

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

INFRAESTRUTURAS VERDES COMO ESTRATÉGIA DE MITIGAÇÃO DE RISCOS HIDROLÓGICOS URBANOS: PROPOSTA DE REDE MODULAR DE MICRORRESERVATÓRIOS EM RECIFE-PE

*Mirella Marinho de Souza Pinto¹; Gabriele Joana de Souza Feliciano da Silva²; Micaella Raíssa
Falcão de Moura³*

Abstract: Recurrent flooding in Recife poses significant challenges to urban management, particularly in socioeconomically vulnerable areas. These events are exacerbated by disorganized urban growth, soil sealing, and insufficient public drainage policies, leading to substantial social, environmental, and economic impacts. This article aims to assess these effects and present an innovative solution: Urban EcoReserves. The research combines literature review, vulnerability analysis, and identification of flood-prone zones to support the proposed intervention. Urban EcoReserves are modular micro-reservoir systems connected to green infrastructure elements and IoT-based hydrological sensors. This decentralized and intelligent network also integrates community participation through digital tools. The findings highlight the potential of nature-based solutions combined with low-cost technologies to reduce flood risks and foster sustainable urban development. The implementation of Urban EcoReserves may serve as a replicable model to improve resilience and promote social inclusion in Brazilian cities.

Resumo: As inundações recorrentes no Recife-PE representam um dos principais desafios para a gestão urbana e a segurança das populações mais vulneráveis. Estas enchentes, agravadas por fatores como a urbanização desordenada, a impermeabilização do solo e a ausência de políticas públicas efetivas de drenagem, acarretam impactos severos à infraestrutura urbana, ao meio ambiente e à qualidade de vida dos cidadãos. Este artigo tem como objetivo avaliar esses impactos e propor uma solução inovadora: as EcoReservas Urbanas. A pesquisa combina revisão bibliográfica, análise de vulnerabilidade e identificação de áreas críticas, com o intuito de embasar uma proposta prática e escalável. A solução é baseada em microrreservatórios modulares conectados a elementos de infraestrutura verde e sensores de monitoramento hídrico, integrando a comunidade por meio de tecnologias digitais. Com isso, busca-se não apenas mitigar os impactos das inundações, mas também fomentar a educação ambiental e a participação social. Conclui-se que a adoção de sistemas como as EcoReservas Urbanas pode aumentar significativamente a resiliência das cidades frente aos eventos hidrológicos extremos, promovendo uma urbanização mais sustentável e inclusiva.

Palavras-Chave: drenagem sustentável; urbanização; Internet das Coisas.

¹) Graduanda em Engenharia Civil - Universidade de Pernambuco (POLI-UPE), R. Benfica, 455 - Madalena, Recife - PE, 50720-001, mmsp@poli.br.

²) Graduanda em Engenharia Civil - Universidade de Pernambuco (POLI-UPE), R. Benfica, 455 - Madalena, Recife - PE, 50720-001, gjsfs@poli.br.

³) Professora Doutora - Universidade de Pernambuco (POLI-UPE), R. Benfica, 455 - Madalena, Recife - PE, 50720-001, micaella.raissa@upe.br.

1. INTRODUÇÃO

As inundações urbanas são um dos principais desafios das cidades contemporâneas, resultando em perdas humanas, danos materiais e impactos socioeconômicos severos. Segundo Tucci (2008), o crescimento desordenado das cidades, aliado à impermeabilização do solo e à insuficiência dos sistemas de drenagem, intensifica a frequência e a gravidade desses eventos. Na Região Metropolitana do Recife (RMR), capital do estado de Pernambuco, Nordeste-Brasil, essa problemática é agravada por características geográficas específicas, como a baixa altitude em relação ao nível do mar e a ocupação desordenada de áreas vulneráveis (Silva et al., 2019; Barbosa; Moura, 2024).

A literatura destaca que a abordagem tradicional de infraestrutura cinza, baseada exclusivamente na construção de canais e galerias pluviais, muitas vezes se mostra insuficiente para lidar com eventos extremos (Miguez & Veról, 2017). Assim, é essencial buscar alternativas que conciliam o desenvolvimento urbano com a preservação ambiental. Nesse contexto, as Soluções Baseadas na Natureza (SbN) surgem como uma abordagem inovadora e sustentável, utilizando elementos naturais como *wetlands* construídas, telhados verdes e jardins de chuva para absorver e regular o escoamento pluvial (Benedict & McMahon, 2006; Santos; Ferreira, Moura, 2024).

Considerando o exposto, este estudo busca analisar os impactos das inundações recorrentes na Região Metropolitana do Recife, identificando as principais causas e avaliando estratégias inovadoras, com ênfase em Soluções Baseadas na Natureza (SbN) para a gestão de riscos hidrológicos em áreas urbanas. A pesquisa se justifica pela necessidade de avaliar os eventos de inundação recorrentes no Recife e propor estratégias mais eficazes e sustentáveis para a gestão de riscos hidrológicos. Além de contribuir para a mitigação dos impactos das enchentes, a adoção de infraestrutura verde pode proporcionar benefícios adicionais, como a melhoria da qualidade da água, a redução das ilhas de calor urbano e a ampliação das áreas verdes da cidade (Abhot et al., 2021). Dessa forma, os resultados deste trabalho podem subsidiar políticas públicas e práticas de urbanização mais resilientes, promovendo cidades mais seguras e adaptadas às mudanças climáticas.

2. METODOLOGIA

O presente trabalho, caracteriza-se como um estudo de caso, cujo objeto de estudo foi a cidade do Recife-PE, possuindo como objetivo analisar os impactos das inundações na cidade, por meio da identificação das principais causas e avaliação de estratégias inovadoras, com ênfase em Soluções Baseadas na Natureza (SBN). No qual, segundo Alves (2023), prioriza-se a análise detalhada e minuciosa de um único caso ou de um número restrito de casos, cuja abordagem é particularmente adequada para investigações de caráter exploratório.

Constituindo-se assim, como uma pesquisa de abordagem qualitativa e quantitativa, de natureza aplicada e com objetivo exploratório.

A pesquisa seguiu uma abordagem metodológica estruturada em quatro etapas principais:

1. **Revisão Bibliográfica:** Inicialmente, foi realizada uma análise exploratória da literatura científica e técnica nacional e internacional sobre gestão de risco hidrológico, inundações urbanas e soluções baseadas na natureza.
2. **Caracterização da Área de Estudo:** A segunda etapa consistiu na identificação e análise das áreas mais afetadas por inundações na Região Metropolitana do Recife, com

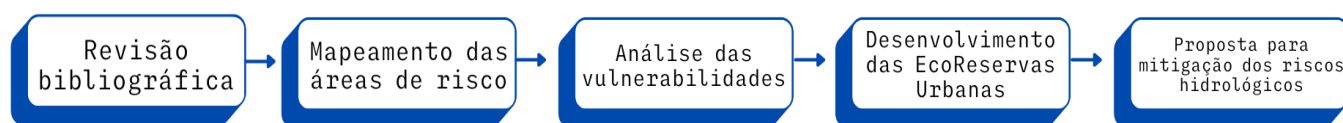
base em relatórios da Defesa Civil, dados pluviométricos, imagens de satélite e informações de vulnerabilidade social.

3. Desenvolvimento da Solução Inovadora: A terceira fase focou na concepção das EcoReservas Urbanas, considerando viabilidade técnica, ambiental e social, bem como o dimensionamento preliminar dos sistemas e os componentes tecnológicos.

4. Proposição de Áreas Piloto e Estratégia de Implantação: Por fim, foram sugeridas áreas prioritárias para implementação da proposta e desenvolvida uma estratégia de integração comunitária e avaliação de impacto.

Os procedimentos metodológicos foram organizados conforme fluxograma a seguir (Figura 1):

Figura 1 – Fluxograma metodológico



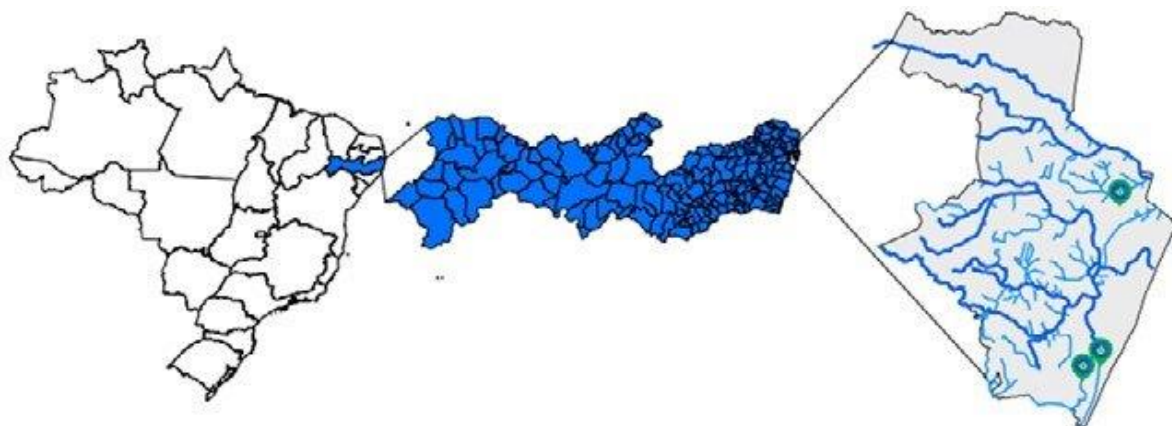
Fonte: Autores (2025).

Essa metodologia permite a replicação do estudo em outras áreas urbanas brasileiras com contextos semelhantes.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Recife, capital de Pernambuco, está situada na costa Nordeste do Brasil, entre as coordenadas 8°03' S e 34°52' O (IBGE, 2022). Com área de 218 km², possui uma população de aproximadamente 1,48 milhão de habitantes (IBGE, 2022). A cidade é marcada por extensa planície costeira, rios e canais, como Capibaribe, Beberibe e Tejió, que, somados à elevada impermeabilização do solo e ocupação desordenada, intensificam sua vulnerabilidade a inundações (MIGUEZ & VERÓL, 2017; SILVA, 2023).

Figura 2: Mapa de Recife-PE



Fonte: Santos et al. (2024, p.190)

3.1 Panorama e principais causas das inundações urbanas em Recife-PE

Recife, conhecida como a "Veneza Brasileira" devido à sua rede de rios e pontes, ironicamente, enfrenta um grave problema de inundações urbanas. A cidade, situada em uma planície costeira e com grande parte de sua área abaixo do nível do mar, é extremamente vulnerável a eventos climáticos extremos e à elevação do nível do mar.

A baixa altitude, a extensa rede hidrográfica e as fortes chuvas que frequentemente atingem a região tornam o Recife suscetível a alagamentos. A maré alta agrava a situação, dificultando o escoamento das águas pluviais. Eventos recentes, como as fortes chuvas de maio de 2022 (Figura 3), que deixaram mais de 130 mortos e desalojados na região metropolitana, demonstram a gravidade do problema. E em abril de 2024, a cidade entrou em estado de alerta com pelo menos 14 pontos de alagamento, como pode ser visto na Figura 4.

Figura 3 – Enchente em Recife-PE



Fonte: Jornal da Unesp (2022)

Figura 4 – Pontos de alagamento em Recife-PE



Fonte: AGORAPE (2024)

4. DESENVOLVIMENTO DA SOLUÇÃO INOVADORA

4.1 Potencial das Soluções Baseadas na Natureza (SBN) e EcoReservas na redução de risco de inundações

As Soluções Baseadas na Natureza (SBN), consistem em estratégias inovadoras que fazem o uso de processos e ecossistemas naturais para enfrentar desafios urbanos. E tem sido progressivamente reconhecida como alternativas eficazes para a mitigação de inundações, especialmente no contexto de urbanização acelerada e mudanças climáticas (Rodrigues et al., 2023; Juliastuti et al., 2024).

Partindo desse pressuposto, a proposta EcoReservas Urbanas consiste na implantação de uma rede modular de microrreservatórios multifuncionais integrados a elementos de infraestrutura verde, como jardins de chuva, pavimentos permeáveis e mini wetlands. Esses sistemas seriam instalados em áreas urbanas subutilizadas e conectados por sensores de nível d'água e fluxo, utilizando tecnologias de Internet das Coisas (IoT) para coleta e transmissão de dados em tempo real.

Acerca de seus componentes e funcionamento, cada módulo da EcoReserva incluiria:

- Reservatórios modulares (ex: tambores IBC adaptados ou estruturas pré-moldadas);

- Jardins de chuva com espécies vegetais nativas filtrantes;
- Wetlands urbanos para retenção e purificação da água pluvial;
- Pavimentos permeáveis no entorno para ampliação da área de infiltração;
- Sensores de baixo custo conectados via rede LoRa ou Wi-Fi, transmitindo dados para uma plataforma digital;
- Aplicativo comunitário para alertas, dados e ações educativas.

Esses módulos teriam funcionamento descentralizado, mas com dados centralizados para fins de monitoramento hidrológico, gestão de risco e tomada de decisão.

Figura 4 e 5: Modelagem do Protótipo de uma EcoReserva Urbana



Fonte: Autores (2025)

4.2 Justificativa e Diferencial Inovador

A EcoReservas Urbanas se destaca por aliar soluções baseadas na natureza com tecnologias digitais e ação comunitária. Em um contexto urbano como o da RMR, onde a infraestrutura convencional de drenagem é insuficiente, essa abordagem oferece:

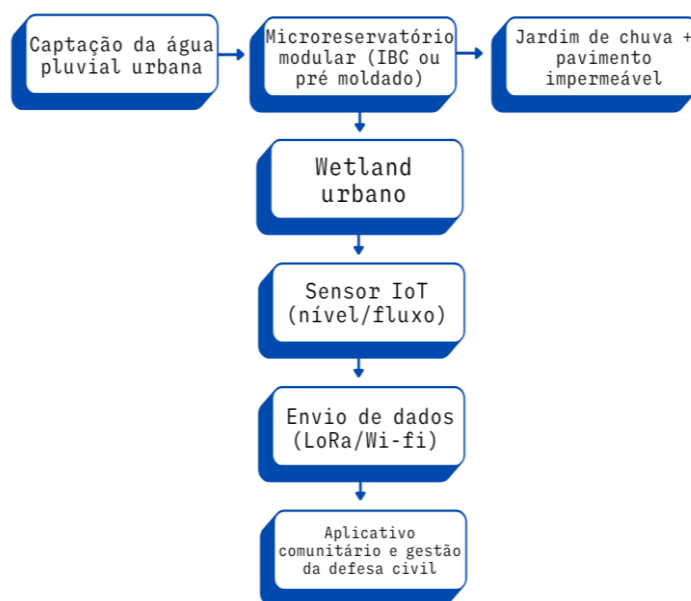
- Redução do volume de escoamento superficial;
- Mitigação de pontos críticos de alagamento;
- Capacitação da população local para monitoramento e manutenção;
- Custo reduzido e replicabilidade em larga escala.

Inspirada em práticas internacionais como as *Sponge Cities* chinesas e os *Smart Stormwater Systems* de cidades como Portland (EUA), essa proposta adapta os conceitos à realidade socioeconômica e climática brasileira.

4.3 Viabilidade Técnica e Socioambiental

A construção e manutenção podem ser realizadas com materiais reciclados (ex: tanques IBC, manilhas reaproveitadas) e mão de obra local capacitada. A manutenção descentralizada e a coleta de dados em tempo real permitem respostas mais rápidas a eventos extremos. A integração com escolas, associações de bairro e órgãos públicos fortalece o engajamento social e a sustentabilidade do sistema (Figura 6):

Figura 6 – Esquemática do funcionamento do protótipo



Fonte: Autores (2025).

4.4 Estimativa Simplificada de Custos e Benefícios Ambientais

A estimativa de custos e benefícios da proposta EcoReservas Urbanas considera a instalação de um módulo piloto completo (reservatório, jardim de chuva, sensor e conectividade) com área de captação de até 200 m². Os valores são aproximados com base em materiais acessíveis e mão de obra local, como pode ser visto no Quadro 1.

Quadro 1 – Custos estimados por módulo

CUSTOS ESTIMADOS POR MÓDULO	
Material	Custo
Tambores IBC reutilizados ou estruturas pré-moldadas	R\$ 400,00
Materiais para jardim de chuva (solo, plantas, geotêxtil)	R\$ 400,00
Pavimento permeável simples (cimento poroso ou blocos intertravados)	R\$ 1.200,00
Sensores IoT (nível/fluxo + conectividade)	R\$ 500,00
Instalação e mão de obra	R\$ 800,00
Total estimado por módulo:	R\$ 3.500,00

Fonte: Autores (2025)

Benefícios ambientais esperados:

- Redução de até 80% no escoamento superficial local durante eventos de chuva intensa;
- Melhoria da qualidade da água infiltrada no solo (filtragem natural por plantas e solos);
- Redução da temperatura local (efeito de ilha de calor) pela vegetação associada;
- Dados de monitoramento disponíveis em tempo real para resposta a emergências.

Observação: Com apoio comunitário, ONGs e programas de extensão universitária, o custo por módulo pode ser reduzido em até 40%.

5. SUGESTÃO DE ÁREAS PILOTO NA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE

Para validar a proposta de forma localizada, foram selecionados bairros com histórico de alagamentos recorrentes, baixa permeabilidade do solo e potencial para ações participativas, os quais foram descritos na Tabela 1:

Tabela 1 – Sugestão de Áreas Piloto na Região Metropolitana do Recife

Local	Justificativa para Implantação Piloto
Mustardinha (Recife)	Alta densidade urbana, infraestrutura precária de drenagem, escolas e praças públicas disponíveis.
Jardim Monte Verde (divisa Jaboatão/Recife)	Região limítrofe afetada por deslizamentos e enxurradas; forte mobilização comunitária.
Ibura (Recife)	Presença de áreas alagáveis e córregos urbanos com potencial de requalificação ecológica.
Comporta (Camaragibe)	Periferia com deficiência de drenagem urbana e presença de terrenos baldios que podem ser convertidos.

Fonte: Autores (2025)

Esses territórios permitem testar não apenas a eficiência técnica da proposta, mas também sua aceitação social, viabilidade de manutenção comunitária e replicabilidade regional.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objetivo avaliar os impactos das inundações recorrentes em áreas urbanas do Recife, propondo soluções baseadas na natureza para mitigação dos riscos hidrológicos. Através de uma abordagem metodológica estruturada, que incluiu revisão bibliográfica, mapeamento de áreas de risco, análise de vulnerabilidades e desenvolvimento do conceito de EcoReservas Urbanas, foi possível identificar estratégias inovadoras para enfrentar os desafios relacionados às inundações na região.

Os resultados obtidos indicam que as EcoReservas Urbanas, compostas por microrreservatórios modulares integrados a elementos de infraestrutura verde e tecnologias de monitoramento, apresentam potencial significativo para reduzir os impactos das inundações. A proposta demonstra viabilidade técnica e socioambiental, especialmente quando aplicada em áreas urbanas subutilizadas e com alta vulnerabilidade socioambiental.

Entretanto, é importante reconhecer as limitações deste estudo, como a ausência de testes práticos em campo e a necessidade de validação empírica das soluções propostas. Sugere-se que pesquisas futuras incluam estudos de caso e implementação piloto das EcoReservas Urbanas, a fim de avaliar sua eficácia e adaptabilidade em diferentes contextos urbanos.

Em síntese, este trabalho contribui para o avanço do conhecimento na área de gestão de riscos hidrológicos urbanos, oferecendo uma abordagem integrada que alia soluções baseadas na natureza, tecnologia e participação comunitária. Espera-se que as propostas aqui apresentadas sirvam de base para políticas públicas e iniciativas que visem à construção de cidades mais resilientes e sustentáveis.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me concedido saúde, sabedoria e força ao longo dessa caminhada. À minha professora orientadora, Micaella, pelo apoio, incentivo e orientações fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho, deixando uma marca importante na minha formação acadêmica. Aos meus colegas de turma, pela troca de conhecimentos, pela parceria nos desafios e por todos os momentos compartilhados durante essa trajetória. E, com todo o meu carinho, à minha mãe, Janaina, pelo amor incondicional, pelas palavras de encorajamento e por estar sempre ao meu lado nos momentos mais difíceis. Sem ela, nada disso seria possível.

REFERÊNCIAS

- ABHOT, A. et al. Nature-based solutions for urban flood risk management: a systematic review. *Journal of Environmental Management*, v. 293, p. 112792, 2021.
- ALVES, Metodologia BDP. **Explorando a Política Educacional em um Mundo Globalizado**, p. 59–78, 1 jan. 2023.
- BARBOSA, Laio Alves Vieira; MOURA, Micaella Raissa Falcão de. Eventos extremos, mudanças climáticas e medidas de adaptação: uma abordagem da cidade do recife-pe. *Abrrhidro*, [s.l], set. 2024.
- BENEDICT, M. A.; MCMAHON, E. T. *Green infrastructure: linking landscapes and communities*. Washington: Island Press, 2006.
- CHUVA intensa: Recife com 110mm e alagamentos. 2024. Disponível em: <https://agorape.blog.br/2024/04/29/chuva-intensa-recife-com-110mm-e-alagamentos/>. Acesso em: 18 jun. 2025.

ESPECIALISTA em gestão de recursos hídricos da Unesp analisa catástrofe causada por temporal no Recife que já deixou cem mortos. 2022. Disponível em: <https://jornal.unesp.br/2022/06/01/especialista-em-gestao-de-recursos-hidricos-da-unesp-analisa-catastrofe-causada-por-temporal-no-recife-que-ja-deixaram-cem-mortos/>. Acesso em: 18 jun. 2025.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados**: Recife - PE. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br>. Acesso em: 18 jun. 2025.

JULIASTUTI, YW et al. Nature-Based Solutions for Flood Mitigation in Metropolitan Areas. **Engineering, Technology & Applied Science Research**, Greece, v. 14, n. 6, p. 18896–18901, 2024. DOI: 10.48084/etasr.9070. Disponível em: <https://www.etasr.com/index.php/ETASR/article/view/9070>. Acesso em: 7 jun. 2025.

MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P. Gestão sustentável de águas urbanas: desafios e perspectivas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 22, n. 1, p. 1-10, 2017.

RODRIGUES, Maria Santiellas Costa et al. The use of Nature-Based Solutions in the fight against Urban Floods: trends, actors and solutions adopted. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, [S. l.], v. 19, n. 3, 2023. DOI: [10.17271/1980082719320233764](https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/forum_ambiental/article/view/3764). Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/forum_ambiental/article/view/3764. Acesso em: 7 jun. 2025.

SANTOS, Ana Clara P dos; FERREIRA, Fabiana dos Santos; MOURA, Micaella Raíssa Falcão de. Avaliação da implementação de SBN para a revitalização de trecho do canal do Jordão em Recife_PE. **Abrhidro**, [s.l.], set. 2024.

SANTOS, Cíntia Rafaela Lima dos et al. UTILIZAÇÃO DE DISPOSITIVOS MÓVEIS NOS SISTEMAS DE MACRODRENAGEM DA CIDADE DO RECIFE-PE. **Mix Sustentável**, [S.L.], v. 10, n. 1, p. 187-197, 8 fev. 2024. Mix Sustentável. <http://dx.doi.org/10.29183/2447-3073.mix2024.v10.n1.187-197>.

SILVA, J. A. S. **Uso de geotecnologias para gestão de desastres naturais hidrológicos: estudo de caso do bairro Coelhos, Recife-Pernambuco**. 2023. 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/53316>. Acesso em: 20 abr. 2025.

SILVA, M. J.; FERREIRA, P. R.; ALBUQUERQUE, L. M. Inundações urbanas e vulnerabilidade socioambiental no Recife: desafios da gestão integrada de riscos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 4, p. 1012-1027, 2019.

TUCCI, C. E. M. **Inundações urbanas**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2008.