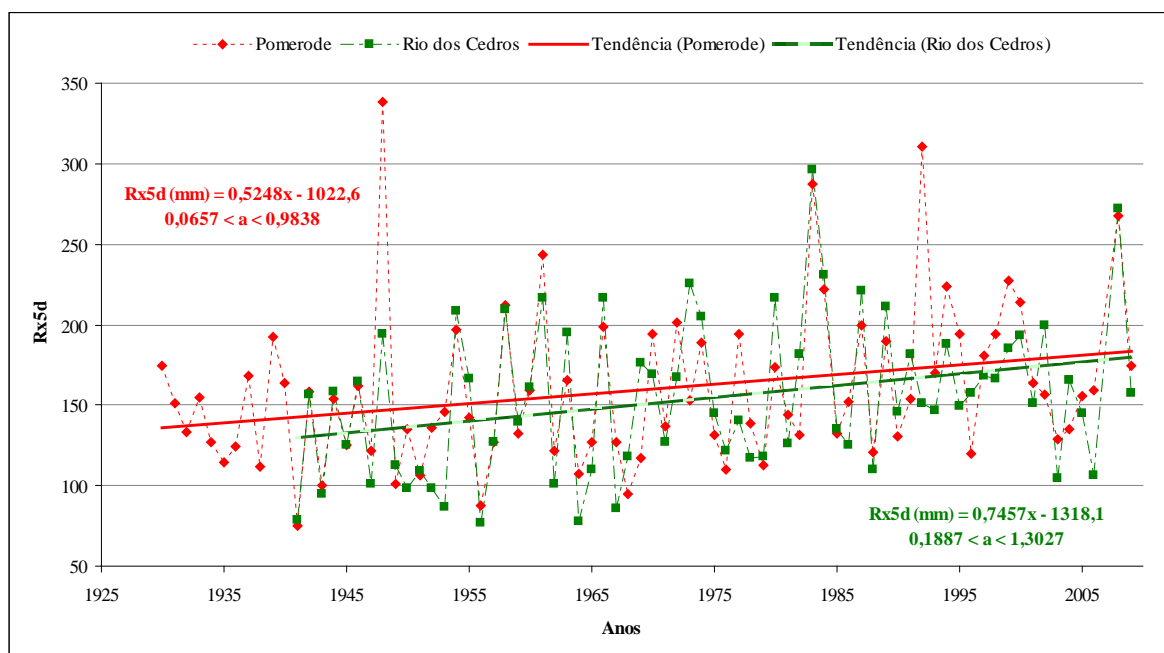
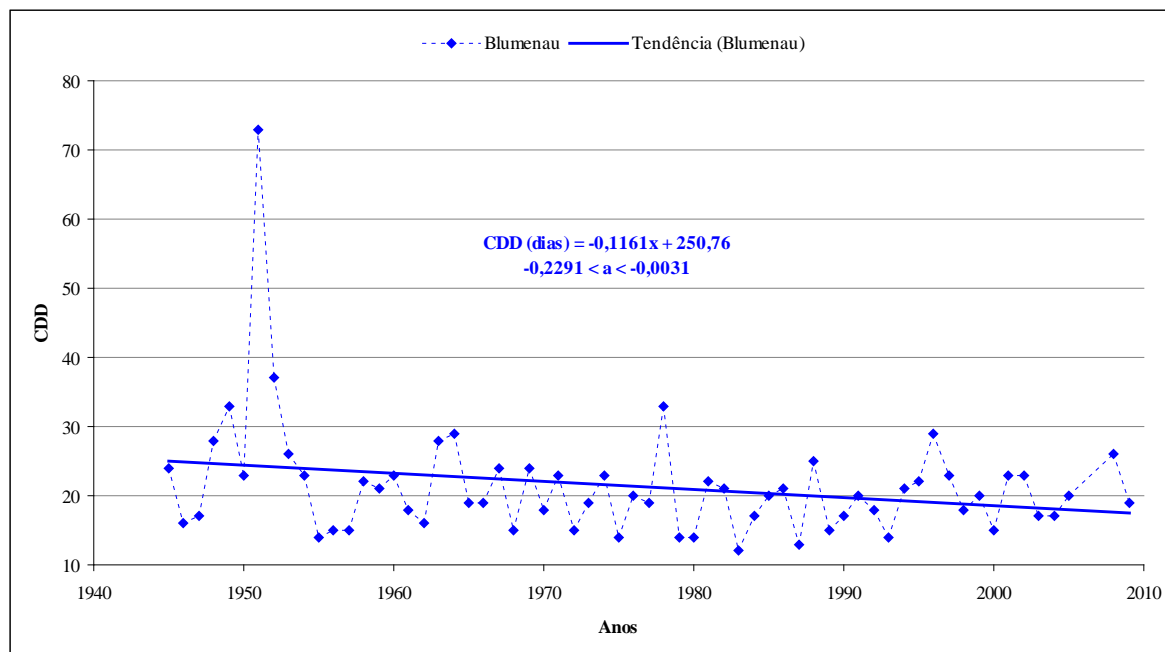


Figura 9: Rx5d (mm) em função do tempo (anos) para as estações de Pomerode e Rio dos Cedros.

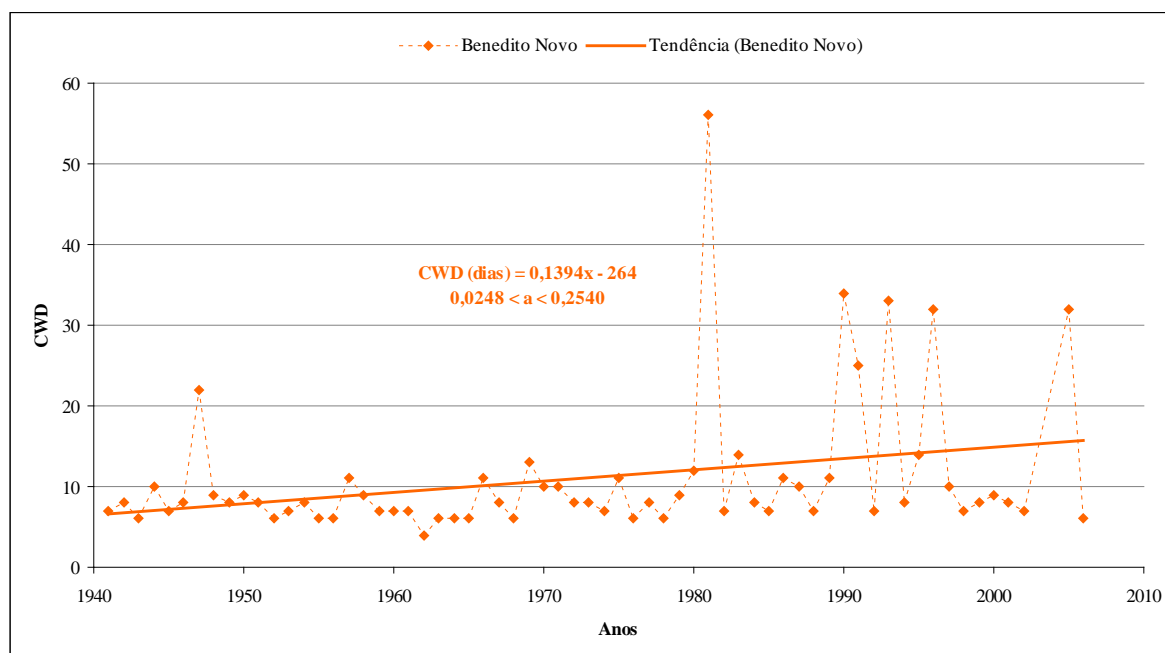




**Figura 10: CDD (dias) em função do tempo (anos) para a estação de Blumenau.**

A Figura 10 apresenta o comportamento do índice CDD (dias), que representa o número máximo de dias consecutivos secos ( $RR < 1 \text{ mm}$ ). Ao longo do período histórico analisado este índice apresentou valor médio anual de 21 dias e máximo de 73 dias consecutivos secos que ocorreu no ano de 1951. Este foi o único índice climático que apresentou tendência negativa ( $a < 0$ ), conforme os dados apresentados na Tabela 2.

A Figura 11 apresenta o comportamento do índice CWD (dias), que representa o número máximo de dias consecutivos úmidos ( $RR \geq 1 \text{ mm}$ ). Ao longo do período analisado este índice apresentou valor médio anual de 11 dias e máximo de 56 dias consecutivos úmidos que ocorreu no ano de 1981. Este índice climático apresentou tendência positiva ( $a > 0$ ), conforme a equação da reta de regressão linear para a estação pluviométrica de Benedito Novo, além disso, foi o único índice com significância estatística para esta estação.



**Figura 11: CWD (dias) em função do tempo (anos) para a estação de Benedito Novo.**

Alguns trabalhos como Santos & Brito (2007), Silva & Azevedo (2008) e Santos et al. (2009) consideraram como possíveis mudanças climáticas os índices que apresentaram a significância estatística de 10% ( $p < 0,10$ ). Numa condição dessas para o presente estudo, mais oito índices climáticos de precipitação, já mencionados, das mesmas estações seriam analisados e apresentariam tendência positiva ( $a > 0$ ) configurando novas análises.

## CONCLUSÕES

Neste estudo, analisou-se a tendência de índices climáticos de precipitação visando a detecção de mudanças climáticas na região do médio vale da bacia hidrográfica do rio Itajaí-Açu, no Estado de Santa Catarina e pode-se afirmar que pelas séries históricas analisadas, possíveis e importantes mudanças climáticas quanto a pluviosidade local dos municípios tendem a sofrer alterações consideráveis para o futuro.

Pode-se concluir que:

- Ocorreram tendências de aumento nos índices de precipitação total anual (PRCPTOT), no índice da quantidade de chuva por dia (SDII) e nos índices de frequências e intensidades das chuvas (R20, R50, R95p, R99p, Rx1d, Rx5d, CDD e CWD); e
- Os resultados demonstram que os níveis de precipitação na região vêm aumentando ao longo dos anos, caracterizando possíveis mudanças climáticas locais.

Além disso, a metodologia utilizada na análise dos dados através da utilização dos índices climáticos de precipitação se mostrou uma boa ferramenta para a detecção de possíveis mudanças climáticas e no entendimento de parte da história climatológica da região estudada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. HENN, A.; OLIVEIRA, J. L. R.; BACK, A. J. Avaliação de Tendências de Mudanças Climáticas na Região de Florianópolis-SC. Anais do Simpósio Internacional de História Ambiental e Migrações. Florianópolis, SC. pp. 06-23. 2010.
2. OLIVEIRA, J. L. R.; HENN, A.; BACK, A. J. Tendências dos Índices Climáticos Extremos de Precipitação na Região de Apiúna-SC. Anais do Simpósio Internacional de História Ambiental e Migrações. Florianópolis, SC. pp. 54-67. 2010.
3. SANTOS, C. A. C.; BRITO, J. I. B. Análise dos Índices de Extremos para o Semi-Árido do Brasil e suas Relações com TSM e IVDN. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 22, n. 3, pp. 303-312. 2007.
4. SANTOS, C. A. C.; BRITO, J. I. B.; RAO, T. V. R.; MENEZES, H. E. A. Tendências dos Índices de Precipitação no Estado do Ceará. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 24, n. 1, pp. 39-47. 2009.
5. SILVA, G. B.; AZEVEDO, P. V. Índices de Tendências de Mudanças Climáticas no Estado da Bahia. Engenharia Ambiental. Espírito Santo do Pinhal, v. 5, n. 3, pp. 141-151, set/dez, 2008.