LVI SBPO SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL
DE 04 ATÉ 07 NOVEMBRO 2024
FORTALEZA | CEARÁ

MONITORAMENTO DE ALAGAMENTOS EM CIDADES INTELIGENTES: FERRAMENTA OPERACIONAL PARA COLETA DE DADOS E IMAGENS INTEGRANDO CÂMERAS, WAZE E PLUVIÔMETROS NO RIO DE JANEIRO

Otávio H. Flaeschen Oliveira, Luis Resende Silva
Instituto de Computação - Universidade Federal Fluminense
Niterói, Rio de Janeiro, Brasil
otavioflaeschen@id.uff.br, luisresende@id.uff.br

Luiz Satoru Ochi
Instituto de Computação - Universidade Federal Fluminense
Niterói, Rio de Janeiro, Brasil
satoru@ic.uff.br

RESUMO

O artigo explora a integração de câmeras de vigilância, dados do Waze e medições de pluviômetros para monitoramento de alagamentos no Rio de Janeiro. Destaca a inovação na automação da coleta de dados através de gatilhos inteligentes, permitindo a captura eficiente de imagens e informações em tempo real durante eventos de alagamento. A metodologia abrange áreas críticas e utiliza parâmetros operacionais para otimizar a coleta. Os resultados mostram um sistema robusto que capturou mais de 62.000 vídeos e 591.919 imagens em 2023, contribuindo para um banco de dados valioso para análises futuras e estratégias de mitigação. O artigo enfatiza a importância da integração de diversas fontes de dados e a automação na gestão de riscos climatológicos em áreas urbanas.

PALAVRAS CHAVE. Monitoramento de Alagamentos, Automação de dados, Cidades inteligentes.

Tópicos - Monitoramento de Alagamentos - Integração de Sensores e Coleta de Dados

ABSTRACT

The article explores the integration of surveillance cameras, Waze data, and rain gauge measurements for monitoring floods in Rio de Janeiro. It highlights the innovation in automating data collection through intelligent triggers, enabling efficient capture of real-time images and information during flooding events. The methodology covers critical areas and uses operational parameters to optimize collection. Results show a robust system that captured over 62,000 videos and 591,919 images in 2023, contributing to a valuable database for future analysis and mitigation strategies. The article emphasizes the importance of integrating various data sources and automation in managing climatological risks in urban areas.

KEYWORDS. Flood monitoring, data automation, smart cities.

Paper topics - Flood Monitoring - Sensor Integration and Data Collection

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193448
https://proceedings.science/p/193448?lang=pt-br

1. Introdução

As chuvas intensas e alagamentos representam um desafio significativo para as áreas urbanas, causando impactos adversos na infraestrutura, mobilidade e segurança dos cidadãos. Em cidades como o Rio de Janeiro, a combinação de urbanização acelerada, mudanças climáticas e características geográficas específicas, como a presença de morros e encostas, aumenta a vulnerabilidade a eventos de alagamentos [Maia & Sedrez et al., 2012]. Essas condições resultam em frequentes interrupções no transporte, danos à propriedade, riscos à saúde pública e, em casos extremos, perda de vidas. Diante desse cenário, a necessidade de soluções inovadoras e eficientes para monitoramento e mitigação dos alagamentos torna-se cada vez mais premente.

A cidade do Rio de Janeiro, em particular, enfrenta esses problemas de forma recorrente, demandando soluções inovadoras e eficientes para o monitoramento e mitigação dos alagamentos. No artigo anterior, "Desenvolvimento de uma Ferramenta de Monitoramento de Alagamentos para Cidades Inteligentes: O Caso do Rio de Janeiro" [Oliveira & Silva et al., 2023], descrevemos o desenvolvimento de uma ferramenta de monitoramento de alagamentos utilizando ciência de dados, que mostrou resultados promissores.

O desenvolvimento de cidades inteligentes requer a integração de tecnologias avançadas que ajudem na gestão de riscos urbanos, como alagamentos, de forma eficiente e sustentável [Silva, Khan & Han, 2018]. Este trabalho dá um passo adiante ao descrever a integração entre câmeras de vigilância (CCTV), dados do Waze e pluviômetros, para criar uma ferramenta operacional que utiliza gatilhos inteligentes para coletar dados e imagens de alagamento de forma automatizada na cidade do Rio de Janeiro. O objetivo deste artigo é demonstrar como a automação na coleta de dados permitiu capturar eventos de alagamento em diferentes regiões e momentos, contribuindo para a criação de um banco de imagens robusto não apenas para o Rio de Janeiro, mas também de outras cidades ao redor do mundo.

O artigo está estruturado da seguinte forma: na Seção 2, é apresentada uma revisão da literatura e a fundamentação do trabalho anterior. A Seção 3 discute a metodologia de automação da coleta de dados. A Seção 4 detalha a integração das diferentes fontes de dados utilizados. A seção 5 demonstra o processo de automação na coleta de dados. Na Seção 6, são apresentados os resultados da ferramenta implementada. Por fim, na Seção 7, discutimos as implicações e possíveis aplicações futuras da metodologia e considerações finais.

1.1 Objetivos

Este artigo tem como objetivo apresentar o desenvolvimento e a implementação de uma ferramenta operacional para monitoramento de alagamentos no Rio de Janeiro, integrando câmeras de vigilância, dados do Waze e medições de pluviômetros em tempo real. A ferramenta automatiza a coleta de dados, utilizando gatilhos inteligentes para ativação de câmeras, e cria um banco de imagens robusto para análises futuras. Além de apresentar os resultados obtidos durante o Plano Verão 24, o artigo explora as implicações dessas descobertas para a gestão de riscos climatológicos e como a metodologia pode ser adaptada para outras cidades.

2. Revisão da Literatura

No artigo anterior, "Desenvolvimento de uma Ferramenta de Monitoramento de Alagamentos para Cidades Inteligentes: O Caso do Rio de Janeiro" [Oliveira & Silva, 2023], foi descrito o desenvolvimento de uma ferramenta baseada em ciência de dados para o

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193448
https://proceedings.science/p/193448?lang=pt-br

monitoramento de alagamentos na cidade do Rio de Janeiro. Essa ferramenta utilizou entrevistas com especialistas, análises estatísticas e geoprocessamento para monitorar eventos em tempo real, integrando dados de sensores e câmeras no sistema do Centro de Operações do Rio. O trabalho inicial estabeleceu uma base sólida para inovações futuras, como a automação na coleta de dados e a inclusão de novas fontes, temas centrais no presente estudo.

O trabalho de Maia & Sedrez (2012) traz uma perspectiva histórica sobre o impacto das enchentes na cidade do Rio de Janeiro, ressaltando a recorrência desses eventos e os desafios contínuos enfrentados pela cidade na sua mitigação. O estudo sobre a Grande Enchente de 1966 oferece um pano de fundo valioso para contextualizar os esforços modernos de monitoramento e prevenção, mostrando como a cidade evoluiu, mas ainda enfrenta os mesmos riscos climáticos.

A revisão da literatura sobre monitoramento de alagamentos em áreas urbanas revela uma tendência crescente no uso de tecnologias de cidades inteligentes para mitigar os impactos das mudanças climáticas e a urbanização acelerada. Silva, Khan & Han (2018) destacam a importância da integração de diferentes componentes tecnológicos, como sensores e big data, para a criação de cidades inteligentes sustentáveis. Eles enfatizam a necessidade de arquiteturas robustas que possam lidar com a coleta e análise de grandes volumes de dados para melhorar a gestão de riscos urbanos, incluindo alagamentos.

A relevância do engajamento cidadão na gestão de crises urbanas, como alagamentos, também é discutida por Khan & Ludlow (2018). Eles demonstram como dados fornecidos por usuários podem melhorar a resposta a desastres em cidades inteligentes. Em consonância com essa perspectiva, nosso trabalho se beneficia dos dados gerados pelos usuários do Waze para identificar áreas com acúmulo de água, o que melhora a capacidade do sistema de prever e responder a eventos de alagamento em tempo real.

Diversos sistemas de monitoramento de alagamentos foram propostos nos últimos anos, como o uso de IoT e aprendizado profundo para a detecção de enchentes urbanas [Li et al., 2020] e a integração de dados de sensoriamento remoto com modelagem hidrológica para avaliação de riscos em áreas urbanas [Sayl & Jasim, 2020]. Além dessas abordagens tecnológicas, de Brito & Evers (2016) revisam a utilização de técnicas de decisão multicritério para a gestão de riscos de alagamento. Eles destacam a necessidade de integrar diversas fontes de informação para suportar a tomada de decisões em cenários de inundações. Inspirados por essa abordagem, incorporamos técnicas multicritério no sistema, combinando informações de pluviômetros, câmeras de vigilância e dados colaborativos, a fim de garantir que as decisões sobre mitigação de alagamentos sejam informadas por uma análise abrangente e multidimensional.

Nosso trabalho se posiciona como um avanço em relação a essas abordagens, ao integrar diversas tecnologias e fontes de dados de maneira automatizada, criando um sistema robusto que permite não apenas a detecção em tempo real de alagamentos, mas também a criação de um banco de dados que pode ser utilizado para análises preditivas e desenvolvimento de estratégias de mitigação a longo prazo.

3. Metodologia

O sistema utiliza três fontes principais de dados: câmeras de vigilância (CCTV), o aplicativo Waze e pluviômetros instalados em toda a cidade. A automação na coleta de dados é

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193448
https://proceedings.science/p/193448?lang=pt-br

realizada através de gatilhos inteligentes que ativam as câmeras e iniciam a captura de imagens quando certos parâmetros operacionais são atendidos.

3.1 Gatilhos Inteligentes

Cada gatilho inteligente opera com base em parâmetros operacionais que otimizam a coleta de dados. Esses parâmetros incluem o intervalo de tempo entre as ativações das câmeras, o raio de detecção e o número máximo de câmeras acionadas simultaneamente. Isso garante que o sistema opere de forma eficiente, evitando sobrecarga e maximizando a qualidade dos dados coletados. O sistema utiliza três tipos de gatilhos principais:

- **Alertas do Waze**: Quando detectados alertas de acúmulo de água reportados pelos usuários, as câmeras próximas são ativadas automaticamente.
- **Áreas Críticas**: Em áreas historicamente vulneráveis a alagamentos, as câmeras são acionadas automaticamente durante eventos de chuva intensa.
- **Sistema Comando**: Eventos confirmados de alagamento registrados no sistema do Centro de Operações da cidade disparam a ativação de câmeras na área afetada.

3.2 Técnicas de Mineração de Dados e Algoritmos Utilizados

Para a integração das diversas fontes de dados (câmeras CCTV, Waze e pluviômetros), foram utilizados algoritmos de mineração de dados que aplicam análise de clusters espaciais para identificar áreas propensas a alagamentos. Técnicas de decisão multicritério também foram consideradas na avaliação dos riscos, conforme sugerido por de Brito & Evers (2016), para garantir que as decisões sejam baseadas em uma análise abrangente de todas as variáveis.

Além disso, para o processamento das imagens coletadas pelas câmeras, técnicas de visão computacional foram implementadas. Os dados visuais são analisados com algoritmos de reconhecimento de padrões, utilizando redes neurais convolucionais (CNNs), permitindo a classificação automática dos eventos em diferentes categorias, como lâmina d'água, bolsão em via e alagamento. As redes neurais convolucionais foram escolhidas por sua capacidade superior de detecção de padrões visuais em imagens de baixa resolução, característica essencial para identificar alagamentos de forma precisa com as câmeras CCTV.

3.3 Motivação para a Nova Abordagem Automatizada

A nova ferramenta utiliza gatilhos inteligentes para ativar câmeras e coletar dados automaticamente, reduzindo a dependência de processos manuais e melhorando a eficiência do monitoramento. A integração de câmeras de vigilância (CCTV), dados do Waze e pluviômetros, junto com a automação, visa coletar dados mais ricos e em tempo real, proporcionando uma base mais sólida para futuras análises.

4. Integração das Diferentes Fontes de Dados

Nesta seção, descreveremos em detalhes as quatro fontes de dados e forneceremos informações sobre cada uma delas de forma individual, abordando como foram integradas para formar a base do sistema de monitoramento de alagamentos em cidades inteligentes.

Importante mencionar que todos os dados coletados e analisados neste trabalho seguiram as políticas da Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD) instituídas pela Prefeitura do Rio de Janeiro e implementadas pelo Centro de Operações. Todos os acessos aos dados da cidade foram

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193448
https://proceedings.science/p/193448?lang=pt-br

feitos através da participação da nossa startup, Octa City, no laboratório de inovação do COR.rio, e também pela assinatura do termo de cooperação técnica com o município, que nos dá acesso aos dados da cidade para testar e desenvolver inovações. Todos os dados são acessados via API, sob a auditoria do Centro de Operações.

4.1 Câmeras de Monitoramento (CCTV)

As câmeras de vigilância, também conhecidas como CCTV, representam uma fonte fundamental de dados visuais para o monitoramento da cidade. Segundo o Centro de Operações do Rio, a cidade possui atualmente cerca de 3500 câmeras distribuídas estrategicamente em todas as regiões da cidade, fornecendo uma cobertura abrangente das áreas urbanas propensas a alagamentos (dados consultados em Junho/24). O Centro de Operações é responsável pela infraestrutura e transmissão de todas as imagens em tempo real dessas câmeras.

Nosso trabalho consiste em processar e analisar de forma inteligente essas imagens para detectar eventos de alagamento. A integração das câmeras de monitoramento no sistema de monitoramento de alagamentos permite uma visão em tempo real das condições nas ruas e avenidas da cidade. Isso possibilita uma resposta rápida e eficaz às situações de alagamento, facilitando a mobilização de recursos e a coordenação das operações de emergência. Além disso, as imagens obtidas são arquivadas para análises posteriores, permitindo o desenvolvimento de estratégias de mitigação baseadas em dados históricos. Detalhes técnicos das câmeras:

- Acesso: Via API com URL única. Cada câmera possui um código único que pode ser acessado via navegador e de forma programática.
- FPS: A maioria das câmeras do Centro de Operações trabalha com 3 frames por segundo.
- Resolução: 854 x 480.

4.2 Dados do Waze

O aplicativo Waze fornece uma fonte valiosa de dados sobre o tráfego, alertas gerados pelos seus usuários e as condições das vias em tempo real. Os usuários do aplicativo contribuem com informações sobre congestionamentos, acidentes e outras ocorrências nas estradas, incluindo áreas com acúmulos de água. Esses dados são agregados e disponibilizados pelo Waze em uma interface amigável para as autoridades da cidade através da plataforma Waze for Cities. A partir dessa plataforma, as autoridades têm acesso a todos os dados gerados pelos usuários na cidade. Além disso, através dessa plataforma, os agentes também podem adicionar informações sobre as condições das vias e realizar fechamentos de ruas.

Conseguimos acessar esses dados em tempo real porque nos foi compartilhada a API que dá acesso a esses dados. Fazemos o acesso via API, filtrando os alertas de acúmulo de água enviados pelos usuários em tempo real. Dessa maneira, recebemos um conjunto de pontos classificados com as coordenadas de latitude e longitude na cidade do Rio de Janeiro, e podemos plotar esses pontos em nosso mapa base. A integração dos dados do Waze no sistema de monitoramento de alagamentos amplia significativamente a capacidade de detecção e previsão de eventos de alagamento. Ao combinar informações das câmeras de monitoramento com dados do Waze, é possível identificar áreas propensas a alagamentos com maior precisão e antecedência. O sistema utiliza algoritmos de análise de dados para correlacionar os relatórios do Waze com outras fontes de dados, otimizando a capacidade de resposta às condições climáticas adversas.

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193448
https://proceedings.science/p/193448?lang=pt-br

4.3 Medições de Pluviômetros

Os pluviômetros são dispositivos utilizados para medir a quantidade de precipitação em uma determinada área durante um período específico. Na cidade do Rio de Janeiro, uma rede de pluviômetros é operada pelo Centro de Operações Rio (COR.rio), fornecendo dados precisos sobre os níveis de chuva em diferentes partes da cidade. Atualmente, segundo dados do Alerta.rio, a cidade possui cerca de 33 pluviômetros distribuídos ao longo do seu território.

A integração das medições de pluviômetros no sistema de monitoramento de alagamentos permite uma avaliação mais precisa das condições meteorológicas e hidrológicas que podem levar a alagamentos. Os dados de precipitação são combinados com as informações das câmeras de monitoramento e do Waze para identificar padrões e tendências nas condições climáticas e com os alertas enviados no Waze, o que aumenta os indícios do risco de alagamentos. Essa abordagem integrada possibilita prever eventos de alagamento com maior antecedência e precisão, melhorando a eficácia das ações de mitigação. A figura 1 apresenta a visualização desses dados integrados no mapa base da plataforma, coletado durante a chuva de 15/02/2023.

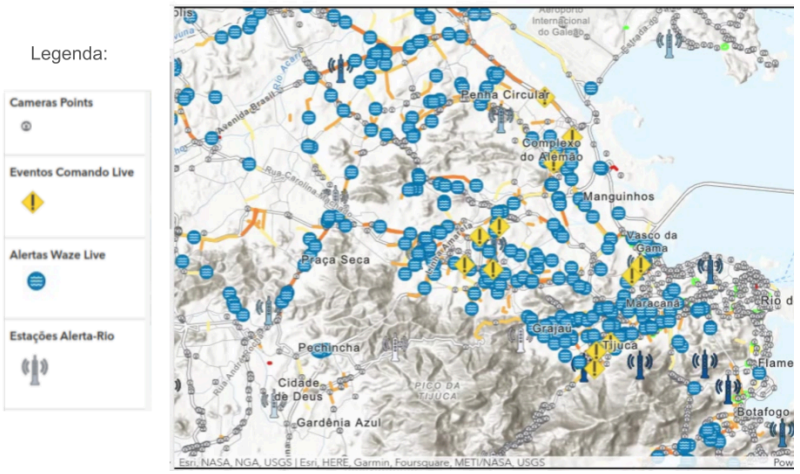


Figura 1: Apresenta numa única visualização todos os dados georreferenciados e sua localização na cidade do Rio de Janeiro. Fonte: Monitor de Alagamentos - Octa City Soluções, consultado em 15/02/2023.

4.4 Sistema Comando - Centro de Operações do Rio

O Sistema Comando é a principal ferramenta situacional da cidade do Rio de Janeiro, reunindo em um único mapa todos os eventos pertinentes que acontecem na cidade. Este sistema é o pivô central de todas as ações da prefeitura, já que todos os órgãos têm acesso a ele. A entrada dos eventos e ocorrências na cidade é feita manualmente pelo coordenador de cidades, que tem a responsabilidade de receber informações sobre um possível evento e então confirmá-lo. Após a confirmação, o coordenador adiciona o evento ao sistema, que então entra no banco de dados da cidade. O sistema também permite gerenciar a integração entre os órgãos para a melhor resolução de eventos. Alguns exemplos de eventos registrados no sistema incluem ocorrências policiais, acidentes em vias, queda de árvores, alagamentos, deslizamentos, eventos na cidade e outras situações que influenciam a dinâmica urbana.

Para o caso de chuvas extremas, o Sistema Comando possui três classificações para situações de acúmulo de água: lâmina d'água, bolsão em via e alagamento. O coordenador de cidades é responsável por avaliar e classificar as ocorrências conforme essas categorias. Dessa

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193448
https://proceedings.science/p/193448?lang=pt-br

maneira, essa é uma fonte de dados extremamente relevante, apresentando dados de acúmulo de água já confirmados na cidade. Acessamos os dados do sistema em tempo real via API, o que é de extremo valor, pois fornece dados de eventos de acúmulo de água geolocalizados.

4.5 Desafios e Considerações

Embora a integração das diferentes fontes de dados represente um avanço significativo no monitoramento de alagamentos em cidades inteligentes, também apresenta desafios e considerações importantes. Um dos principais desafios é garantir a qualidade e a confiabilidade dos dados provenientes de cada fonte, bem como a interoperabilidade entre os sistemas de coleta e análise de dados. A padronização dos formatos de dados e a criação de protocolos de comunicação eficazes são essenciais para assegurar a integração harmoniosa das diferentes fontes de dados. Em suma, a integração das diferentes fontes de dados representa uma etapa crucial no desenvolvimento de sistemas de monitoramento em cidades inteligentes. Ao combinar informações das câmeras de monitoramento, do Waze, dos pluviômetros e do Sistema Comando, é possível obter uma visão abrangente das condições nas áreas urbanas e tomar medidas eficazes para mitigar os impactos dos alagamentos na população e na infraestrutura urbana.

5. A Automação na Coleta de Dados

Esta seção descreve em detalhes os gatilhos inteligentes utilizados para ativar as câmeras e iniciar a coleta de dados automaticamente, além da definição de alguns parâmetros operacionais utilizados para a coleta dessas imagens.

É importante notar que, como descrito no artigo anterior, nossa ferramenta atua em áreas de monitoramento bem definidas. Na versão atual, estamos monitorando um total de 344 áreas críticas na cidade do Rio de Janeiro. Das 3563 câmeras disponíveis na cidade, 708 estão dentro dessas áreas críticas, correspondendo a 19,9% do total. Além disso, temos um total de 182 áreas críticas com pelo menos uma câmera, cobrindo 52,9% do total de áreas críticas. Dessa forma, é necessário criar lógicas operacionais que otimizem esse processo de coleta. Fazemos isso através da definição de alguns parâmetros operacionais.

5.1 Parâmetros Operacionais

Para a otimização operacional do sistema de coleta de imagens, foi necessária a criação de alguns parâmetros, discutidos em mais profundidade nesta seção. Cada fonte de dados fornece um insight diferente sobre a possibilidade de alagamento na região. Portanto, eles foram criados para otimizar a coleta de dados, a quadro 1 apresenta os parâmetros operacionais utilizados.

- **Frequência:** Intervalo de tempo com que a câmera será ativada para executar a coleta.
- **Raio:** Raio máximo de acionamento de câmeras, a partir do centro do evento reportado.
- **Câmeras:** Número máximo de câmeras que serão acionadas dentro do raio especificado.
- **Frames:** Número máximo de imagens que serão gravadas a cada acionamento de cada câmera.
- **Processos:** Número máximo de capturas de câmera em paralelo acionadas pelo gatilho.

Gatilhos	Frequência	Câmeras	Raio (m)	Frames	Processos
Alertas Waze	a cada 10 min	5	200	30	40

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193448
https://proceedings.science/p/193448?lang=pt-br

Gatilhos	Frequência	Câmeras	Raio (m)	Frames	Processos
Áreas Críticas	a cada 3 min	7	250	30	60
Sistema Comando	a cada 3 min	7	250	30	Infinito

Quadro 1: Resumo dos parâmetros operacionais definidos para cada gatilho inteligente.

5.2 Gatilhos Inteligentes para Ativação de Câmeras

Os gatilhos inteligentes são mecanismos automatizados que acionam as câmeras de monitoramento e iniciam a coleta de dados com base em condições específicas. Esses gatilhos foram projetados para reduzir a necessidade de intervenção manual e aumentar a eficiência do monitoramento em tempo real. A ferramenta foi equipada com três gatilhos principais:

1. **Alertas do Waze:**
    - **Detecção de Acúmulo de Água:** Os dados do Waze são monitorados em tempo real para identificar alertas de acúmulo de água reportados pelos usuários. Quando um alerta é detectado, as câmeras próximas à localização do alerta são automaticamente ativadas para capturar imagens da área afetada.
    - **Correlação Geográfica:** Algoritmos de geoprocessamento são utilizados para correlacionar os alertas do Waze com a localização das câmeras. Isso garante que apenas as câmeras relevantes sejam ativadas, otimizando o uso de recursos.
2. **Áreas Críticas:**
    - **Justificativa para Áreas Críticas e Repetição de Fontes:** As áreas críticas são escolhidas com base em dados históricos de incidências de alagamentos e acúmulo de água. O seu cruzamento com fontes, como Waze e Sistema Comando, é crucial para a redundância e validação cruzada dos dados. Um evento detectado em um polígono de monitoramento pode acionar a gravação de câmeras próximas, proporcionando uma visão mais abrangente.
    - **Tipos de Eventos que geram gravações:**
        - **Report do Waze:** Informações de usuários sobre condições adversas, como acúmulos de água e alagamentos.
        - **Sistema Comando (Lâmina, Bolsão ou Alagamento):** Eventos de lâminas d'água, bolsões ou alagamentos identificados pelo Sistema Comando no Centro de Operações do Rio.
        - **Probabilidade de Bolsão:** Previsão baseada em dados históricos e modelos para áreas com alta probabilidade de acúmulo de água.
        - **Classificação de Alagamento em Câmera (Retro-alimentação):** Alagamentos identificados por algoritmos de classificação de imagem diretamente nas filmagens das câmeras disparam a gravação de câmeras nas redondezas.
3. **Eventos no Sistema Comando:**
    - **Classificação de Eventos:** O Sistema Comando classifica eventos de acúmulo de água em três categorias: lâmina d'água, bolsão em via e alagamento. Quando um evento é confirmado pelo coordenador de cidades, as câmeras na área do evento são ativadas automaticamente.

5.3 Integração e Armazenamento de Dados

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193448
https://proceedings.science/p/193448?lang=pt-br

A integração eficiente de dados de diferentes fontes é crucial para o funcionamento do sistema de monitoramento de alagamentos. Todos os dados coletados são centralizados em um banco de dados unificado, que permite:

- **Acesso em Tempo Real:** APIs seguras fornecem acesso em tempo real aos dados coletados, permitindo que as autoridades monitorem as condições de alagamento e tomem ações imediatas.
- **Análise Histórica:** Os dados históricos são arquivados para análises futuras, permitindo a identificação de padrões e a avaliação da eficácia das estratégias de mitigação.
- **Armazenamento de Imagens:** As imagens capturadas pelas câmeras são armazenadas em alta resolução, juntamente com metadados que incluem a localização, data e hora de captura. Os dados são organizados de forma cronológica em pastas estruturadas, permitindo uma fácil navegação e recuperação dos arquivos. A estrutura é baseada em prefixos de gatilho, IDs de eventos/polígonos, códigos de câmeras e um formato padronizado de nomenclatura de arquivos. A nomenclatura dos arquivos segue o formato: prefixos / ID / código / CODE{código} aa-mm-dd hh-mm-ss.mp4. Abaixo alguns exemplos de arquivos gerados:
    - comando / bolsão / 94307 / 97 / CODE97 2023-04-06 10-05-01.mp4
    - polygons / comando / lâmina / 17 / 363 / CODE363 2023-07-28 23-00-05.mp4
    - polygons / flood-probability / 2 / 1965 / CODE1965 2023-04-08 05-30-54.mp4
    - waze /flood/ bab2d22b-b4c0-40c3-a / 209 / CODE209 2023-07-19 20-05-58.mp4

A metodologia de automação na coleta de dados, combinando gatilhos inteligentes e técnicas avançadas de análise de dados, representa um avanço significativo na capacidade de monitorar e responder a eventos de alagamento em tempo real. Esta abordagem não apenas melhora a eficiência e precisão do monitoramento, mas também fornece uma base robusta para futuras inovações na gestão de riscos climatológicos em áreas urbanas.

6. Resultados da Operação no Plano Verão 24 (Nov/23 - Mar/24)

Os resultados demonstram a eficácia do sistema em capturar e categorizar uma grande quantidade de dados, facilitando análises posteriores e a tomada de decisões informadas. Foram utilizadas um total de 473 câmeras com vídeos capturados, onde 406 tiveram os seus vídeos rotulados, sendo 144 dessas câmeras apresentaram eventos de acúmulo de água. O conjunto de quadros abaixo apresenta os dados de coleta para os arquivos de vídeos e imagens, o total de vídeos rotulados e a distribuição por categoria dos arquivos rotulados. Sendo a quadro 2 apresentando a quantidade de vídeos e imagens coletadas, rotuladas e aquelas que apresentaram acúmulos de água significativos. No quadro 3 é apresentado o número de vídeos gerados para cada gatilho. Já o quadro 4 indica a distribuição dos vídeos e imagens por categoria de acúmulo.

Arquivo	Total Coletado	Rotulados	Com acúmulo
Vídeos	62.017	14.680	2715
Imagens	2.989.598	591.919	130.400

Quadro 2: Total de vídeos e imagens coletadas, rotuladas e o total delas que apresentaram acúmulo de água.

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193448
https://proceedings.science/p/193448?lang=pt-br

Gatilho	Lâmina (Sistema Comando)	Bolsão (Sistema Comando)	Alagamento (Sistema Comando)	Report Waze	Áreas Críticas (Polígonos)
Vídeos	341	3.813	338	20.887	17.921

Quadro 3: Total de vídeos coletados por gatilho inteligente.

Arquivo	Normalidade	Lâmina	Bolsão	Alagamento
Vídeos	11.965	1.003	1.174	538
Imagens	461.519	38.221	49.619	42.560

Quadro 4: Distribuição dos vídeos e imagens rotuladas por categoria.

6.1 Eventos Capturados

A partir dos dados coletados e das rotulações realizadas conforme descrito anteriormente, nosso sistema capturou diversos eventos de acúmulo de água. Esses eventos foram registrados de maneira eficiente, resultando em um banco de dados robusto para a cidade do Rio de Janeiro. O quadro 5 resume os eventos capturados por cada gatilho. A figura 2 apresenta imagens de exemplo coletadas pelo sistema em dias e câmeras diferentes:

Gatilho	Lâmina (Sistema Comando)	Bolsão (Sistema Comando)	Alagamento (Sistema Comando)	Report Waze	Áreas Críticas (Polígonos)
Eventos	10	79	7	1898	1994

Quadro 5: Eventos de acúmulo de água coletados por gatilho inteligente.



Figura 2: Eventos de acúmulo de água coletados pelo sistema.

7. Discussões

As descobertas e o banco de imagens gerados por meio da integração de câmeras de vigilância (CCTV), dados do Waze e pluviômetros oferecem um avanço significativo na gestão de riscos climatológicos em áreas urbanas. A coleta automatizada e a análise em tempo real proporcionam uma resposta mais rápida e eficaz aos eventos de alagamento, permitindo uma

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193448
https://proceedings.science/p/193448?lang=pt-br

melhor mobilização de recursos e coordenação das operações de emergência. A capacidade de monitorar continuamente as condições das ruas e avenidas, combinada com dados precisos de precipitação e relatórios de usuários do Waze, resulta em uma compreensão mais detalhada e abrangente das dinâmicas urbanas durante períodos de chuva intensa.

Comparado ao trabalho anterior, "Desenvolvimento de uma Ferramenta de Monitoramento de Alagamentos para Cidades Inteligentes: O Caso do Rio de Janeiro" [Oliveira & Silva, 2023], a principal inovação introduzida neste artigo foi a automação dos processos de coleta de dados. No trabalho anterior, a integração de diferentes fontes de dados era limitada pela necessidade de monitoramento manual. Agora, com o uso de gatilhos inteligentes, o sistema responde automaticamente aos eventos, aumentando a eficiência operacional. Além disso, a inclusão de algoritmos de visão computacional para análise automática de imagens aprimora a precisão na identificação e categorização dos eventos de alagamento.

Outra melhoria significativa é o uso ampliado de dados do Waze, que permite a detecção em tempo real de áreas com acúmulo de água reportadas pelos próprios usuários. A importância do engajamento cidadão no gerenciamento de riscos em cidades inteligentes foi destacada por Khan & Ludlow (2018), que demonstraram como dados fornecidos por usuários podem melhorar a detecção e a resposta a eventos de alagamento. De forma similar, o uso de dados colaborativos do Waze em nosso sistema ampliou a precisão e a rapidez na detecção de áreas afetadas por acúmulo de água. A combinação dessas inovações oferece uma ferramenta mais robusta e eficiente para a gestão de alagamentos.

7.1 Aplicações Futuras e Adaptação da Metodologia

O banco de imagens e a metodologia desenvolvida neste trabalho têm grande potencial para a gestão urbana, estendendo-se além da mitigação de alagamentos. Os dados coletados podem informar o planejamento urbano, ajudando a identificar áreas vulneráveis que necessitam de melhorias na infraestrutura de drenagem, além de orientar a construção de sistemas de escoamento e pavimentos permeáveis. A análise dos dados históricos pode também alimentar modelos preditivos de aprendizado de máquina, aumentando a precisão na previsão de alagamentos com base em padrões meteorológicos e de precipitação.

A metodologia desenvolvida para o Rio de Janeiro pode ser adaptada para outras cidades ao redor do mundo, considerando suas características geográficas e climáticas. Para garantir essa adaptação, parâmetros operacionais como frequência de ativação de câmeras e raio de detecção devem ser customizados conforme as condições locais. A integração de fontes de dados locais, como sensores de nível de água e dados de satélite, também é essencial. Além disso, parcerias com autoridades municipais são cruciais para garantir o acesso aos dados e infraestrutura necessários. Finalmente, o sistema deve ser escalável e sustentável a longo prazo, utilizando tecnologias de armazenamento em nuvem e manutenção contínua para garantir sua eficácia e longevidade.

7.2 Conclusão

Em resumo, o presente trabalho demonstrou como a integração de múltiplas fontes de dados e a automação na coleta de informações visuais podem transformar a gestão de riscos

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193448
https://proceedings.science/p/193448?lang=pt-br

climatológicos em áreas urbanas. A criação de um banco de imagens robusto não apenas fortalece a resposta aos alagamentos no Rio de Janeiro, mas também oferece um modelo replicável para outras cidades ao redor do mundo.

As melhorias em relação ao trabalho anterior, como a automação completa da coleta de dados e o uso de algoritmos de visão computacional, resultaram em um sistema mais eficiente e preciso. A ferramenta proposta, além de inovadora, contribui significativamente para a resiliência urbana, a segurança dos cidadãos e a sustentabilidade das infraestruturas urbanas frente às mudanças climáticas. Nossa abordagem pioneira de integração de múltiplas fontes de dados com algoritmos de visão computacional oferece uma solução robusta para a mitigação de alagamentos em tempo real, algo ainda pouco explorado no contexto de cidades inteligentes

8. Premiações Recebidas

O nosso sistema de monitoramento de alagamentos foi reconhecido por sua inovação e efetividade na gestão de alagamentos na cidade do Rio de Janeiro, além de sua contribuição para a resiliência urbana em cidades inteligentes. Em 2023, recebemos as seguintes premiações destacadas:

- **3° lugar na categoria pré-operacional como solução mais inovadora para cidades inteligentes no Brasil**, pelo prêmio Connected Smart Cities, na cidade de São Paulo.
- **1° lugar como solução mais inovadora para cidades inteligentes no estado do Rio de Janeiro**, conforme reconhecido pela premiação da Firjan IEL.

9. Referências:

- CENTRO DE OPERAÇÕES DO RIO. COR, 2024: Página ‘História’: Disponível em: <https://cor.rio/>. Acesso em: 24 de Maio de 2024.
- Oliveira, O. H. F., & Silva, L. R. (2023). Desenvolvimento de uma Ferramenta de Monitoramento de Alagamentos para Cidades Inteligentes: O Caso do Rio de Janeiro. https://doi.org/10.59254/sbpo-2023-175088
- Maia, A. C. N., & Sedrez, L. (2012). Narrativas de um Dilúvio Carioca: memória e natureza na Grande Enchente de 1966. História Oral, 14(2). https://doi.org/10.51880/ho.v14i2.239
- Silva, B. N., Khan, M., & Han, K. (2018). Towards sustainable smart cities: A review of trends, architectures, components, and open challenges in smart cities. *Sustainable Cities and Society*, 38, 697–713.
- Li, Z., Shahidehpour, M., Amin, M. T., & Alabdulwahab, A. (2020). Urban flood monitoring system based on deep learning and internet of things. *IEEE Access*, 8, 5670–5677.
- Sayl, K. N., & Jasim, H. M. (2020). Integration of remote sensing data and hydrological modeling for flood hazard assessment in urban areas. *Environmental Earth Sciences*, 79(15), 1–15.
- de Brito, M. M., & Evers, M. (2016). Multi-criteria decision-making for flood risk management: A survey of the current state of the art. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16(4), 1019–1033.
- Khan, Z. A., & Ludlow, D. (2018). Flood risk management and citizen engagement in smart cities: A case study of Bristol, UK. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, IV-4/W7, 87–94.

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193448
https://proceedings.science/p/193448?lang=pt-br