

Impactos das mudanças climáticas nos projetos do sistema de drenagem urbana de Joinville/SC

Impacts of climate change on the projects of the urban drainage system of Joinville/SC

Heverson Bruno Vitoreti Custódio¹ , Marianna Luize Alves do Nascimento¹ , Sofia Körbes¹ , Robison Negri¹ 

¹Católica SC, Joinville, SC, Brasil. E-mails: eng.heversonvitoreti@gmail.com, mariannaluize04@gmail.com, sofia.korbes@gmail.com, robisonnegri@gmail.com

Como citar: Custódio, H. B. V., Alves do Nascimento, M. L., Körbes, S., & Negri, R. (2025). Impactos das mudanças climáticas nos projetos do sistema de drenagem urbana de Joinville/SC. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 22, e13. <https://doi.org/10.21168/rega.v22e13>

RESUMO: O presente artigo teve como objetivo analisar os impactos dos efeitos das mudanças climáticas, associados ao regime e à intensidade das chuvas nos projetos do sistema de drenagem urbana de Joinville/SC. A pesquisa avaliou projeções climáticas para cenários de aquecimento global de 1,5°C, 2°C e 4°C, aplicou métodos estatísticos para identificar tendências em séries históricas de precipitação e comparou as intensidades de chuvas de projeto atuais com novos cenários projetados. Por meio dos dados históricos e projeções futuras, foi possível ainda elaborar uma análise comparativa entre os parâmetros hidrológicos para o dimensionamento hidráulico das redes de drenagem. Os resultados apontam um aumento na intensidade das chuvas, indicando que o sistema de drenagem atual da cidade está subdimensionado para as condições climáticas presentes e futuras. O estudo reforça a necessidade de planejamento urbano sustentável e de políticas públicas para aumentar a resiliência da infraestrutura urbana frente às mudanças climáticas.

Palavras-chave: Mudanças Climáticas; Drenagem Urbana; Intensidade de Chuvas; Projeções Climáticas; Dimensionamento Hidráulico.

ABSTRACT: This article aimed to analyze the impacts of climate change effects, associated with rainfall patterns and intensity, on the urban drainage system projects of Joinville/SC. The research evaluated climate projections for global warming scenarios of 1.5°C, 2°C, and 4°C, applied statistical methods to identify trends in historical precipitation data, and compared current design rainfall intensities with newly projected scenarios. Through historical data and future projections, a comparative analysis of hydrological parameters for hydraulic network sizing was also developed. The results indicate a significant increase in rainfall intensity, showing that the city's current drainage system is undersized for both present and future climate conditions. The study underscores the need for sustainable urban planning and public policies to enhance the resilience of urban infrastructure to climate change.

Keywords: Climate Change; Urban Drainage; Rainfall Intensity; Climate Projections; Hydraulic Design.

1 INTRODUÇÃO

Na década de 1960, os cientistas já alertavam sobre a possibilidade de que o clima estivesse mudando (Roaf et al., 2009). Como resultado das atividades antrópicas, a crescente emissão de gases de efeito estufa trouxe implicações significativas para o clima global. Atualmente, a temperatura da superfície terrestre já aumentou 1,1°C entre 2011-2020, quando comparada com 1850-1900, conforme o Sexto Relatório do Intergovernmental Panel on Climate Change (2023).

O Sexto Relatório de Avaliação do IPCC (AR6, 2023) confirma de forma inequívoca a influência humana nas mudanças climáticas, intensificadas nas últimas cinco décadas pelo aumento das emissões de gases de efeito estufa. O aquecimento global afeta diretamente o ciclo hidrológico, resultando em eventos extremos que comprometem a disponibilidade hídrica (Sant Ana & Back, 2019).

As projeções do AR6 indicam que, com as políticas atuais, o aquecimento pode chegar entre 2,2°C e 3,5°C até 2100, com 1,5°C sendo alcançado já na década de 2030. As últimas quatro décadas foram as mais quentes desde 1850 (Observatório do Clima, 2024). Na América do Sul, os

Recebido: Fevereiro 13, 2025. Revisado: Junho 10, 2025. Aceito: Julho 16, 2025.



Este é um artigo publicado em acesso aberto (*Open Access*) sob a licença *Creative Commons Attribution* (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

impactos tendem a ser agravados pela desigualdade, pobreza e dependência de recursos naturais (Castellanos et al., 2022).

As projeções climáticas do AR6 baseiam-se nos Caminhos Socioeconômicos Compartilhados (SSP), com cenários que variam de baixas (SSP1-1.9) a altas emissões (SSP5-8.5), podendo resultar em até 5,7°C de aquecimento no pior caso (Lee et al., 2021; Observatório do Clima, 2024).

Os impactos decorrentes dessas alterações no clima são evidenciados pelo aumento na ocorrência de eventos climáticos extremos. Ciclos hidrológicos alterados, elevação do nível do mar e intensificação das ondas de calor são apenas alguns dos efeitos sobre a sociedade e os sistemas naturais (Intergovernmental Panel on Climate Change (2023). Por exemplo, o aumento da temperatura global tende a alterar significativamente os padrões de precipitação, com projeções do IPCC indicando elevação média de 3,3% a 5,8% até o fim do século, a depender do cenário de emissões (Lee et al., 2021).

Logo, segundo a UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 2020), a crise climática é também uma crise hídrica, com impactos que afetam não só os processos hidrometeorológicos, mas também setores como energia, economia, segurança alimentar e saneamento. A relação entre clima e ciclo hidrológico é estreita, sendo esse último essencial para o equilíbrio climático e diretamente influenciado por ações humanas, como mudanças no uso do solo e construção de infraestruturas.

Dessa forma, as infraestruturas urbanas estão cada vez mais vulneráveis a eventos como inundações, deslizamentos e escassez hídrica (Espíndola & Ribeiro, 2020). Países em desenvolvimento, como o Brasil, embora pouco responsáveis pelas emissões históricas, estão entre os mais expostos aos riscos climáticos (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2023), como já observado no aumento de chuvas intensas e temperaturas na Região Sul (Sant Ana & Back, 2019). Nas cidades, os impactos afetam a saúde humana e os sistemas urbanos, agravados pela urbanização desordenada e ocupação de áreas de risco (Silva Junior & Silva, 2016; Intergovernmental Panel on Climate Change, 2023).

Diante desse cenário, é essencial fortalecer a governança climática local. Cidades, como centros de vulnerabilidade e de inovação, devem liderar ações de adaptação e mitigação bem como medidas de prevenção para bacias hidrográficas com maior suscetibilidade. (Espíndola & Ribeiro, 2020; Drumond et al., 2023; Negri & Fill, 2023).

No Brasil, projeções regionais baseadas em modelos do IPCC indicam que, até o fim do século, a região Sul pode ter aumento de 2 a 4 °C na temperatura e até 10% na precipitação em cenários de altas emissões, com estimativas mais precisas obtidas via *downscaling* (Marengo, 2014; Santos et al., 2020; Marengo et al., 2007).

Um dos exemplos mais atuais para a realidade no Brasil foi a tragédia ocorrida entre o final de abril e início de maio de 2024, no estado do Rio Grande do Sul. Com diversos serviços públicos afetados e infraestrutura comprometida em 478 municípios, os prejuízos causados pelas enchentes acumulam mais de R\$12 bilhões, e milhares de pessoas ficaram desabrigadas (Confederação Nacional de Municípios, 2024).

Estudos recentes indicam que as mudanças climáticas resultantes de atividades humanas aumentaram em duas vezes a probabilidade de ocorrência de eventos como as chuvas extremas ocorridas no Rio Grande do Sul, além de contribuir para tornar as chuvas cerca de 6-9% mais intensas (World Weather Attribution, 2024).

Embora tais eventos de precipitação intensa sejam considerados raros, as previsões e estudos realizados acerca do tema indicam cenários de maior frequência e intensidade desses eventos extremos, sendo que os países subdesenvolvidos são os mais afetados (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2023).

O Município de Joinville, no norte de Santa Catarina, sofre historicamente com inundações, intensificadas pela ocupação desordenada e pela ausência de planejamento urbano adequado (Silveira et al., 2009; Joinville, 2011a). Sua localização em área de baixa altitude, sujeita a marés e chuvas intensas, agrava a vulnerabilidade (Joinville, 2024b). Como em muitas cidades brasileiras, os sistemas de drenagem urbana são insuficientes frente às atuais condições de urbanização (Joinville, 2011b).

Nesse cenário de mudanças climáticas e o decorrente aumento nos episódios de chuvas intensas, coloca-se em questão a vulnerabilidade dos sistemas de drenagem urbana de Joinville. Portanto, o primeiro passo para a adaptação e resiliência das cidades a esses impactos é a avaliação objetiva dos riscos e o fortalecimento das infraestruturas (World Weather Attribution, 2024).

A importância de abordar este tema é notória, visto que as mudanças climáticas têm mobilizado empresas e governos em todo o mundo nos últimos anos, dado que as implicações causadas por essas alterações podem causar danos sociais, econômicos e ambientais irreversíveis (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2023). Diante do exposto, justifica-se a elaboração de estudos que buscam avaliar os impactos que as alterações climáticas podem exercer no planejamento e dimensionamento de projetos de drenagem urbana de Joinville/SC.

Este artigo tem como objetivo analisar os possíveis impactos dos efeitos das mudanças climáticas, associados ao regime e à intensidade das chuvas nos projetos do sistema de drenagem urbana de Joinville/SC. Para atingir esse objetivo, foram definidos os seguintes objetivos específicos: elaborar um breve estudo da arte relacionado a pesquisas que abordam o tema das mudanças climáticas; verificar, por meio de uma análise de tendências, se já são percebidos os efeitos das mudanças climáticas no regime de chuvas local; avaliar se as eventuais mudanças locais identificadas indicam a necessidade de mudanças nos critérios utilizados nos projetos de drenagem local.

2 METODOLOGIA

A cidade de Joinville está localizada no estado de Santa Catarina (Figura 1), região sul do país. Situa-se no litoral norte do estado e confronta-se a leste com a Baía da Babitonga e a Oeste com trecho da cadeia de montanhas da Serra do Mar. Possui uma área territorial de 1.127.946 km², sendo 213,18 km² de área urbanizada e população de 616.317 habitantes (Joinville, 2024a).



Figura 1: Localização do município de Joinville. Nota.

Fonte: Recuperado de Secretaria de Desenvolvimento Econômico e Inovação (Joinville, 2024a).

A cidade está inserida em região de clima subtropical úmido (Cfa), segundo a classificação de Köppen-Geiger (Peel et al., 2007), apresentando elevada precipitação anual, acima de 2.000 mm, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano. Esse padrão é intensificado pela proximidade com o litoral e a presença da Serra do Mar, que favorece a ocorrência de chuvas orográficas a partir dos ventos úmidos do Atlântico. Além disso, frentes frias, sistemas de baixa pressão e massas de ar contribuem para a variabilidade sazonal, com volumes mais elevados no verão e menores no inverno. (Back, 2002; Negri & Ramos, 2003)

Na Figura 2 apresenta-se a caracterização do regime de chuvas mensais ao longo do ano, evidenciando o vale formado pelos períodos de maior e menor volume, respectivamente no verão e inverno.

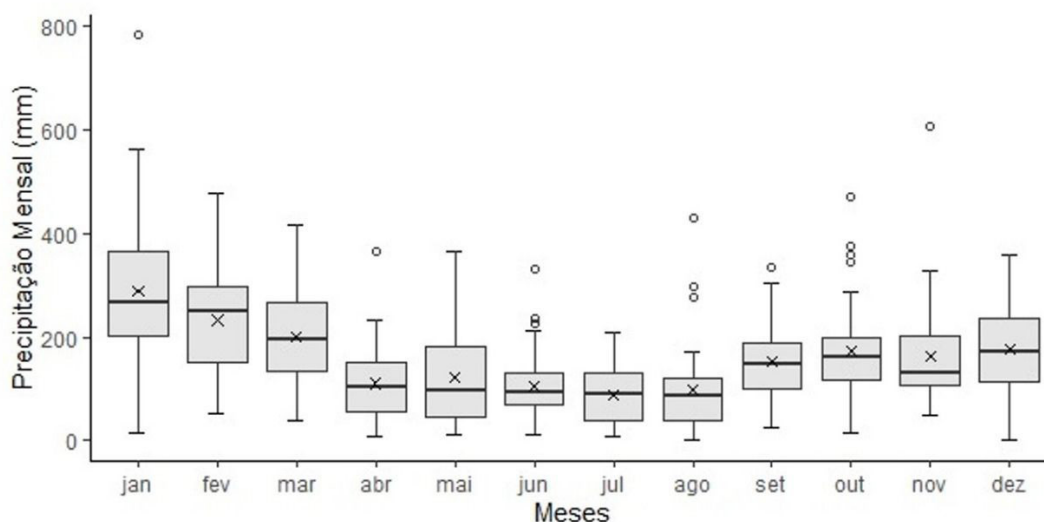


Figura 2: Precipitação média mensal entre o período de 1987 a 2023

Desde a década de 1950, a intensificação da industrialização e o consequente aumento populacional em Joinville tem sobrecarregado o sistema de drenagem, agravando as inundações causadas por chuvas intensas e marés no estuário do rio Cachoeira (Joinville, 2024a). Como em muitas cidades brasileiras, o crescimento urbano desordenado e a falta de planejamento e fiscalização da drenagem contribuem significativamente para esses problemas (Joinville, 2011a).

2.1 Análise dos efeitos das mudanças climáticas nas chuvas

Os dados utilizados no presente estudo foram extraídos da pesquisa realizada por Santos et al. (2020), que avaliou os impactos do aquecimento global de 1,5°C, 2°C e 4°C acima dos níveis de temperatura pré-industriais sobre o território brasileiro. O artigo que foi desenvolvido no âmbito do projeto “Quarta Comunicação Nacional e Relatórios de Atualização Bienal do Brasil à Convenção do Clima”, com o apoio do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações e das Nações Unidas, analisou as projeções de mudanças no regime de precipitação no Brasil para diferentes cenários climáticos.

Apesar da necessidade de mais estudos regionais, Santos et al. (2020) analisaram os impactos das mudanças climáticas no Brasil e projetaram para o cenário de 4°C, um aumento de até 25% na precipitação anual nas regiões Sudeste e Sul entre 2053 e 2096, em comparação ao período de 1981 a 2010 (Figura 3). Também analisaram as projeções de mudanças nas ocorrências de eventos climáticos extremos. Os resultados, apresentados na Figura 4, indicam para o Sul do Brasil o aumento da precipitação intensa e denotam, com isso, um maior risco de ocorrências de inundações. Para a região norte de Santa Catarina, no verão, esse aumento pode chegar até 20% em um cenário de aquecimento global de 2°C e 60% para um cenário de 4°C (Figura 4).

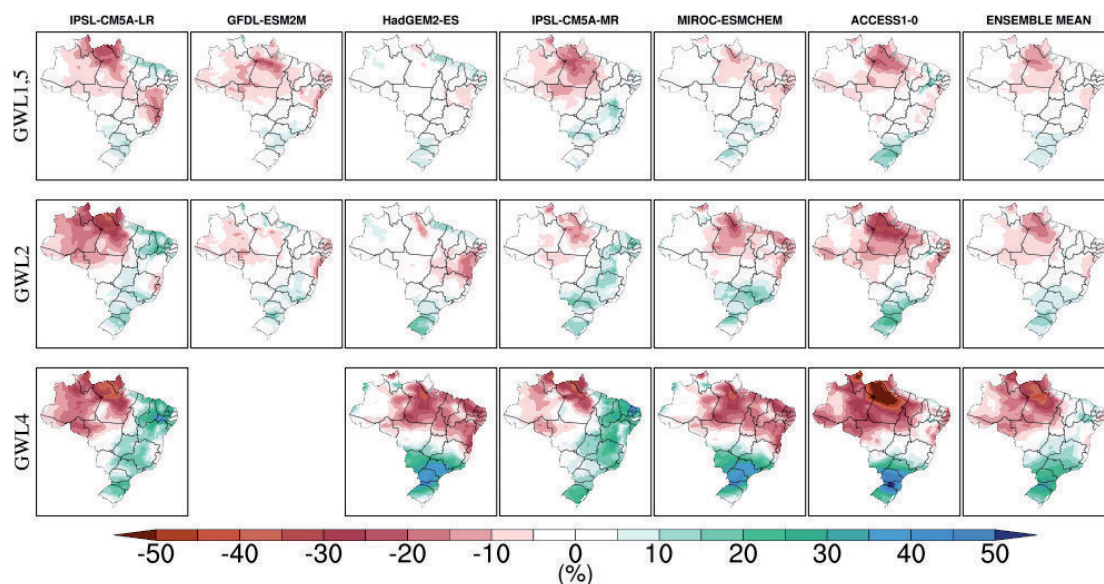


Figura 3: Projeções de variação da precipitação anual (%) para o período futuro (2053-2096) em relação ao período de referência (1981-2010) para os níveis de aquecimento global 1,5°C (GWL1.5), 2°C (GWL2) e 4°C (GWL4).

Fonte: Santos et al. (2020, p. 82).

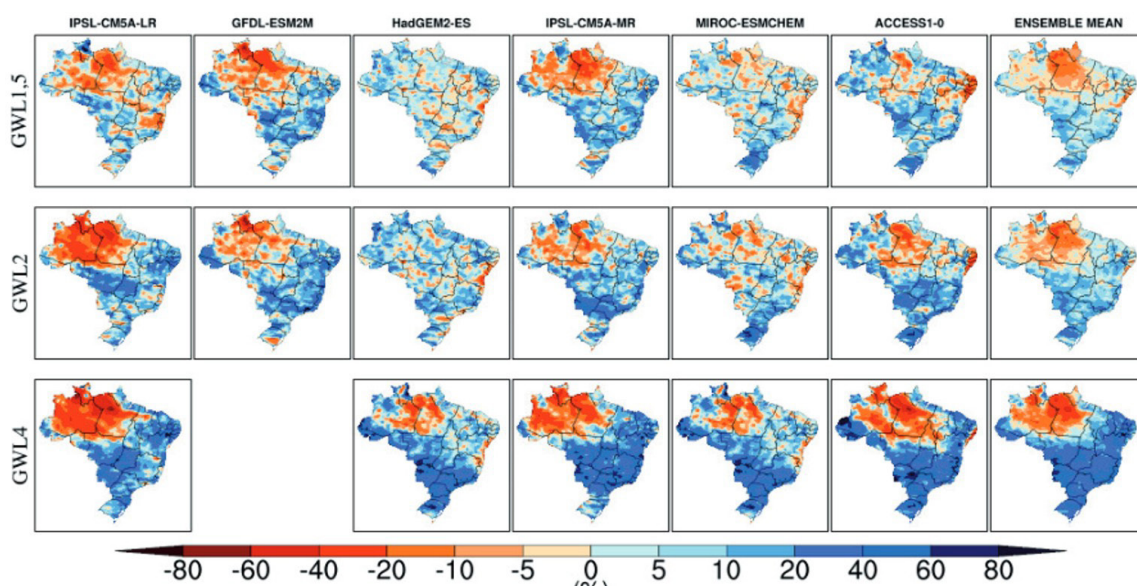


Figura 4: Projeções de variação da precipitação máxima acumulada em 5 dias (RX5day) (%) para o período futuro (2053-2096) em relação ao período de referência (1981-2010) para os níveis de aquecimento global 1,5°C (GWL1.5), 2°C (GWL2) e 4°C (GWL4).

Fonte: Santos et al. (2020, p. 85).

O referido artigo utilizou como base para as simulações o modelo climático global HadGEM3-A, com alta resolução espacial (60km) e condições de contorno provenientes do CMIP5 (modelos globais utilizados nas análises do IPCC). Para essa análise, é relevante avaliar as variações da precipitação máxima acumulada em 5 dias, o RX5day - um índice que reflete os extremos climáticos nas chuvas.

Tomando como referência o modelo Ensemble Mean, uma combinação dos resultados dos seis experimentos realizados na pesquisa de Santos et al. (2020), pode-se identificar graficamente, por meio da ampliação de escala e da comparação de tonalidade, as projeções (máxima, média e mínima) da variação na precipitação máxima acumulada no verão, estação de maior ocorrência das chuvas intensas no norte de Santa Catarina.

Dessa forma, foi possível estimar as projeções máximas, médias e mínimas, em termos percentuais, dos efeitos das mudanças climáticas sobre a precipitação no norte de Santa Catarina,

considerando os cenários de aquecimento global de 1,5°C, 2°C e 4°C em relação ao período de referência de 1981 a 201.

A partir disso, foram aplicadas tais estimativas para cada cenário de aquecimento, nas relações IDF, as Equações de Chuvas 1 e 2, elaborada por Back (2002) para a cidade de Joinville (denominada IDF Atual), obtendo, por fim, valores de intensidade de chuvas de projeto que consideram os impactos climáticos na sua estimativa.

$$i = \frac{641,7 \cdot T^{0,2290}}{(t+8,8)^{0,6859}} \text{ para } t \leq 120 \text{ min} \quad (1)$$

$$i = \frac{1201,9 \cdot T^{0,2270}}{(t+23,3)^{0,8025}} \text{ para } 120 \text{ min} < t \leq 1440 \text{ min} \quad (2)$$

onde i : intensidade da chuva (mm/h); T : período de retorno (anos); t : duração da chuva (minutos).

2.2 Análise de tendências no regime de chuvas de Joinville

Utilizou-se dados de três estações pluviométricas ainda em operação na zona urbana de Joinville. A principal, de acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA), é denominada Estação 2648014 (RVPS) e localizada na antiga estação ferroviária do município. Os dados coletados desta estação, após preencher as lacunas com dados de outras estações (2649060 e 2648033), resultaram em uma série de 37 anos (1987-2023) e foram dispostos em uma planilha eletrônica para as análises subsequentes.

O método de preenchimento de falhas adotado foi o de média aritmética ponderada de postos vizinhos e pode ser definido através da Equação 3.

$$P_x = \frac{1}{2} \left(\frac{N_x}{N_A} P_A + \frac{N_x}{N_B} P_B \right) \quad (3)$$

onde P_x : valor a ser preenchido (mm); $P_{A,B}$: valor das duas estações vizinhas (mm); $N_{x,A,B}$: valor médio de cada estação (mm).

Depois de preenchidas as lacunas de dados, estes foram organizados em duas séries anuais:

- **Série de precipitações máximas diárias anuais**, formada pelos maiores valores de precipitação diária registrados em cada ano, sendo esta utilizada na modelagem da IDF Nova e análise de tendência;
- **Série de precipitações totais anuais**, composta pelo total precipitado em cada ano, utilizada para a análise de tendência.

a) Análise de Chuvas Intensas (IDF Nova)

As chuvas intensas representam um desafio para a drenagem urbana. As equações de chuvas intensas (IDF) são ferramentas matemáticas que auxiliam no projeto e dimensionamento adequado dos sistemas de drenagem. Para obtê-las a coleta de dados pluviométricos locais é essencial (Steinke Júnior, 2017; Silva, 2022).

Com o objetivo de avaliar a eventual alteração das relações IDF, os dados de máxima precipitação diária anual foram submetidos a análise estatística e probabilística, considerando o modelo de probabilidade Gumbel (Equação 4), para os períodos de retorno de 2, 5, 10 e 50 anos.

$$F.A.P. [Y \leq X] = e^{-e^{-\left(\frac{Y-\alpha}{\beta}\right)}} \quad (4)$$

onde β : 0,7797 σ ; α : $\mu - 0,45\sigma$; σ : $(\text{VAR}[X])^{1/2}$ = Desvio padrão; μ : $E[X]$ = Média.

Tendo em vista a disponibilidade de chuva máxima diária anual, fez-se necessária a aplicação da equação de desagregação de chuvas, obtida empiricamente por Silveira (2000) e adaptada, com o objetivo de estimar as intensidades de chuva. A Equação 5 permite obter o valor do coeficiente de desagregação da chuva máxima diária para durações inferiores a 24 horas.

$$C_{24}(t) = 1,14 \cdot e^{1,5 \cdot \ln\left(\frac{\ln(t)}{7,3}\right)} \quad (5)$$

onde $C_{24}(t)$: o coeficiente direto de desagregação; t : duração da chuva (min).

Os procedimentos de modelagem aplicados seguiram o método utilizado por Siduoski & Negri (2017). Arqueação obtida com resultado foi neste trabalho denominada como IDF Nova.

b) Análise de tendências no regime de chuvas de Joinville

As séries das chuvas máximas diárias anuais e das chuvas totais anuais foram testadas quanto a normalidade através dos métodos Shapiro-Wilk e Kolmogorov-Smirnov, sendo que para ambas as séries a hipótese de normalidade foi aceita.

Também foi verificada a inexistência de autocorrelação, pelo teste de significância do coeficiente de correlação de Pearson, sendo que a hipótese de inexistência de autocorrelação foi aceita para a série de dados das chuvas totais anuais. Já a série das chuvas máximas diárias anuais rejeitou a hipótese de inexistência de autocorrelação, sendo necessária a eliminação da autocorrelação antes da aplicação da análise de tendência.

A análise de tendência foi realizada por meio de análise gráfica e testes de hipótese pelos métodos de Wilcoxon, Mann-Kendall, f-Snedecor, Regressão Linear, T-Student e Spearman.

O intuito da aplicação dos testes consistiu em verificar as seguintes hipóteses:

H0: Os dados da amostra são independentes e igualmente distribuídos, logo, não há tendência;

H1: A distribuição dos dados não é idêntica e há tendência monotônica no tempo.

Os testes de Wilcoxon, Mann-Kendall e Spearman são não paramétricos e executados sobre a amostra inteira, enquanto F-Snedecor, Regressão e T-Student são paramétricos e requerem normalidade, e foram executados conforme as Equações 6 à 20.

Método Wilcoxon:

$$Z = \frac{W - n_1(n_1 + n_2 + 1)/2}{\sqrt{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 1)/12}} \quad (6)$$

onde $n_{1,2}$: número de registros do grupo de amostra, sendo cada grupo composto por uma metade da série de dados (n_1 de 2006 a 2023 e n_2 de 1987 a 2005); W : menor número entre as somas dos índices de cada amostra n ; z : variável normal padrão.

Po teste de Wilcoxon, rejeita-se a hipótese H0 caso $|z| > z_{\alpha/2}$, para um nível de significância α .

Método Mann-Kendall:

$$MK = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}[z_j - z_i] \quad (7)$$

onde n : número de registros na amostra; $z_{i,j}$: valor da precipitação anual.

Em que se convencionou:

$$\text{sgn}[z_j - z_i] = \begin{cases} 1, & \text{se } (z_j - z_i) > 0 \\ 0, & \text{se } (z_j - z_i) = 0 \\ -1, & \text{se } (z_j - z_i) < 0 \end{cases} \quad (8)$$

A variância de MK é dada por:

$$\text{VAR}[MK] = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (9)$$

A variável do teste é calculada por:

$$z = \begin{cases} \frac{MK-1}{\sqrt{\text{VAR}[MK]}}, & \text{se } MK > 0 \\ 0, & \text{se } MK = 0 \\ \frac{MK+1}{\sqrt{\text{VAR}[MK]}}, & \text{se } MK < 0 \end{cases} \quad (10)$$

Para o teste de Mann-Kendall, rejeita-se a hipótese H0 caso $z > z_{\alpha/2}$, para um nível de significância α .

Método F-Snedecor ou Distribuição F:

A estatística do teste é dada por:

$$F = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} \quad (11)$$

onde σ_1^2 e σ_2^2 são as variâncias das duas subamostras (σ_1^2 de 2006 a 2023 e σ_2^2 de 1987 a 2005).

Para o teste F-Snedecor, rejeita-se a hipótese H_0 caso um dos resultados a seguir seja verdadeiro, para um nível de significância α :

$$F < F_{1-\frac{\alpha}{2}, n_1-1, n_1-2} \quad (12)$$

$$F > F_{\frac{\alpha}{2}, n_1-1, n_1-2} \quad (13)$$

Teste de Regressão Linear:

Ele testa o coeficiente angular da reta ajustada aos dados, conforme:

$$y_t = c_1 x_t + c_2 + a_t \quad (14)$$

onde $c_{1,2}$: coeficientes do modelo, estimados via mínimos quadrados; a_t : série de resíduos do ajuste; y : variável dependente; x : variável independente (tempo).

Estatística do teste:

$$t_0 = \frac{c_1}{\sigma_{c_1}} \quad (15)$$

onde:

$$\sigma_{c_1} = \sqrt{\frac{\sigma_{a_t}^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu_x)^2}}; \sigma_{a_t}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n a_i^2}{n-2} \quad (16)$$

Para o teste de Regressão, rejeita-se a hipótese H_0 quando $|t_0| > t_{\alpha/2, (n-2)}$, para um nível de significância α .

Método T-Student:

A estatística do teste é dada por:

$$t_0 = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}} \quad (17)$$

onde $n_{1,2}$: número de registros do grupo de amostra (n_1 de 2006 a 2023 e n_2 de 1987 a 2005); $\mu_{1,2}$: média da amostra; $\sigma_{1,2}$: variação da amostra.

Para o teste T-Student, rejeita-se a hipótese H_0 caso $|t| > t_{\alpha/2, v}$, para um nível de significância α e v graus de liberdade, onde:

$$v = \frac{(\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2})^2}{\frac{\sigma_1^2/n_1}{n_1-1} + \frac{\sigma_2^2/n_2}{n_2-1}} \quad (18)$$

Método Spearman:

O coeficiente de correlação de Spearman é dado por:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n^3 - n} \quad (19)$$

onde d_i : diferença entre as posições dos elementos para cada par i .

A estatística do teste é dada por:

$$p_s = \frac{r_s}{\sqrt{\frac{1}{n-1}}} \quad (20)$$

Para o teste Spearman, rejeita-se a hipótese H_0 caso $\rho_s > z_{\alpha/2}$, para um nível de significância α .

2.3 Análise dos impactos das mudanças climáticas no dimensionamento hidráulico

Utilizando as intensidades de chuvas de projetos calculadas com base na relação IDF Atual (Equação 1), nas projeções futuras estimadas (subcapítulo 2.1) e na IDF Nova (subcapítulo 2.2.a), foi possível elaborar uma análise comparativa entre os parâmetros hidrológicos para o dimensionamento hidráulico das redes de drenagem para os seguintes cenários:

- IDF Atual: baseado nos atuais critérios de dimensionamento de projetos do município de Joinville;
- GWL 1,5°C: baseado nas projeções de variação na precipitação para o cenário de aumento de temperatura global de 1,5°C;
- GWL 2°C: baseado nas projeções de variação na precipitação para o cenário de aumento de temperatura global de 2°C;
- GWL 4°C: baseado nas projeções de variação na precipitação para o cenário de aumento de temperatura global de 4°C;
- IDF Nova: baseado nos dados coletados de três estações pluviométricas ainda em operação na zona urbana de Joinville.

O dimensionamento dos sistemas de drenagem é fundamentado pela estimativa da vazão de escoamento superficial afluente ao sistema, sendo geralmente estimada pelo Método Racional. Neste método dois parâmetros podem ser relacionados ao aumento da vazão de projeto, para a mesma área de contribuição, que são: a intensidade da chuva de projeto e o coeficiente de escoamento superficial, sendo este segundo relacionado a diversos fatores, inclusive a intensidade da chuva. Logo, é de suma importância a determinação adequada da intensidade para se obter as vazões de projeto, com modelos de chuva-vazão (Zahed Filho & Marcellini, 1995).

Desta forma, o impacto da mudança do regime de chuvas no dimensionamento de obras de drenagem pode ser analisado de forma relativa através da vazão específica, conforme Equação 21.

$$q = C \times i \quad (21)$$

onde q : vazão específica de projeto (mm/h); C : coeficiente de escoamento superficial (-); i : intensidade da chuva de projeto (mm/h).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Resultados da análise dos efeitos das mudanças climáticas nas chuvas

Com base na Figura 4, apresentada da seção 2.1, foram obtidas as projeções máximas, médias e mínimas, em valores percentuais, dos efeitos na chuva intensas para o norte catarinense. Os resultados, apresentados na Tabela 1, apontam para aumentos percentuais de precipitação que podem variar de 5% a 60%, a depender do cenário de mudança da temperatura global. Mesmo para um cenário conservador pode-se projetar um aumento médio de 15% nos volumes de precipitação considerando o modelo GLW 2°C.

Tabela 1: Resultados das projeções de variação na precipitação

	GLW 1,5° C	GLW 2° C	GLW 4° C
Mínima	5%	10%	40%
Média	8%	15%	50%
Máxima	10%	20%	60%

Baseado nas projeções percentuais apresentado na Tabela 1, foi possível estimar a previsão de incremento nas chuvas intensas de Joinville, tomando por base a IDF Atual (Equação 1), considerando a média prevista nos modelos. Os valores numéricos obtidos para os períodos de retorno 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos e durações de até 60 minutos são apresentados no Apêndice A.

Comparativamente, apresentam-se na Figura 5 às curvas de intensidade-duração-frequência (IDF) para os tempos de retorno de 2, 5, 10 e 20 anos considerando os parâmetros atualmente utilizados para os projetos e a projeções dos modelos. Naturalmente, os resultados revelam chuvas mais intensas do que as utilizadas atualmente no dimensionamento de projetos do sistema de drenagem urbana de Joinville, especialmente para chuvas de curta duração. Isto indica uma possível vulnerabilidade do sistema de drenagem atual da cidade, pela falta de capacidade de escoamento para chuvas mais intensas, decorrentes dos processos de mudanças climáticas.

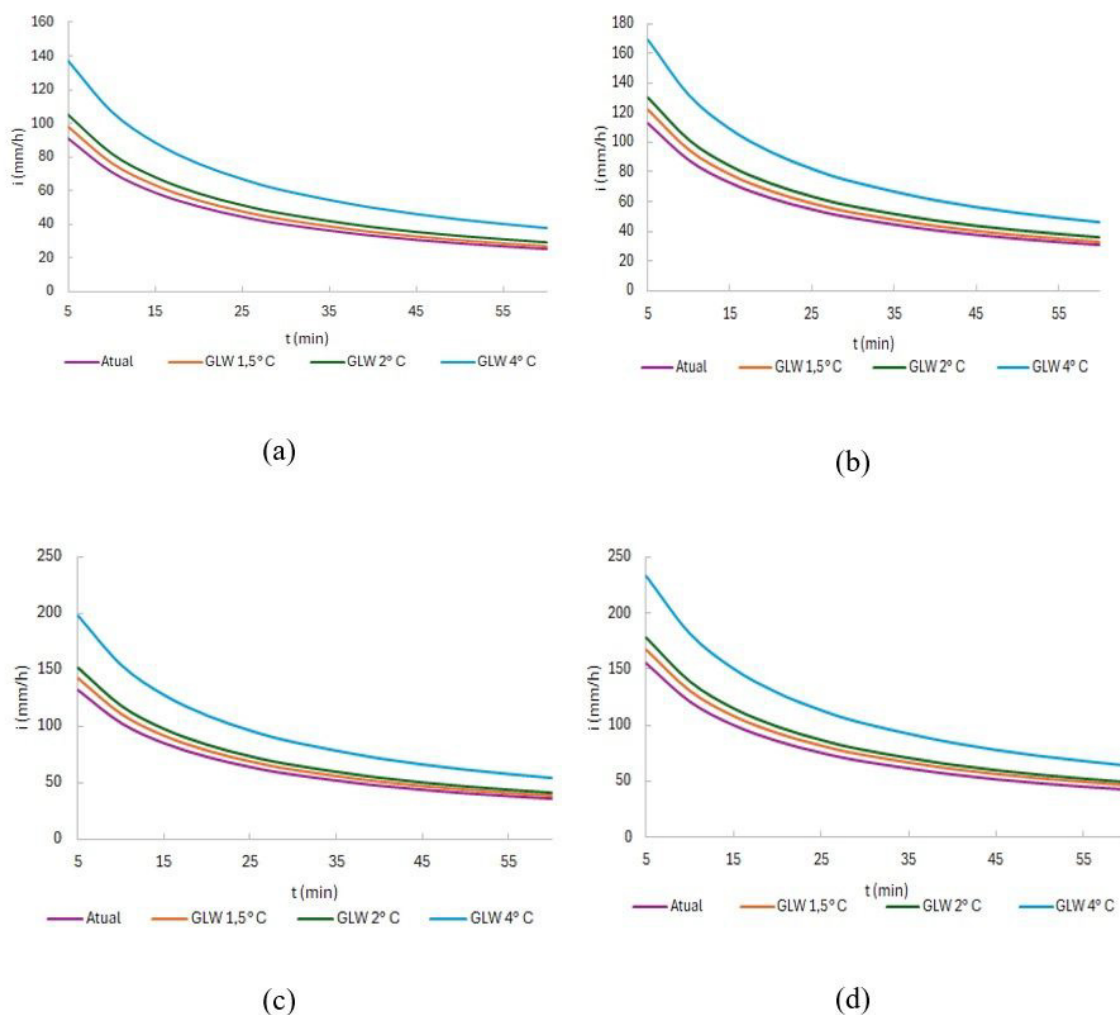


Figura 5: Curvas IDF para os cenários Atual e de GWL 1,5°C, GWL 2°C e GWL 4°C - a) TR = 2 anos; b) TR = 5 anos, c) TR = 10 anos e d) TR = 20 anos.

3.2 Resultados da análise de tendências no regime de chuvas de Joinville

Aplicando o método de regressão linear nas duas séries históricas estudadas foi possível obter os gráficos de tendência demonstrados nas Figuras 6 e 7. Percebe-se uma inclinação positiva para a tendência de ambas as séries de dados, com maior inclinação para as chuvas máximas diárias anuais, o que indica que as eventuais mudanças no regime de chuvas têm se concentrado de forma mais significativa nos períodos de chuvas mais intensas.

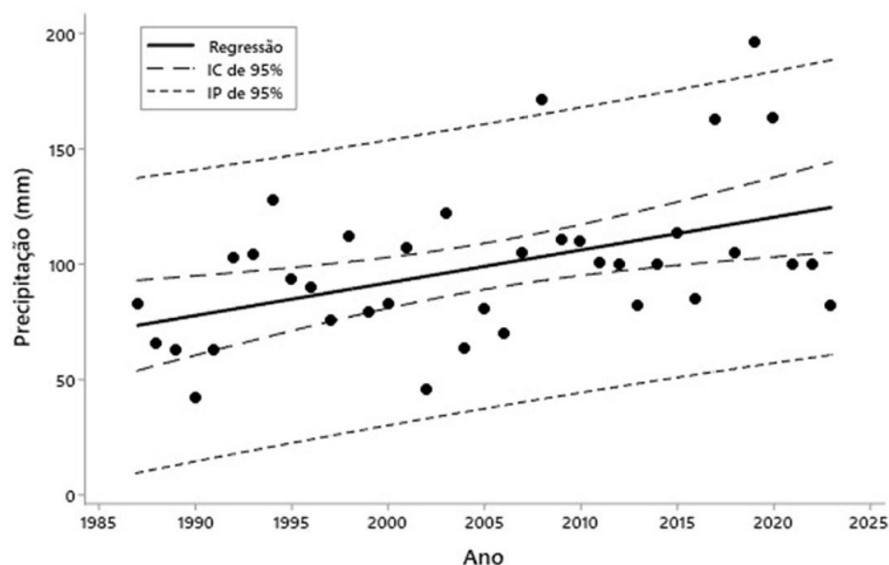


Figura 6: Análise de tendência por regressão da precipitação máxima diária anual

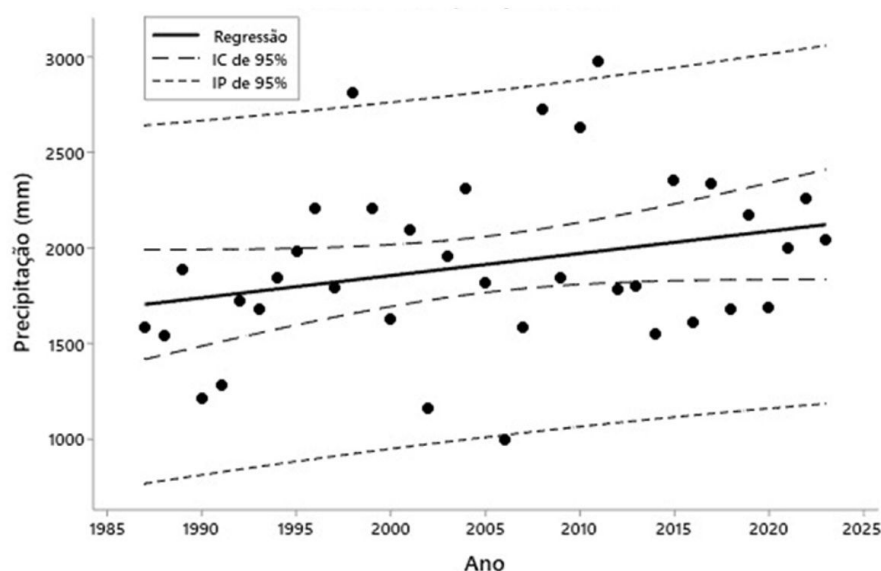


Figura 7: Análise de tendência por regressão da precipitação total anual

Aplicando os testes de estacionariedade propostos para ambas as séries, pode-se encontrar os resultados observados na Tabela 2.

Tabela 2: Resultados das análises estatísticas

Série de Máximas Diárias		Resultado	Limite de Rejeição H0	P-valor	Rejeita H0	Comportamento
Teste	Wilcoxon	-1,820	1,960	0,96586	Não	Estacionária
	Mann-Kendall	1,990	1,960	0,00003	Sim	Não Estacionária
	Regressão Linear	0,004	1,960	0,00398	Sim	Não Estacionária
	F-Snedecor	2,120	1,960	0,85975	Não	Estacionária
	T-Student	3,000	1,960	0,00506	Sim	Não Estacionária
	Spearman	2,470	1,960	0,01359	Sim	Não Estacionária

Tabela 2: Continuação...

Série de Máximas Diárias		Resultado	Limite de Rejeição H0	P-valor	Rejeita H0	Comportamento
Teste	Wilcoxon	0,030	1,960	0,51212	Não	Estacionária
	Mann-Kendall	1,960	1,960	0,02347	Sim	Não Estacionária
	Regressão Linear	0,095	1,960	0,09507	Não	Estacionária
	F-Snedecor	1,470	1,960	0,55480	Não	Estacionária
	T-Student	1,190	1,960	0,23414	Não	Estacionária
	Spearman	1,860	1,960	0,06240	Não	Estacionária

Através do método analítico descrito pelas Equações 4, que resulta em um valor de chuva máxima diária para 24 horas de acordo com o tempo de retorno estimado e ajustado para as durações de 5 a 60 minutos com o uso do coeficiente de desagregação descrito na Equação 5, foi possível obter as intensidades de chuvas esperadas para os tempos de retorno e durações informados, que são apresentadas no Apêndice B.

A Figura 8 demonstra as curvas IDF atual e nova, evidenciando o aumento estimado com os resultados da análise.

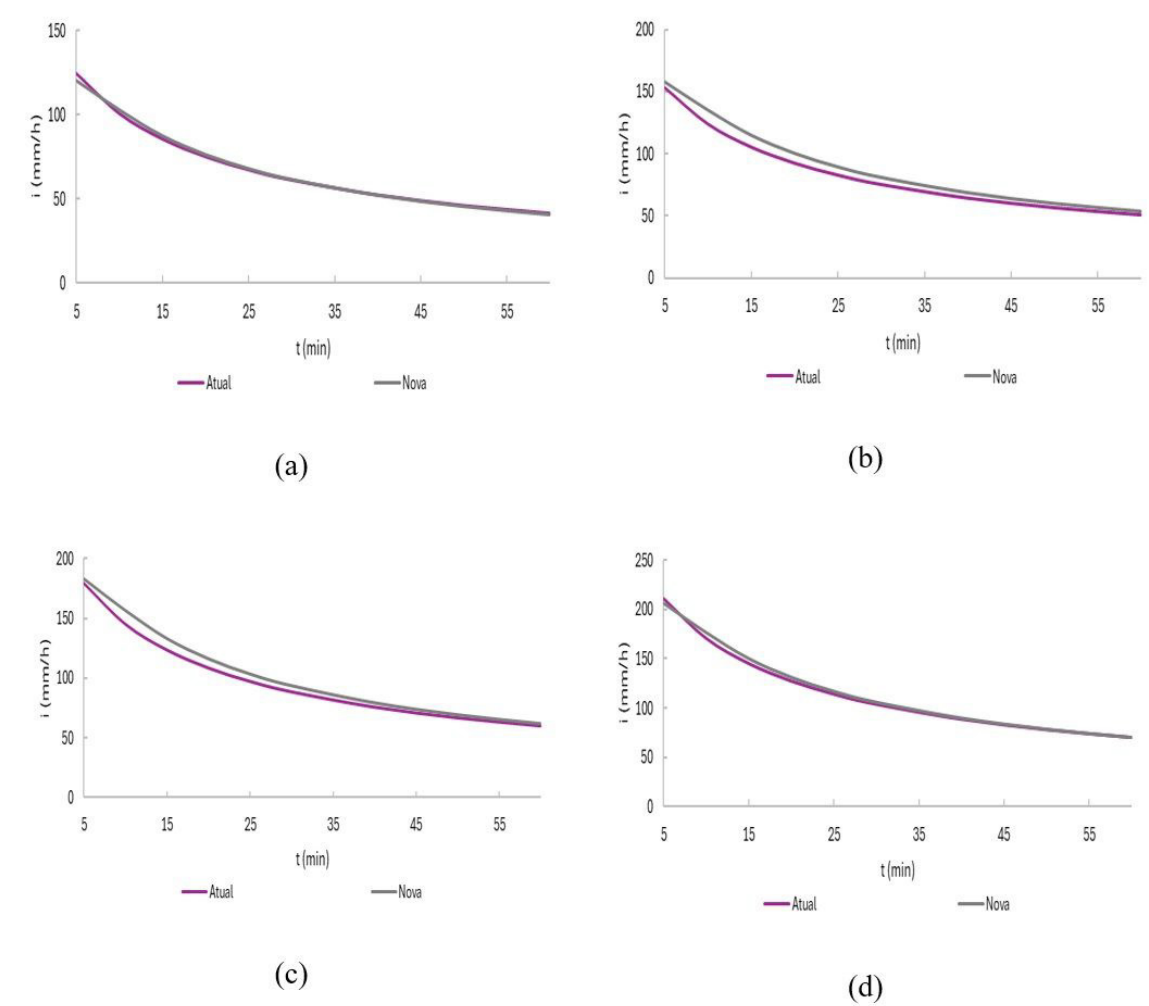


Figura 8: Curvas IDF para os cenários IDF Atual e IDF Nova - a) TR = 2 anos; b) TR = 5 anos, c) TR = 10 anos e d) TR = 20 anos.

3.3 Resultado da análise dos impactos no dimensionamento hidráulico

A partir dos resultados de intensidades de chuvas de projetos apresentados nas seções 3.1 e 3.2, foram calculadas as vazões específicas para chuvas com período de retorno de 5 anos, geralmente utilizado para projetos de drenagem urbana. A análise seguiu os métodos anteriormente descritos e os cenários foram avaliados para os mesmos coeficientes de escoamento superficial (C) e durações de chuva de (t) de 5 a 60 minutos.

As Tabelas 11 a 15 com os resultados numéricos obtidos para a simulação são apresentados no Apêndice C. A Figura 9 apresenta os valores de vazão específica aplicáveis conforme os valores do coeficiente de escoamento superficial e duração da chuva.

Os resultados obtidos a partir das intensidades de chuvas com incrementos das mudanças climáticas, evidenciam vazões específicas maiores do que as atualmente utilizadas nos projetos de drenagem para Joinville. Tais vazões específicas, que podem chegar a até 150 mm/h em um cenário de aumento da temperatura global de 4°C, indicam significativo aumento considerando o valor de 100 mm/h, para os mesmos parâmetros de projeto.

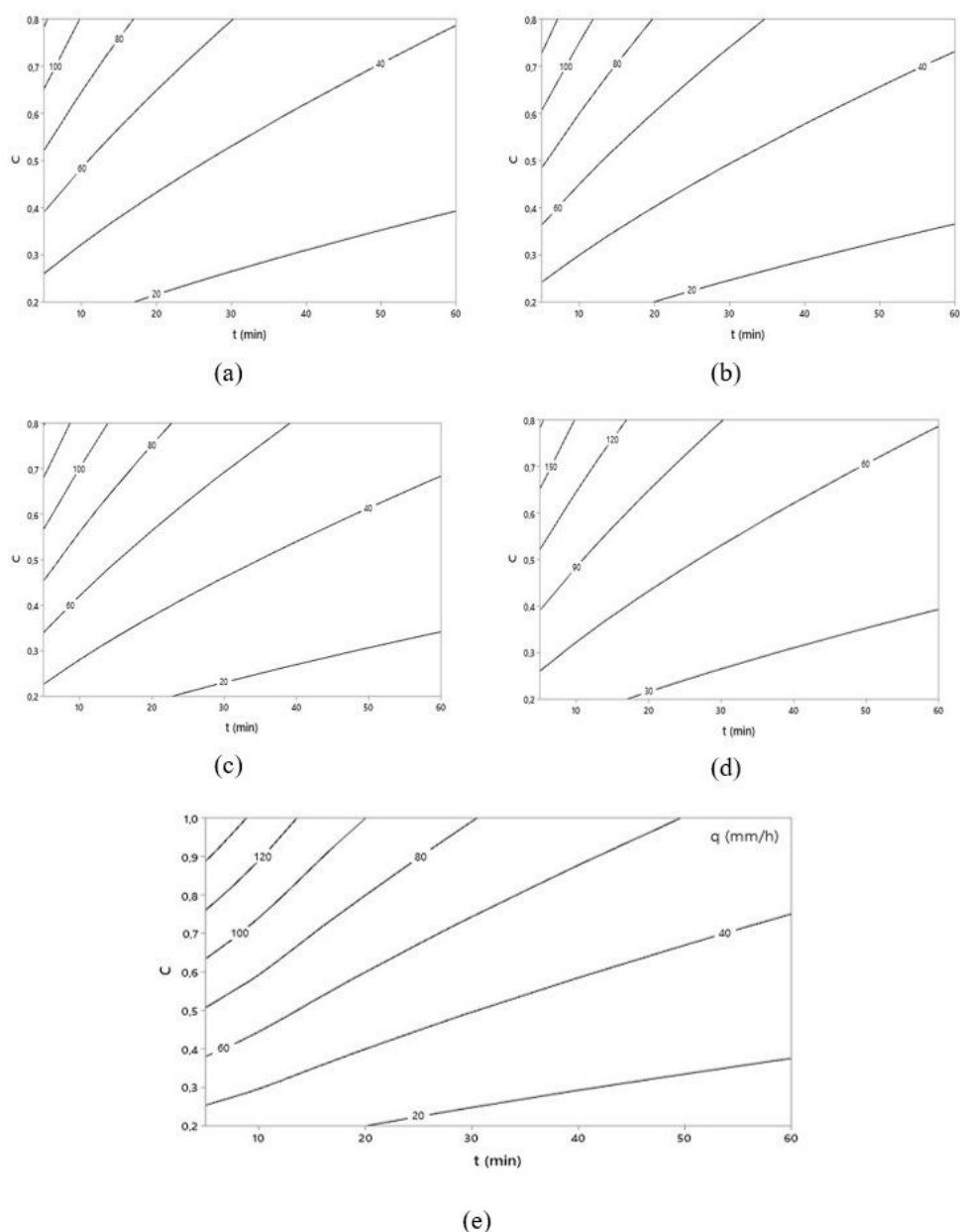


Figura 9: Linhas de contorno para a vazão específica (mm/h) para $T = 5$ anos - a) IDF Atual b) GWL 1,5 °C c) GWL 2 °C e d) GWL 4 °C e) IDF Nova

Cabe destaque a Figura 9e, que apresenta os valores de vazão específica calculados com base nos dados coletados de três estações pluviométricas ainda em operação na zona urbana de Joinville. Os resultados indicam que a intensidade das chuvas atualmente já é superior ao modelo utilizado nos dimensionamentos dos projetos de drenagem. Isso reforça a ideia de que os sistemas de drenagem existentes já estão subdimensionados para as condições climáticas atuais, sem considerar o agravamento destas.

5 CONCLUSÕES

O presente artigo teve como objetivo analisar os possíveis impactos dos efeitos das mudanças climáticas, associados ao regime e à intensidade das chuvas nos projetos do sistema de drenagem urbana de Joinville-SC. Para tal, foi elaborado um breve estudo da arte relacionado a pesquisas que abordam o tema das mudanças climáticas e apresentadas projeções de variação na temperatura e na precipitação em nível global e regional. Foram encontradas limitações na disponibilidade de dados de previsões climáticas futuras para a região de Joinville-SC. Com base nos resultados desse estudo, foi possível realizar uma análise dos efeitos das alterações climáticas nas chuvas para a região norte Catarinense, que aponta o aumento significativo na intensidade das chuvas para os cenários de aquecimento global de 1,5°C, 2°C e 4°C.

Quanto a verificação de tendências no regime de chuvas de Joinville/SC, faz-se necessário a expansão da coleta de dados na cidade, uma vez que pode haver variações significativas do volume de chuva entre diferentes áreas dela. Dada a extrema limitação de dados disponíveis, não foi possível definir o impacto que essa variação tem sobre o estudo. Ainda com base nos dados coletados, foi possível obter os valores de intensidades de chuvas reais, os quais se apresentam maiores, para tempos de retorno superiores a 2 anos, do que os utilizados nos projetos atuais do sistema de drenagem da cidade.

A comparação entre as análises realizadas com os modelos atuais de projeto, revela uma tendência de aumento na intensidade das chuvas, tanto com base nas projeções climáticas, bem como quando comparado com os dados de chuvas reais. Consequentemente, essa intensificação das chuvas impacta a capacidade de escoamento das redes de drenagem, que receberão vazões maiores do que o projetado. O modelo atual subestima a vazão real observada, indicando que o sistema de drenagem existente não está dimensionado para lidar com as chuvas intensas que já estão ocorrendo. Mesmo nos modelos com incrementos de chuva mais conservadores, como os cenários de GWL 1,5°C e GWL 2°C, o aumento da vazão já é substancial, apontando a necessidade de revisão nos parâmetros de projeto.

Com o agravamento das mudanças climáticas, em um cenário onde as novas condições do regime de chuvas demonstram que o sistema de drenagem urbana de Joinville-SC já opera de forma insuficiente às condições atuais, a infraestrutura pode se tornar ineficaz, resultando em alagamentos frequentes. Portanto, é imperativo que sejam revistos os critérios utilizados nos projetos de drenagem local, considerando não apenas os dados históricos, mas também as previsões climáticas para garantir que os sistemas de drenagem sejam adaptados aos desafios futuros.

REFERÊNCIAS

- Back, A. J. (2002). *Chuvas intensas e chuva de projeto de drenagem superficial no estado de Santa Catarina*. Florianópolis: Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural. Recuperado em 15 de setembro de 2024, de <https://www.epagri.sc.gov.br/index.php/solucoes/publicacoes/boletim-tecnico/>
- Castellanos, E. J., Lemos, M. F., Astigarraga, L., Chacón, N., Cui, N., Huggel, C., Miranda, L., Vale, M. M., Ometto, J. P., Peri, P. L., Postigo, J. C., Ramajo, L., Roco, L., Rusticucci, M., Menezes, J. A., Borges, P., Bueno, J., Cuesta, F., Drenkhan, F. (2022). Central and South America. In Intergovernmental Panel on Climate Change (Ed.), *Climate Change 2022: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva: IPCC. <http://doi.org/10.1017/9781009325844.014>
- Confederação Nacional de Municípios – CNM. (2024). *Balanço das chuvas no Rio Grande Sul aponta para R\$ 12,2 bilhões em prejuízos financeiros*. Recuperado em 19 de agosto de 2024, de <https://cnm.org.br/comunicacao/noticias/balanco-das-chuvas-no-rio-grande-sul-aponta-para-r-12-2-bilhoes-em-prejuizos-financeiros>
- Drumond, R. A. S., Almeida, R. P., & Nascimento, N. O. (2023). Mudanças climáticas e Plano Diretor: mitigação de inundações em Belo Horizonte. *Cadernos Metrópole*, 25(58), 899-922. <http://doi.org/10.1590/2236-9996.2023-5806.e>

- Espíndola, I. B., & Ribeiro, W. C. (2020). Cidades e mudanças climáticas: desafios para os planos diretores municipais brasileiros. *Cadernos Metrópole*, 22(48), 365-396. <http://doi.org/10.1590/2236-9996.2020-4802>
- Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC. (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva: IPCC.
- Joinville. Prefeitura Municipal. (2011a). *Drenagem Urbana: Joinville enfrenta o desafio. PDDU: Plano Diretor de Drenagem Urbana da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira*. Recuperado em 14 de agosto de 2024, de https://www.joinville.sc.gov.br/wp-content/uploads/2017/11/PDDU-BHRC_Cartilha-Drenagem-Urbana-Joinville-enfrenta-o-desafio_2011-00-00.pdf
- Joinville. Prefeitura Municipal. Secretaria de Administração. (2011b). *Plano Diretor de Drenagem Urbana da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira: manual de drenagem*. Recuperado em 14 de agosto de 2024, de https://www.joinville.sc.gov.br/wp-content/uploads/2017/11/PDDU-BHRC_R09_Manual-de-Drenagem_2011-01-00.pdf
- Joinville. Prefeitura Municipal. Secretaria de Desenvolvimento Econômico e Inovação. (2024a). *Joinville Cidade em Dados 2024*. Recuperado em 21 de outubro de 2024, de <https://www.joinville.sc.gov.br/wp-content/uploads/2024/07/Joinville-Cidade-em-Dados-2024-%E2%80%93-Ambiente-Construido.pdf>
- Joinville. Secretaria do Meio Ambiente - SAMA. (2024b). Área Urbana Consolidada de Joinville - Volume II: diagnóstico socioambiental. Recuperado em 14 de agosto de 2024, de <https://www.joinville.sc.gov.br/public/portalam/pdfs/jornal/08dd2722eec584b0ab3c9f9259c07bb0.pdf>
- Lee, J.-Y., Marotzke, J., Bala, G., Cao, L., Corti, S., Dunne, J. P., Engelbrecht, F., Fischer, E., Fyfe, J. C., Jones, C., Maycock, A., Mutemi, J., Ndiaye, O., Panickal, S., Zhou, T., Milinski, S., & Yun, K.-S. (2021). Future global climate: scenario-based projections and nearterm information. In Intergovernmental Panel on Climate Change (Ed.), *Climate change 2021: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva: IPCC.
- Marengo, J. A. (2014). O futuro clima do Brasil. *Revista USP*, 103(103), 25-32. <http://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i103p25-32>
- Marengo, J. A., Nobre, C. A., Salati, E., & Ambrizzi, T. (2007). *Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI: sumário técnico*. Brasília: MMA. Recuperado em 9 de setembro de 2024, de http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/prod_probio/Sumario.pdf
- Negri, R., & Fill, H. (2023). Caracterização física de 14 bacias hidrográficas brasileiras: proposição do indicador da declividade média dos rios e do coeficiente de suscetibilidade de enchentes. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 28, e20220194. <http://doi.org/10.1590/s1413-415220220194>
- Negri, R., & Ramos, D. A. (2003). *Verificação da influência do uso de diferentes equações de chuvas em projeto típico de microdrenagem urbana para um bairro da cidade de Joinville-SC*. Recuperado em 17 de setembro de 2024, de <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/154/509.pdf>
- Observatório do Clima. (2024). *IPCC AR6, WG1: resumo comentado*. Recuperado em 6 de setembro de 2024, de https://oc.eco.br/wp-content/uploads/2021/08/OC-IPCC-AR6-FACTSHEET_FINAL.pdf
- Peel, M. C., Finlayson, B. L., & McMahon, T. A. (2007). Updated world map of the Köppen–Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11(5), 1633-1644. <http://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>
- Roaf, S., Crichton, D., & Nicol, F. (2009). *A adaptação de edificações e cidades às mudanças climáticas: um guia de sobrevivência para o século XXI*. Porto Alegre: Bookman.
- Sant Ana, W. O., & Back, Á. J. (2019). Tendência do Aumento de Chuvas e suas Implicações na Estabilidade de Encostas no Sul de Santa Catarina. *Tecnologia e Ambiente*, 25, 95-109. <http://doi.org/10.18616/ta.v25i0.5408>
- Santos, D. J., Pedra, G. U., Silva, M. G. B., Júnior, C. A. G., Alves, L. M., Sampaio, G., & Marengo, J. A. (2020). Mudanças futuras de precipitação e temperatura no Brasil a partir dos níveis de aquecimento global de 1,5°C, 2°C e 4°C. *Sustainability in Debate*, 11(3), 74-90. <http://doi.org/10.18472/SustDeb.v11n3.2020.33933>
- Siduoski, C. R., & Negri, R. (2017). Modelagem de equação de chuvas (I.D.F) para o município de Jaraguá do Sul - SC. In *Anais do XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Florianópolis, SC, Brasil.

- Silva Junior, M. A. B., & Silva, S. R. (2016). Impactos da urbanização e das alterações climáticas no sistema de drenagem do Recife/PE (Impacts of urbanization and climate change in the drainage system of Recife-PE). *Revista Brasileira de Geografia Física*, 9(6), 2034-2053. <http://doi.org/10.26848/rbgf.v9.6.p2034-2053>
- Silva, W. E. G. (2022). *Estudo comparativo das equações de intensidade duração frequência do município de Joinville/SC* (Monografia). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Recuperado em 19 de novembro de 2024, de <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/243195/TCC%20Welber%20Edgar%20Gomes%20da%20Silva%2019-12.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Silveira, A. L. L. (2000). Equação para os coeficientes de desagregação de chuva. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 5, 143-147. [http://doi.org/10.211\(ed68/rbrh.v5n4.p143-147](http://doi.org/10.211(ed68/rbrh.v5n4.p143-147)
- Silveira, W. N., Kobiyama, M., Goerl, R. F., & Brandenburg, B. (2009). *História das inundações em Joinville: 1851-2008*. Curitiba: Organic Trading Editora.
- Steinke Júnior, R. (2017). *Desenvolvimento de equações de chuvas intensas a partir de dados pluviográficos no município de Joinville* (Monografia). Universidade do Estado de Santa Catarina, Florianópolis. Recuperado em 6 de setembro de 2024, de <https://pergamumweb.udesc.br/acervo/166461>
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (2020). *The United Nations World Water Development report 2020: water and climate change*. London: UNESCO. Recuperado em 6 de setembro de 2024, de <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000372985>
- World Weather Attribution. (2024). *Climate change, El Niño and infrastructure failures behind massive floods in southern Brazil*. Recuperado em 19 de agosto de 2024, de <https://www.worldweatherattribution.org/climate-change-made-the-floods-in-southern-brazil-twice-as-likely/>
- Zahed Filho, K., & Marcellini, S. S. (1995). Precipitações máximas. In C. E. M. Tucci, R. L. L. Porto & M. T. Barros (Eds.), *Drenagem urbana* (pp. 37-76). Porto Alegre: Editora da Universidade UFRGS.

Contribuições dos autores:

Heverson Bruno Vitoreti Custódio: tratamento estatístico dos dados de chuva, análise de tendência e redação.

Marianna Luize Alves do Nascimento: elaboração do referencial teórico e avaliação dos modelos de previsão global e aplicadas ao objeto de estudo.

Sofia Körbes: elaboração do referencial teórico e avaliação dos impactos das mudanças climáticas para o objeto de estudo.

Robison Negri: orientação e coordenação geral dos trabalhos, elaboração da análise de tendência, revisão final.

APÊNDICE A – INTENSIDADES DE CHUVAS DE PROJETOS ATUAL E PARA OS CENÁRIOS DE GWL 1,5°C, GWL 2°C E GWL 4°C

Tabela 6: Intensidades de chuvas de projetos Atual

Intensidade da chuva atual (mm/h)							
para t ≤ 120 min		Período de Retorno - T (anos)					
		2	5	10	20	50	100
Duração - t (minutos)	5	124,29	153,30	179,68	210,58	259,75	304,43
	10	100,54	124,01	145,34	170,34	210,11	246,26
	15	85,52	105,49	123,63	144,90	178,73	209,48
	20	75,04	92,55	108,48	127,14	156,82	183,80
	25	67,23	82,93	97,20	113,92	140,51	164,68
	30	61,16	75,44	88,42	103,63	127,83	149,81
	40	52,26	64,46	75,55	88,55	109,22	128,01
	50	45,99	56,73	66,48	77,92	96,11	112,65
	60	41,29	50,93	59,69	69,96	86,30	101,14

Tabela 7: Intensidades de chuvas de projetos para o cenário de GWL 1,5°C

Intensidade da chuva com incremento de 8% - GLW 1,5° C (mm/h)							
		Período de Retorno - T (anos)					
		2	5	10	20	50	100
Duração - t (minutos)	5	133,61	164,80	193,15	226,38	279,23	327,26
	10	108,08	133,31	156,24	183,12	225,87	264,73
	15	91,94	113,40	132,91	155,77	192,14	225,19
	20	80,66	99,50	116,61	136,67	168,58	197,58
	25	72,28	89,15	104,49	122,46	151,05	177,03
	30	65,75	81,10	95,05	111,40	137,41	161,05
	40	56,18	69,30	81,22	95,19	117,41	137,61
	50	49,44	60,98	71,47	83,76	103,32	121,09
	60	44,39	54,75	64,17	75,21	92,77	108,73

Tabela 8: Intensidades de chuvas de projetos para o cenário de GWL 2°C

Intensidade da chuva com incremento de 15% - GLW 2° C (mm/h)							
		Período de Retorno - T (anos)					
		2	5	10	20	50	100
Duração - t (minutos)	5	142,93	176,30	206,63	242,17	298,71	350,10
	10	115,62	142,61	167,14	195,89	241,63	283,19
	15	98,35	121,31	142,18	166,64	205,54	240,90
	20	86,29	106,44	124,75	146,21	180,34	211,36
	25	77,32	95,37	111,78	131,00	161,59	189,39
	30	70,34	86,76	101,68	119,18	147,00	172,29
	40	60,10	74,13	86,88	101,83	125,60	147,21
	50	52,89	65,23	76,46	89,61	110,53	129,54
	60	47,49	58,57	68,65	80,46	99,24	116,31

Tabela 9: Intensidades de chuvas de projetos para o cenário de GWL 4°C

Intensidade da chuva com incremento de 50% - GLW 4° C (mm/h)							
		Período de Retorno - T (anos)					
		2	5	10	20	50	100
Duração - t (minutos)	5	186,43	229,96	269,51	315,88	389,62	456,65
	10	150,80	186,01	218,01	255,51	315,17	369,38
	15	128,28	158,23	185,45	217,35	268,10	314,22
	20	112,55	138,83	162,71	190,70	235,23	275,69
	25	100,85	124,40	145,79	170,87	210,77	247,02
	30	91,74	113,16	132,63	155,45	191,74	224,72
	40	78,39	96,69	113,33	132,82	163,83	192,02
	50	68,98	85,09	99,73	116,88	144,17	168,97
	60	61,94	76,40	89,54	104,94	129,45	151,71

APÊNDICE B – INTENSIDADES DE CHUVAS DE PROJETOS NOVA

Tabela 10: Intensidades de chuvas de projetos Nova

Intensidade da chuva nova (mm/h)							
		Período de Retorno - T (anos)					
		2	5	10	20	50	100
Duração - t (minutos)	5	120,06	157,81	182,81	206,79	237,84	261,10
	10	102,72	135,03	156,42	176,94	203,50	223,40
	15	87,34	114,82	133,00	150,45	173,03	189,96
	20	76,22	100,19	116,06	131,29	150,99	165,76
	25	67,91	89,27	103,42	116,98	134,54	147,70
	30	61,47	80,80	93,60	105,88	121,78	133,69
	40	52,07	68,45	79,30	89,70	103,16	113,25
	50	45,50	59,81	69,28	78,37	90,13	98,94
	60	40,59	53,36	61,82	69,92	80,42	88,28

APÊNDICE C – VAZÕES ESPECÍFICAS ATUAIS, PARA OS CENÁRIOS DE GWL 1,5°C, GWL 2°C E GWL 4°C E NOVA

Tabela 11: Vazão específica IDF atual

Vazão específica atual (m³/s/m²)									
	t (minutos)								
c	5	10	15	20	25	30	40	50	60
0,2	30,66	24,80	21,10	18,51	16,59	15,09	12,89	11,35	10,19
0,3	45,99	37,20	31,65	27,77	24,88	22,63	19,34	17,02	15,28
0,4	61,32	49,60	42,20	37,02	33,17	30,18	25,79	22,69	20,37
0,5	76,65	62,00	52,74	46,28	41,47	37,72	32,23	28,36	25,47
0,6	91,98	74,41	63,29	55,53	49,76	45,27	38,68	34,04	30,56
0,7	107,31	86,81	73,84	64,79	58,05	52,81	45,12	39,71	35,65
0,8	122,64	99,21	84,39	74,04	66,34	60,35	51,57	45,38	40,75

Tabela 12: Vazão específica para o cenário de GWL 1,5°C

Vazão específica GWL 1,5°C (m³/s/m²)									
	t (minutos)								
c	5	10	15	20	25	30	40	50	60
0,2	32,96	26,66	22,68	19,90	17,83	16,22	13,86	12,20	10,95
0,3	49,44	39,99	34,02	29,85	26,74	24,33	20,79	18,29	16,43
0,4	65,92	53,32	45,36	39,80	35,66	32,44	27,72	24,39	21,90
0,5	82,40	66,65	56,70	49,75	44,57	40,55	34,65	30,49	27,38
0,6	98,88	79,99	68,04	59,70	53,49	48,66	41,58	36,59	32,85
0,7	115,36	93,32	79,38	69,65	62,40	56,77	48,51	42,69	38,33
0,8	131,84	106,65	90,72	79,60	71,32	64,88	55,44	48,78	43,80

Tabela 13: Vazão específica para o cenário de GWL 2°C

Vazão específica GWL 2°C (m³/s/m²)									
	t (minutos)								
c	5	10	15	20	25	30	40	50	60
0,2	35,26	28,52	24,26	21,29	19,07	17,35	14,83	13,05	11,71
0,3	52,89	42,78	36,39	31,93	28,61	26,03	22,24	19,57	17,57
0,4	70,52	57,04	48,52	42,58	38,15	34,70	29,65	26,09	23,43
0,5	88,15	71,30	60,66	53,22	47,68	43,38	37,07	32,62	29,29
0,6	105,78	85,57	72,79	63,86	57,22	52,06	44,48	39,14	35,14
0,7	123,41	99,83	84,92	74,51	66,76	60,73	51,89	45,66	41,00
0,8	141,04	114,09	97,05	85,15	76,30	69,41	59,31	52,19	46,86

Tabela 14: Vazão específica para o cenário de GWL 4°C

Vazão específica GWL 4°C (m³/s/m²)									
	t (minutos)								
c	5	10	15	20	25	30	40	50	60
0,2	45,99	37,20	31,65	27,77	24,88	22,63	19,34	17,02	15,28
0,3	68,99	55,80	47,47	41,65	37,32	33,95	29,01	25,53	22,92
0,4	91,98	74,41	63,29	55,53	49,76	45,27	38,68	34,04	30,56
0,5	114,98	93,01	79,12	69,42	62,20	56,58	48,35	42,54	38,20
0,6	137,97	111,61	94,94	83,30	74,64	67,90	58,02	51,05	45,84
0,7	160,97	130,21	110,76	97,18	87,08	79,21	67,69	59,56	53,48
0,8	183,96	148,81	126,59	111,07	99,52	90,53	77,36	68,07	61,12

Tabela 15: Vazão específica IDF Nova

Vazão específica nova (m³/s/m²)									
	t (minutos)								
c	5	10	15	20	25	30	40	50	60
0,2	31,56	27,01	22,96	20,04	17,85	16,16	13,69	11,96	10,67
0,3	47,34	40,51	34,44	30,06	26,78	24,24	20,54	17,94	16,01
0,4	63,13	54,01	45,93	40,08	35,71	32,32	27,38	23,92	21,34
0,5	78,91	67,51	57,41	50,10	44,64	40,40	34,23	29,90	26,68
0,6	94,69	81,02	68,89	60,11	53,56	48,48	41,07	35,88	32,02
0,7	110,47	94,52	80,37	70,13	62,49	56,56	47,92	41,86	37,35
0,8	126,25	108,02	91,85	80,15	71,42	64,64	54,76	47,84	42,69