

editorial
editorial

entrevista
interview

ágora
agora

tapete
carpet

artigo nomads
nomads paper

projetos
projects

expediente
credits

próxima v!rus
next v!rus

V!20

revista **V!RUS**
V!RUS journal

issn 2175-974x
ano 2020 year
semestre 01 semester
Julho 2020 July



VÁRZEA DO TIETÊ: RESTAURO AMBIENTAL, URBANIZAÇÃO E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA THE TIETÊ FLOODPLAIN: ENVIRONMENTAL RESTORATION, URBANIZATION AND TECHNOLOGICAL INNOVATION

NELSON BRISSAC PEIXOTO

PT | EN

Nelson Brissac Peixoto é filósofo e Doutor em Filosofia. É professor do Programa de Pós-graduação em Tecnologias da Inteligência e Design Digital, da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. Estuda relações entre a arte e o urbanismo, e é o idealizador e coordenador do projeto ZL Vórtice, desde 2013. nbrissac@gmail.com

Como citar esse texto: PEIXOTO, N. B. Várzea do Tietê: restauro ambiental, urbanização e inovação tecnológica. **V!RUS**, São Carlos, n. 20, 2020. [online]. Disponível em: <<http://www.nomads.usp.br/virus/virus20/?sec=7&item=1&lang=pt>>. Acesso em: 22 Jul. 2020.

ARTIGO SUBMETIDO EM 10 DE MARÇO DE 2020

Resumo

As condições sociais e ambientais críticas da periferia de São Paulo são a referência de ZL Vórtice, um projeto colaborativo voltado para urbanização, recuperação ambiental e inovação tecnológica no Jardim Helena, conhecido como Pantanal. O projeto propõe desenvolver, com a participação da comunidade local, novas soluções de drenagem e pavimentação, dispositivos sustentáveis de tratamento de água e restauro de áreas degradadas, novas tecnologias para a contenção de margens de lagoas e córregos e dispositivos de monitoramento social do sistema fluvial e da ocupação urbana. ZL Vórtice busca introduzir um importante diferencial nas políticas públicas para as periferias metropolitanas, em particular as áreas de várzea: o agenciamento de laboratórios de pesquisa para desenvolver tecnologia e materiais específicos para situações críticas. A questão do método é fundamental quando se reúnem diferentes laboratórios de pesquisa para enfrentar situações críticas, como a várzea do Tietê, em cooperação com as comunidades locais. Projetos transdisciplinares, em que cada agente possui seus próprios requisitos e procedimentos, colocam grandes desafios metodológicos. Trata-se de imprimir às propostas um caráter experimental, voltado para a inovação tecnológica, que inclua transferência de conhecimento e capacitação técnica dos moradores para enfrentar os eventos extremos cada vez mais recorrentes nas áreas de várzea.

Palavras-chave: Várzeas, Meio-ambiente, Urbanização, Tecnologia, Método, Participação

1 Introdução

Nos limites da cidade de São Paulo, os conflitos envolvem a necessária proteção ao meio ambiente, as ocupações por assentamentos habitacionais precários e grandes obras de infraestrutura metropolitana, especialmente as de contenção de enchentes e de controle da qualidade das águas. Esses processos são,

muitas vezes, contraditórios. O resultado é a crescente degradação da qualidade urbana e ambiental, afetando populações vulneráveis e os sistemas hidromorfológicos e ecológicos. Esse quadro requer uma rápida mudança de paradigma nos processos de desenvolvimento urbano e aponta para a necessidade de desenvolvimento de novas abordagens e técnicas (PEIXOTO, 2017).

Está sendo desenvolvido um projeto colaborativo de sistema integrado de manejo e tratamento de água e requalificação urbana e ambiental, a ser implantado na planície meândrica do Rio Tietê, no trecho leste do Município de São Paulo. O projeto ZL Vórtice propõe modos sustentáveis de urbanização, com inovação tecnológica e inclusão econômica e social, além de ações que busquem restaurar os remanescentes geomorfológicos e a funcionalidade hidrológica da planície fluvial, fortemente impactados por grandes obras de infraestrutura e pela ocupação urbana precária.

A área de influência do projeto abrange o último trecho em que o Rio Tietê, no município de São Paulo, mantém parte de sua dinâmica meândrica, afetada por inúmeras intervenções antrópicas, desde antigas atividades extrativas até as ocupações informais e obras de contenção de cheias. A Figura 1 apresenta a área de projeto e o processo de urbanização da planície de inundação. Condição limite que requer desenvolver, com as comunidades locais, infraestrutura de manejo e tratamento de água e reurbanização, com recuperação de funções ambientais da várzea em situações críticas.

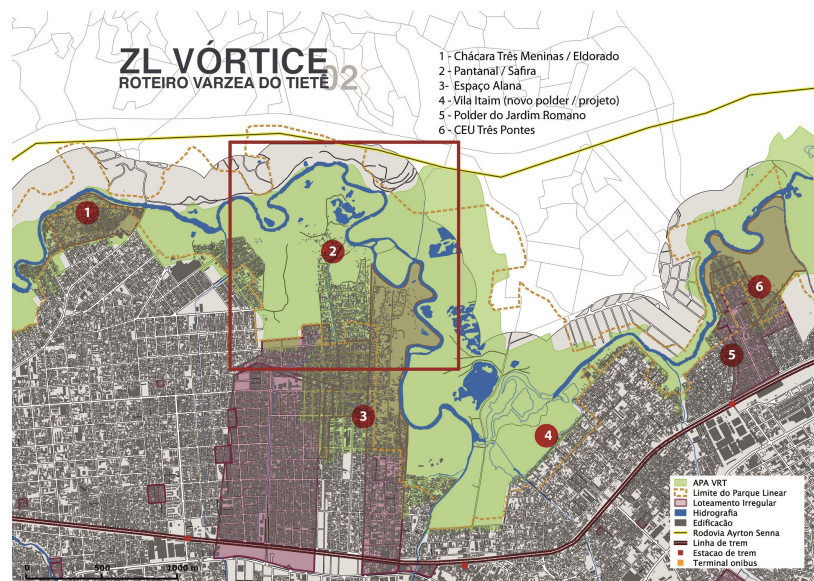


Fig. 1: Mapa de localização da área de projeto, com as principais referências urbanas. Fonte: Lígia Pinheiro / Projeto ZL Vórtice, 2017.

A área de intervenção estende-se desde a desembocadura do córrego Itaim até a bacia do córrego Água Vermelha, configurando um grande recorte do cinturão meândrico do Rio Tietê. Corresponde, na área de ocupação urbana da planície de inundação, ao Jardim Helena, conhecido como Pantanal, com cerca de 135 mil habitantes. Essa região é objeto de diferentes programas e políticas públicas, como o Plano de Macrodrenagem da Bacia do Alto Tietê (PDMAT-3) e o Plano de Manejo da APA-VRT, além do projeto Parque Várzeas do Tietê.

Na cidade de São Paulo, o rio Tietê passa a ser alvo de grandes obras de prevenção de enchentes. As políticas atualmente adotadas pela administração pública consistem basicamente em promover uma radical segregação do rio com relação à área de ocupação urbana, implantando sistemas de polders e piscinões, para isolar o rio da planície de inundação. Por outro lado, ocorre um processo acelerado de aterramento de toda a área, evidenciando como a demanda por moradia conflita com a preservação ambiental.

A proposta do ZL Vórtice é estruturar ambiental e urbanisticamente o Jardim Pantanal, desenvolvendo com os moradores um projeto integrado de infraestrutura urbana de drenagem e tratamento de água, com a conservação dos remanescentes da planície de inundação. O projeto propõe recuperar a função de drenagem e os serviços ambientais que a planície fluvial não é mais capaz de realizar totalmente, com ações que promovam a convivência das ocupações com o rio e suas cheias, adequando a cidade ao rio de meandros. A questão que se coloca: é possível instaurar um novo modelo para a urbanização e recuperação ambiental, fundamentado em inovações tecnológicas e ampla participação social?

O projeto ZL Vórtice existe desde 2013, tendo promovido seminários e visitas técnicas com a Emplasa (Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano), CDHU (Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Estado de São Paulo), Fundação Florestal do Estado de São Paulo, SP Urbanismo (Secretaria Municipal do Desenvolvimento Urbano - SMDU) e Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente (SIMA), com o objetivo de interagir com as instituições governamentais e contribuir para as políticas públicas (Informações disponíveis em: <https://zlvortice.wordpress.com>).

O projeto busca introduzir um importante diferencial nas políticas públicas para as periferias metropolitanas, em particular as áreas de várzea: o agenciamento de laboratórios de pesquisa para desenvolver tecnologia e materiais específicos para situações críticas. Trata-se de imprimir às propostas um caráter experimental, voltado para a inovação tecnológica, que inclua transferência de conhecimento e capacitação técnica dos moradores, de modo a enfrentar os eventos extremos cada vez mais recorrentes nessas áreas.

Os laboratórios de pesquisa que estão associados ao desenvolvimento da proposta são: FabLab SP - Laboratório de Fabricação Digital da FAU-USP; LME - Laboratório de Microestrutura e Ecoeficiência dos Materiais da Poli-USP; LabGeo - Laboratório de Geomorfologia da FFLCH-USP; Luiz Fernando Orsini Yazaki, ex-coordenador da Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH); URCA-PROURB - Programa de Pós-Graduação em Urbanismo da FAU-UFRJ; LabTIDD - Tecnologias da Inteligência e Design Digital da PUC-SP; Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do Politecnico di Milano, Itália; e Estúdio Laborg.

A Associação dos Moradores do Jardim Pantanal (AMOJAP), dirigida por Reginaldo Pereira, tem contribuído decisivamente para o desenvolvimento do projeto, orientando as expedições de campo, indicando os pontos críticos de maior importância para a comunidade, disponibilizando um local para workshops e testes, organizando as várias oficinas que os laboratórios realizam com os moradores e participando da elaboração das soluções tecnológicas propostas.

A questão do método, tema deste número da revista *VIRUS*, é fundamental quando se reúnem diferentes laboratórios de pesquisa para enfrentar, articuladamente, situações críticas como a várzea do Tietê, em cooperação com as comunidades locais. Importantes desafios de método se colocam em projetos transdisciplinares, em que cada agente possui seus próprios requisitos e procedimentos. O empreendimento exige explorar modos inovadores de pesquisa, criar metodologias para participação social e ações *bottom-up* em processos decisórios públicos.

São vários os desafios técnicos a serem enfrentados pelos laboratórios. Pesquisar a geomorfologia, a hidrologia e o processo de urbanização em áreas críticas, altamente degradadas. Identificar, no trecho do cinturão meândrico, as configurações que ainda apresentam funcionalidades essenciais, como a de retardar o escoamento das águas, restabelecendo condições para a melhoria da qualidade da água por meio de sua autodepuração. Formatar dispositivos de drenagem, contenção de margens de córregos e calçadas permeáveis para espaços públicos na várzea. Desenvolver equipamentos de coleta de dados ambientais e monitoramento da rede fluvial adaptados às condições da várzea. Assegurar que todos os procedimentos sejam desenvolvidos com a participação dos moradores.

Levantamentos hidrogeomorfológicos do trecho do cinturão meândrico foram detalhadamente programados pelo LabGeo-USP e por Luiz Orsini. O URCA-PROURB do Programa de Pós-Graduação em Urbanismo da FAU-UFRJ investigará práticas projetuais que viabilizem inovações tecnológicas e a provisão de infraestruturas básicas, buscando conectar ecologia e urbanismo (MOSTAFAVI et al., 2019). O FabLab-FAU, o LME-PoliUSP e o LabTIDD-PUC/SP promoveram diversas oficinas com os moradores, para desenvolvimento e difusão das tecnologias para situações críticas. O Estúdio Laborg realizou um levantamento sistemático da planície de inundação na área, focado na hidrologia e em transformações devidas ao aterramento e às ocupações urbanas. Essa pesquisa de campo serviu para desenvolver dispositivos interativos de visualização das dinâmicas existentes na área.

O rigor dos laboratórios de pesquisa na definição de estratégias de restauro ambiental e de dispositivos de tratamento da água, na qualificação e padronização dos materiais e procedimentos em projetos de infraestrutura de drenagem na várzea do rio Tietê, será confrontado com as condições extremas encontradas na área. O desafio é, guardando os princípios de precisão técnica e economia, desenvolver tecnologias adaptadas a situações de grande instabilidade ambiental e urbana e propiciar a difusão do conhecimento e a participação social em todas as etapas do processo.

Um laboratório técnico-científico opera efetuando experimentos em que o desempenho de dispositivos e materiais é avaliado por meio de medições precisas. Laboratórios demandam condições de trabalho (aspepsia, temperatura constante, equipamentos calibrados) rigorosamente controladas. Como construir um laboratório na várzea do rio Tietê, com a participação dos moradores?

Construir um laboratório de campo implica transformar a várzea em laboratório, com operações que possam ser replicadas na área, assegurando os parâmetros básicos de rigor e medida que os pesquisadores estabeleceram em suas investigações. Os procedimentos propostos pelos laboratórios só podem funcionar se os princípios e técnicas prescritos forem incorporados pelas administrações locais e comunidades e convertidos em cultura compartilhada (LATOURE, 2017). Um conjunto de técnicas (manuais, instrumentos, capacitação de mão-de-obra, sistematização de parâmetros e procedimentos) é necessário para sustentar as soluções tecnológicas propostas, as operações dos laboratórios na várzea.

Os laboratórios realizaram, até o momento, visitas e oficinas com os moradores, nos recintos universitários e nas comunidades. As pesquisas tecnológicas estão no estágio de formulação inicial e discussão com os moradores e produção de protótipos em pequena escala. Foram empregados apenas recursos provenientes dos próprios laboratórios. Propostas de financiamento foram apresentadas ao FEHIDRO (Fundo Estadual de Recursos Hídricos), onde têm encontrado resistência, sobretudo por parte do DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica), responsável pelas grandes obras de engenharia projetadas para a área.

3 Tecnologias

O projeto ZL Vórtice propõe configurar um sistema integrado de manejo e tratamento de água para requalificação urbana e ambiental na planície meândrica do rio Tietê, no trecho leste de São Paulo. Uma articulação sistêmica das diferentes tecnologias propostas, de modo que os dispositivos de drenagem desemboquem em córregos e lagoas providos de contenção contra erosão e em equipamentos para purificação das águas, conforme visto na Figura 2:

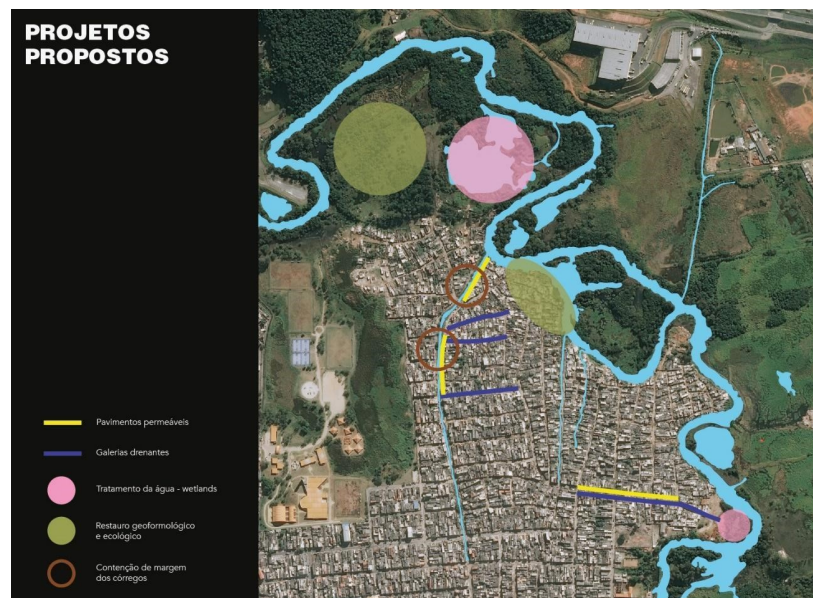


Fig. 2: ZL Vórtice: Sistema integrado de manejo e tratamento de água para requalificação urbana e ambiental. Fonte: Estúdio Laborg e URCA-PROURB – FAU-UFRJ, 2020.

Uma questão crucial, relativa à implantação de galerias drenantes em áreas de ocupação urbana da várzea, é o local de deságue final. Para constituir um sistema integrado, o dispositivo de microdrenagem deve desembocar em áreas onde o projeto prevê a implantação de *wetlands* para tratamento das águas pluviais, juntamente com esgotos não coletados. O tratamento dos efluentes é essencial para a recuperação das condições hidrológicas e ambientais da área.

Da mesma maneira, a redução do escoamento superficial por pavimentos permeáveis contribui para mitigar os efeitos das enchentes e conservar o ecossistema fluvial, assim como a estruturação adequada das margens dos córregos, que recebem esses fluxos, evitando seu assoreamento. Essas intervenções, quando encadeadas, ganham pertinência e efetividade sistêmica.

3.1 Galerias drenantes

Trata-se de sistema de módulos pré-fabricados para drenagem superficial e manejo de águas pluviais. O projeto, elaborado pelo FabLab da FAU-USP, dirigido pelo professor Paulo Fonseca, consiste em desenvolver, em conjunto com os moradores locais, galerias de retenção e escoamento de fluxos superficiais, em área com densa ocupação antrópica urbana, caracterizada pela carência de estruturas urbanísticas e de saneamento.



Fig. 3: Módulo e molde feito por fabricação digital. Fonte: Projeto ZL Vórtice, 2017. Disponível em: <https://zlvortice.wordpress.com/>. Acesso em: 06 maio 2020

O sistema consiste em módulos pré-fabricados leves que combinam, numa única seção transversal, o piso do passeio e a galeria subterrânea de armazenamento e escoamento de águas pluviais, conforme apresentado na Figura 3. As peças são pré-fabricadas em microconcreto de alto desempenho, material especialmente desenvolvido que apresenta maior resistência e leveza, além de durabilidade, dispensando equipamentos pesados para produção e instalação.

O microconcreto (argamassa armada) é um tipo particular de concreto armado, com comportamentos físico e mecânico próximos ao do composto convencional, mas com propriedades particulares de desempenho. Permite a produção de elementos pré-fabricados de menor espessura, prescindindo de agregados graúdos. Resulta em elementos construtivos mais leves, possibilitando uma diminuição no consumo de materiais e de cargas nas estruturas. A tecnologia implica buscar matrizes cimentícias capazes de viabilizar estruturas delgadas de concreto armado e sua possível aplicação na pré-fabricação leve, em função das suas propriedades de elevado desempenho (FONSECA DE CAMPOS, 2014).



Fig. 4: Protótipo em escala 1:1 do módulo das galerias drenantes. Fonte: Projeto ZL Vórtice, 2018. Disponível em: <https://zlvortice.wordpress.com/>. Acesso em: 06 maio 2020

O projeto comporta mais uma importante inovação tecnológica: as fôrmas são modeladas e executadas a partir de processo de fabricação digital, conforme mostra a Figura 4. Isso permite a obtenção de elementos pré-fabricados que variam conforme situações específicas de topografia ou demanda do sistema hídrico: uma combinação de produção de pré-fabricados em microconcreto com as novas tecnologias de prototipagem 3D. O processo demanda a capacitação dos moradores participantes nos laboratórios públicos de fabricação digital existentes na região.

O sistema construtivo proposto visa amenizar os impactos das enchentes, já que as galerias drenantes para a captação das águas pluviais podem acelerar a drenagem do assentamento. Em razão dos diversos aterros realizados com o objetivo de ocupar a várzea, o solo foi impermeabilizado e a topografia da região modificada, alterando drasticamente o comportamento das águas. O sistema de galerias de microdrenagem deve, portanto, equacionar o problema de tratar-se de área baixa, sujeita ao retorno das águas.

A tecnologia de pré-fabricação do microconcreto armado está consolidada, mas com poucas aplicações e inovações recentes. Soluções propostas: pesquisar novas tecnologias do concreto, argamassas de alta resistência, com fibras e aditivos. Pesquisar a integração da produção de elementos construtivos de microconcreto com modelagem digital e fresagem CNC das fôrmas. Elaborar um modelo computacional para simular o escoamento de águas pluviais de sistemas de galerias drenantes em áreas de baixa declividade.

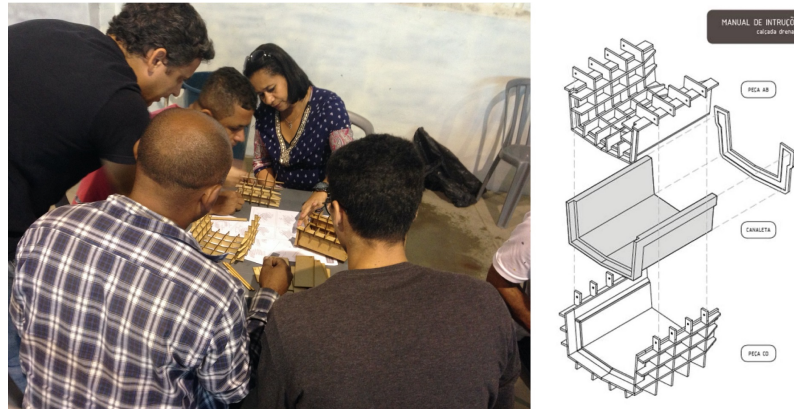


Fig. 5: Oficina de montagem das fôrmas no Jardim Pantanal, com manual. Fonte: Projeto ZL Vórtice, 2018. Disponível em: <https://zlvortice.wordpress.com/>. Acesso em: 06 maio 2020

É também objetivo do projeto definir procedimentos que promovam a participação das comunidades locais na modelagem e fabricação das fôrmas e produção dos módulos construtivos, como a elaboração de manuais de montagem e a realização de oficinas de capacitação, conforme mostrado na Figura 5. A primeira oficina de montagem das fôrmas produzidas por fabricação digital, direcionada para testar o procedimento proposto e o manual, revelou que o esquema é ainda muito complexo, mesmo para pedreiros experientados. Sugestões foram feitas para tornar o modelo mais operacional.

3.2 Wetlands

Uma *wetland* construída, é um sistema artificial manejável que reproduz as funcionalidades dos alagados naturais na purificação de águas residuais, com regime hidrológico controlado. O dispositivo, proposto por Luiz Fernando Orsini Yazaki, ex-coordenador da FCTH, deve se integrar ao sistema hidrogeomorfológico local, reforçando o serviço ambiental naturalmente exercido pela várzea (ORSINI YAZAKI, KAHTOUNI, 2010).

As *wetlands* de fluxo superficial, que apresentam menor custo de construção e são mais simples de manter e mais fáceis de operar, são as mais apropriadas para a situação. As *wetlands* de tratamento por fluxo superficial reproduzem as *wetlands* naturais, nas quais a água escoam com baixa profundidade em meio a uma vegetação densa, típica de regiões pantanosas. Consistem em uma área escavada protegida por diques, na qual a camada superficial do solo serve como meio de enraizamento, e de estruturas adequadas de entrada e saída, destinadas ao controle hidráulico, tal como apresentado na Figura 6.

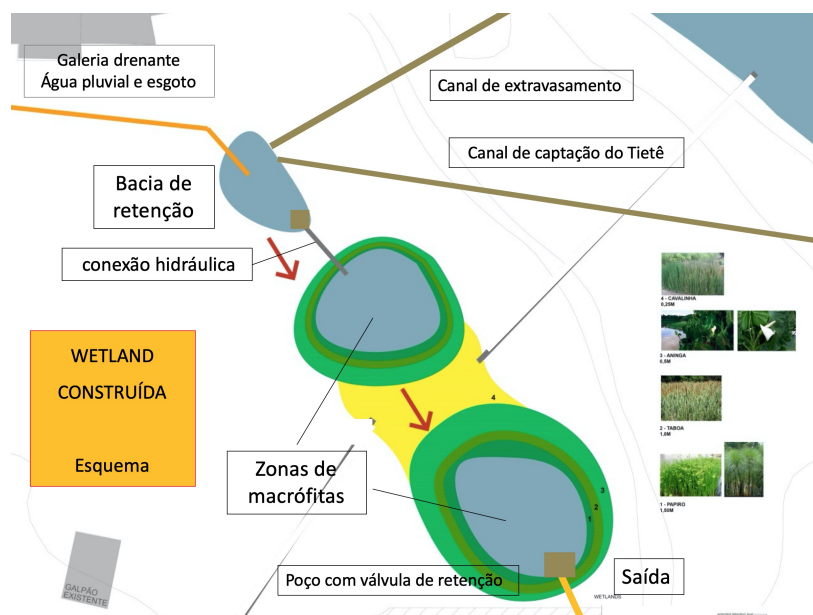


Fig. 6: Esquema de *wetland* construída. Fonte: Projeto ZL Vórtice, 2018.

A *wetland* proposta é constituída por um conjunto de células sequenciais. Antes de entrar no corpo da *wetland*, os efluentes passam por um pré-tratamento, constituído por peneiramento de sólidos grosseiros e caixa de areia. A primeira célula é coberta por vegetação de espécies autóctones, entremeadas com zonas profundas para retenção de sólidos, equalização hidráulica e formação de hábitat de águas abertas. Na segunda célula há um pântano denso com vegetação emergente, importante para o controle do crescimento das espécies plantadas. Na saída da última célula a água tratada é dirigida ao rio Tietê.

Wetlands situadas em várzeas estão sujeitas a inundações periódicas. Restrições importantes são levadas em consideração no detalhamento do projeto. As células, estruturas e bermas da *wetland* devem ser projetadas para suportar enchentes periódicas e inundação completa. Para permitir a inundação total da *wetland* são previstos tubos de equalização de fluxo a meia altura da berma, para possibilitar que as águas do rio, quando estiverem subindo, entrem na *wetland* e se equalizem com o fluxo remanescente. Quando as águas de inundação a cobrirem por completo, a *wetland* já estará inundada e será menos suscetível a perturbações.

O projeto prevê a realização de um levantamento hidrológico, com inspeções de campo para dimensionamento do volume dos alagados existentes e determinação da capacidade de retenção de água e do período hidrológico das lagoas. Ensaios geotécnicos, que incluem análise granulométrica, umidade, capacidade de infiltração e permeabilidade, e levantamentos topográficos, medirão a configuração submersa das lagoas. Medições de dados hidrológicos, que abarcam vazões de entrada nas lagoas advindas dos canais e de saída para o rio Tietê, servirão para avaliar o controle natural do fluxo exercido pelo alagado.

É proposto um programa de monitoramento da qualidade da água, com definição dos parâmetros de qualidade, treinamento dos moradores responsáveis pelas coletas de amostras e logística. O monitoramento da qualidade da água objetiva subsidiar especificamente os projetos de *wetlands* construídas e de restauro geomorfológico-ambiental. A ser realizado com a participação de moradores, capacitados em treinamento, o monitoramento também visa engajar a comunidade na conservação do sistema de tratamento e do meio ambiente em geral.

3.3 Áreas de restauração geomorfológica e ecológica

O projeto ZL Vórtice coloca o problema do restauro ambiental em condições extremas. A questão é: como lidar com sistemas socioambientais altamente comprometidos, talvez de forma irreversível? A estrutura geomorfológica e o sistema hidrológico que caracterizavam o funcionamento do rio Tietê, na cidade de São Paulo, estão fortemente impactados e levados ao limite do colapso. Qual é o limiar a partir do qual o comportamento hidrológico e ecológico do sistema fluvial muda de maneira determinante? O rio Tietê teria alcançado esse limite?

As lagoas situadas na área de projeto são componentes hidrogeomorfológicos da planície fluvial meândrica remanescente, comprometidos em diversos graus por intervenções antrópicas. O projeto, coordenado pela professora Cleide Rodrigues, do LabGeo-FFLCH-USP, busca restaurar parte de seus elementos remanescentes, suas formas, materiais sedimentares e solos, como suporte físico essencial à recuperação ecológica da área. A meta é promover a conservação dos elementos da planície fluvial e de suas funcionalidades, identificando as configurações hidrogeomorfológicas remanescentes do cinturão meândrico mais propícias a subsistirem e conduzir intervenções que contribuam para sua proteção. Essas ações visam também recuperar algumas de suas funções hidrológicas potenciais (retenção de água pluvial, regulação das enchentes do rio) e ambientais (purificação das águas) (RODRIGUES, 2015). A Figura 7 apresenta as áreas de restauro propostas, com os parâmetros de zoneamento que incidem sobre elas.

A implantação de uma área de restauro visa testar a possibilidade da permanência de remanescentes da geomorfologia e da dinâmica hidrológica originais, contribuindo para a recuperação do alagado natural, de forma compatível ao uso para tratamento da água, executado pelas *wetlands* construídas. A experiência tem potencial para contribuir para o incremento geral da qualidade da água das várzeas e para a recuperação ambiental urbana da região como um todo.

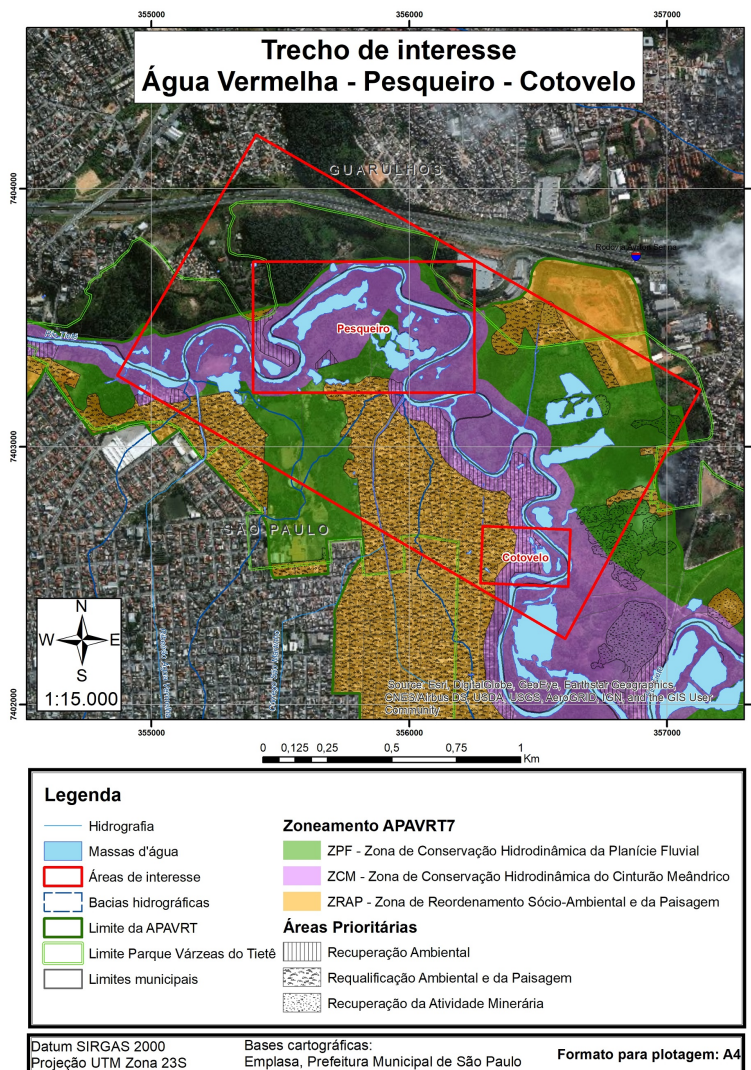


Fig. 7: Trecho de interesse e áreas de restauro propostas. Fonte: LabGeo-FFLCH-USP, 2018.

Deve ser realizado um levantamento para verificar a presença de remanescentes geomorfológicos para intervenções que assegurem as funcionalidades hidrológicas e ecológicas da planície fluvial. Trata-se de determinar as possibilidades de se restabelecer as condições geomorfológicas da planície e seus serviços hidrológicos, no trecho delimitado, essenciais para ações de restauração do ecossistema.

Nas planícies fluviais meândricas, quando preservados determinados atributos geomorfológicos, podem ser considerados serviços ambientais potenciais: amortecimento de vazão extrema e mitigação de enchentes; estocagem temporária de água; melhoria da qualidade da água para jusante; atenuação de processos erosivos e de assoreamento a jusante; e manutenção do patrimônio de geodiversidade.

Que ações de restauro são possíveis em situações críticas? Trata-se de verificar se o trecho delimitado da planície de inundação ainda apresenta atributos ambientais que permitam projetos de recuperação, devido às evidências de altos níveis de perturbação dos atributos morfológicos nessas áreas. Determinar, nessas condições, os projetos que sejam ambientalmente sustentáveis.

A participação das comunidades nos projetos de preservação ambiental é fundamental. Algumas práticas locais, como a recuperação da área do Cotovelo pelos próprios moradores, que promoveram a retirada de carcaças de automóveis jogadas no rio, devem ser incorporadas nas ações de restauro de áreas no limite do colapso ambiental.

3.4 Sistemas de contenção de córregos e alagados

No Jardim Pantanal são projetadas intervenções estruturais de contenção de erosão que contribuam para consolidar formas da planície fluvial e dinâmicas hidrológicas remanescentes (lagoas, curva meândrica), preservando as margens dos córregos. Intervenções pontuais foram concebidas por Marina Correia, do URCA-PROURB - Programa de Pós-Graduação em Urbanismo da FAU-UFRJ, com consultoria de Mariana Marchioni, do

Politecnico di Milano, com blocos de concreto articulados e gabiões, fabricados com resíduos de construção e demolição.

O sistema de bloco articulado acopla os elementos construtivos para formar uma camada resistente à erosão. Os blocos são moldados em formas intertravadas, gerando uma seção-tipo articulada. O sistema assegura a capacidade dos blocos se adequarem às alterações no subleito, conforme visto na Figura 8. Após a instalação do sistema articulado, os vazios entre os blocos são preenchidos com solo e plantas.

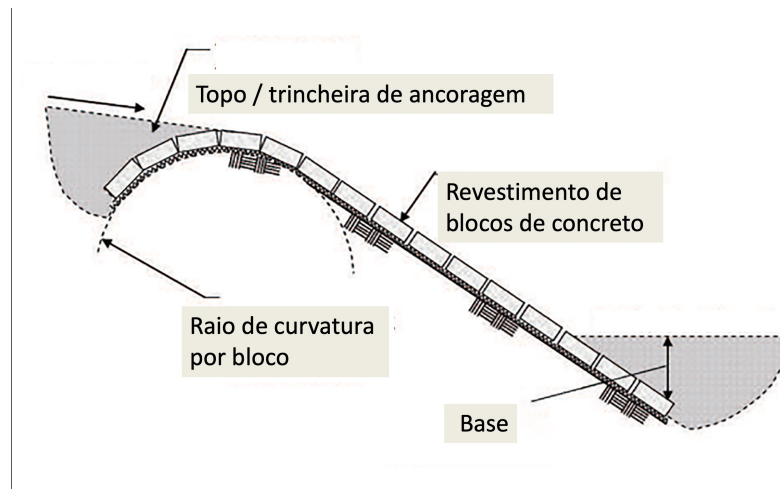


Fig. 8: Exemplo de sistema de blocos articulados de concreto. Fonte: URCA-PROURB – FAU-UFRJ, 2020.

O projeto propõe a reutilização de resíduos de construção para fabricar elementos de contenção – blocos e gabiões – das margens de lagoas e córregos. Visa também evitar, com o envolvimento das comunidades, a intensificação do aterramento das áreas de alagados. O processo requer coleta e trituração dos resíduos de construção depositados na área, além de estudo técnico da reciclagem (granulação, resistência) e fabricação de blocos e gabiões com o material, um dispositivo construtivo que não obstrui o escoamento e se adapta à geometria dos canais. A estabilização das margens também é indispensável para a fixação das saídas das galerias de drenagem de água pluvial que deságuam nos córregos.

É preciso considerar, porém, os possíveis impactos decorrentes da implantação de estruturas de controle de erosão nas margens de rios e córregos. Estruturas rígidas podem ter efeitos negativos, como a eliminação de irregularidades nas margens e nas variações da largura dos canais, limitação das mudanças geomórficas e da diversidade de habitats. O uso desses dispositivos estruturais deve, portanto, utilizar recursos da bioengenharia (biomantas, paredes vegetadas) e ser pontual, aplicado em trechos das margens, com o intuito de promover a consolidação geomorfológica da área.

As soluções convencionais de estabilização das margens de córregos, baseadas em estruturas rígidas, são artificiais e estáticas. Propostas: avaliar as soluções de engenharia utilizadas, definindo aquelas que devem ser implantadas em áreas de várzeas. Avaliar a tecnologia de reciclagem de resíduos da construção civil em função de sua aplicabilidade na contenção de margens. Desenvolver alternativas tecnológicas sustentáveis de drenagem, com princípios da bioengenharia, com aferições técnicas de seu desempenho em relação às estruturas rígidas da engenharia convencional. Testar a fabricação e instalação do sistema construtivo pelos moradores.

3.5 Calçadas permeáveis

O projeto propõe a instalação de calçadas permeáveis, feitas com piso intertravado, desenhadas e fabricadas localmente pelos moradores. A proposta visa incorporar o uso de materiais permeáveis como medidas auxiliares no manejo de águas pluviais. As calçadas podem ser acopladas às galerias de escoamento de águas pluviais, contribuindo para preservar o sistema de drenagem.

Há uma correlação entre o sistema de drenagem urbana e a degradação dos rios e córregos. O redesenho dos sistemas de drenagem, de modo a reduzir o escoamento superficial, em geral canalizado diretamente para os cursos d' água, pode contribuir para a conservação e restauração de ecossistemas fluviais degradados pela urbanização. O redesenho consiste em desviar o escoamento de águas pluviais por tubulações diretamente para os rios, promovendo medidas para aumentar a permeabilidade das superfícies urbanas.

Ao longo dos córregos, as calçadas permeáveis, além de contribuírem para mitigar os efeitos das enchentes, terão a importante função de ajudar a evitar o assoreamento causado pelo descarte de resíduos. Produzidas

com os moradores, as calçadas buscam configurar espaços públicos, áreas de pertencimento e convivência, à beira do córrego.



Fig. 9: Oficina de desenho das calçadas permeáveis no Jardim Pantanal, com Regina Silveira. Fonte: Projeto ZL Vórtice, 2017. Disponível em: <https://zlvortice.wordpress.com/>. Acesso em: 06 maio 2020

As calçadas são produzidas com piso intertravado em concreto, permeável e colorido. O design está sendo desenvolvido em conjunto com os moradores segundo proposta da artista Regina Silveira, conforme apresentado na Figura 9, com temas e padrões cromáticos escolhidos pela comunidade.

O desenvolvimento técnico das composições e do processo produtivo, incluindo as fôrmas, é feito pelo professor Rafael Pileggi, do LME-PoliUSP. As fôrmas são modeladas e fabricadas com polímeros plásticos, de modo a permitir a desmoldagem manual. Cada peça é preenchida por camadas de concreto e pigmento, de acordo com o desenho da calçada. A dosagem do concreto é um aspecto importante da tecnologia: ela garante o desempenho previsto do material e evita o uso excessivo de cimento. O acompanhamento dos insumos (a calibragem da receita da mistura) visa manter o desempenho do composto utilizado, assegurando os teores adequados. A técnica da pigmentação do concreto, por outro lado, deve garantir a constância cromática do piso.

O LME promoveu oficinas de moldagem dos elementos de concreto com os moradores do Jardim Pantanal, conforme apresenta a Figura 10. O LME pretendia, inicialmente, preparar previamente a mistura e levá-la pronta, para evitar o preparo inadequado do material, o que reduziria o papel da comunidade no desenvolvimento da tecnologia. As oficinas evidenciaram que é preciso capacitar tecnicamente os moradores e, ao mesmo tempo, incentivar o laboratório a contar com o aprimoramento das práticas locais.



Fig. 10: Oficinas de moldagem dos elementos de concreto com o LME, na PoliUSP e no Jardim Pantanal. Fonte: Projeto ZL Vórtice, 2018. Disponível em: <https://zlvortice.wordpress.com/>. Acesso em: 06 maio 2020

A calçada é concebida para contribuir para mitigar os efeitos de enchentes. Cada peça do piso é dividida por canaletas que servem para escoar a água de chuva, que deve se infiltrar no espaço entre elas até a base em que estão assentadas. Essa base é projetada para ser drenante: ela deve reduzir o empoçamento, permitindo a difusão radial da água no subsolo. A Figura 11 apresenta modelo em escala reduzida dos pisos, com canaletas e pigmentação.



Fig. 11: Fabricação de modelo-teste em escala reduzida do piso intertravado. Fonte: Projeto ZL Vórtice, 2018. Disponível em: <https://zlvortice.wordpress.com/>. Acesso em: 06 maio 2020.

Os pavimentos permeáveis possuem peças de concreto intertravadas, com múltiplas camadas que armazenam a água da chuva até sua infiltração no subsolo ou escoamento por tubos de drenagem. Ao permitir a infiltração de água, o pavimento permeável reduz o volume e o pico da vazão do escoamento superficial produzido por um evento de precipitação e funciona como um filtro, retendo os sedimentos presentes nas superfícies e assim reduzindo a carga de poluentes.

A implantação de pavimentos permeáveis em área de várzea deve considerar o nível do lençol freático em tempo de chuvas. Dentre os requisitos de projeto, a calçada concebida para a área de várzea deve levar em conta a capacidade de infiltração do solo, que tem influência no desempenho dos dispositivos de infiltração. Deve também considerar a fragilidade do solo à ação da água, visto que alguns tipos de solos podem perder suas características e sofrer desestruturação, e o local de destino para a descarga do volume regularizado de água, dado que pavimentos permeáveis devem possuir extravasores conectados à rede de microdrenagem e afluência com alta taxa de sedimentos e lixo, demandando manutenção e controle da fonte de poluição (MARCHIONI, SILVA, 2011).

No Brasil, não existem procedimentos especificados e testados para a implantação de calçamento em áreas de inundação, com riscos de colmatção e perda de permeabilidade. Propostas: desenvolver e testar as misturas cimentícias mais adequadas para a fabricação no local, pelos moradores, de pisos para calçadas; definir os requisitos técnicos (pigmentos adequados, modo de aplicação) para a coloração homogênea e resistente dos pisos; promover a capacitação técnica dos moradores para fazer a composição das misturas cimentícias no local, a fabricação dos pisos e a implantação das calçadas; desenvolver soluções de engenharia para a implantação de sistemas de pisos intertravados em áreas de várzeas, sujeitas a enchentes.

3.6 Monitoramento do rio, da qualidade da água e de depósitos de resíduos

O programa de educação ambiental e mobilização social, conduzido pelos professores Marcus Bastos e Renato Hildebrand, do Lab TIDD-PUC/SP, é composto por oficinas de formação, visando o monitoramento e a preservação das condições ambientais (BASTOS, 2013). As oficinas são dedicadas à medição do comportamento do rio e da qualidade da água, manutenção de córregos e canais de drenagem e reciclagem de resíduos.

A proposta consiste em desenvolver, com a comunidade, dispositivos que permitam aos moradores visualizar e prever alterações no comportamento do rio, fundamentais para uma maior adequação dessas ocupações à várzea. A Figura 12 mostra a realização de oficina na comunidade de montagem e teste de sensor de monitoramento do rio. O objetivo é engajar os moradores em práticas de acompanhamento e alerta de enchentes, e realizar o monitoramento da qualidade da água, requerido para os projetos de *wetlands* e de restauração ambiental. Trata-se, sobretudo, de criar uma cultura de preservação ambiental, em comunidades que têm relações conflituosas com o rio.

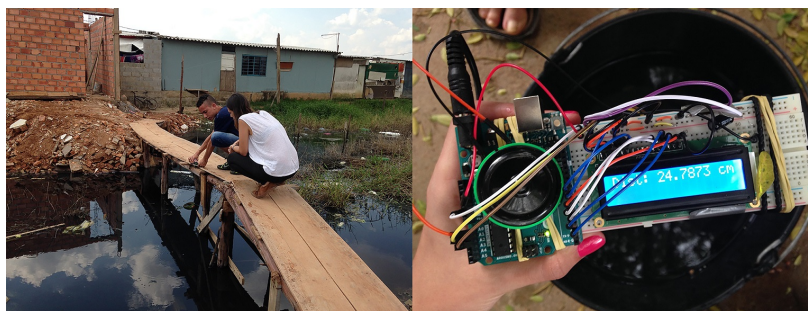


Fig. 12: Oficina no Jardim Lapenna de sensores para monitorar o nível do rio, no Jardim Lapenna. Fonte: Projeto ZL Vórtice, 2017. Disponível em: <https://zlvortice.wordpress.com/>. Acesso em: 06 maio 2020.

As oficinas devem usar kits Arduino para desenvolver sensores para medir o nível da água do rio e o afluxo de tubulações, visando alertar para a possibilidade de enchentes. É montado um sensor ultrassônico, que emite pulsos que medem a distância da água ao dispositivo, para monitorar alterações no nível das águas. Outro sensor, que mede a quantidade de água (litros por segundo) num escoamento, serve para indicar a vazão de nascentes e canos. Os sensores devem ser montados e testados no próprio local. A seguir, podem ser feitos testes em diferentes pontos nas margens do rio ou córrego, de modo a preparar a construção do dispositivo de medição. Por fim, são desenhados os dispositivos para fixar os sensores nos locais e preparado o monitoramento a ser feito pela comunidade.



Fig. 13: Oficina de sensores para medição da qualidade da água no Jardim Romano. Fonte: Projeto ZL Vórtice, 2017. Disponível em: <https://zlvortice.wordpress.com/>. Acesso em: 06 maio 2020.

Também são desenvolvidas ferramentas participativas de aferição da qualidade da água, indicando poluição por esgoto, lixo ou contaminação industrial, de modo a incentivar a participação dos moradores nos programas de monitoramento da qualidade da água e de restauro ambiental que estão sendo propostos. Essa oficina de monitoramento monta, com os moradores, sensores para medição ambiental de código aberto, conforme registrado na Figura 13. O procedimento consiste em amplificar sinais sobre a qualidade da água (pressão, temperatura, potencial hidrogênico, potencial de oxidação e condutividade elétrica) para criar uma cartografia digital georreferenciada, para visualização das medidas captadas ao longo do rio. O sensor mede a condutividade da água, indicando a presença de poluentes (metais, esgoto, fertilizantes). O dispositivo é calibrado e testado em canal de drenagem e em área de alagado.

Por fim, o programa promove a localização de botas-foras e pontos de acúmulo de lixo, utilizando plataforma digital. Ele visa mobilizar as comunidades a monitorar o descarte desordenado e intensificar a remoção de resíduos sólidos, muitas vezes lançados nos córregos e rio. É usado o aplicativo *Monitorando a Cidade*, desenvolvido em parceria com o MIT (Center for Civic Media), conforme apresentado na Figura 14. O aplicativo permite aos moradores, com um telefone celular, coletar dados sobre o local, como depósitos de lixo ou pontos de alagamento. As informações são reunidas numa plataforma *online*, que permite engajar a comunidade no acompanhamento da situação.

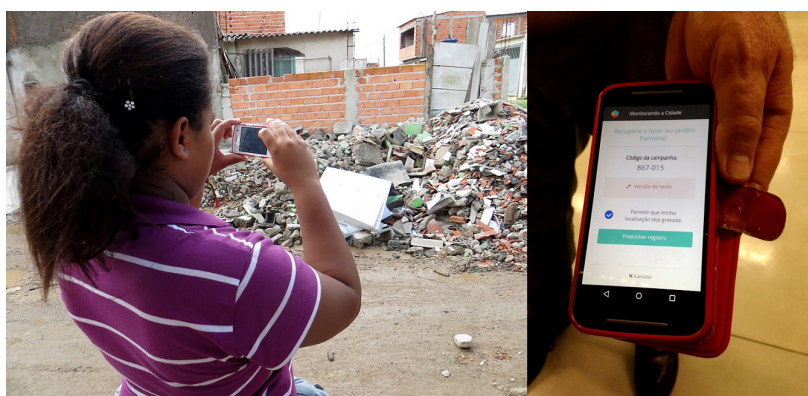


Fig. 14: Oficina de dispositivo de monitoramento de depósitos de resíduos no Jardim Helena. Fonte: Projeto ZL Vórtice, 2017. Disponível em: <https://zlvortice.wordpress.com/>. Acesso em: 06 maio 2020.

Os sistemas públicos de gestão urbana e ambiental, centralizados e de pouca acessibilidade, dificultam a participação social. Proposta: pesquisar a conversão de plataformas de prototipagem eletrônica de aplicativos em ferramentas simples, operacionais e de baixo custo para comunidades de periferia; verificar a eficiência do uso de sensores, montados e instalados pelos próprios moradores, para monitorar o sistema fluvial; avaliar a eficiência de sensores para medir a condutividade da água, identificando a presença de poluentes; desenvolver um aplicativo para monitoramento de lixo e localização de depósitos de resíduos de construção, com plataforma digital. As oficinas de montagem e instalação dos sensores atraíram moradores mais jovens, indicando que o restante da comunidade, cuja participação é essencial para a eficiência dos dispositivos, possa ter dificuldade no entendimento e manipulação da tecnologia.

Um diferencial fundamental do projeto ZL Vórtice é produzir localmente, em unidade de produção instalada na área, todos os componentes construtivos. Os blocos articulados e gabiões de material reciclado, as fôrmas em madeira e os módulos de concreto para galerias drenantes, os pisos intertravados permeáveis e coloridos e os sensores para monitoramento do rio e da qualidade da água serão formatados e fabricados pelos moradores, com a orientação dos laboratórios envolvidos. O equipamento de baixo custo, dispensando a utilização de maquinaria pesada, visa permitir que o trabalho seja realizado de modo sustentável pelas comunidades.

4 Considerações finais

O objetivo dos laboratórios de pesquisas financiados pelo ZL Vórtice é configurar um sistema integrado de manejo e tratamento de água para requalificação urbana e ambiental da planície meândrica do rio Tietê, no trecho leste de São Paulo. Isso implica propor projetos de reurbanização e restauro ambiental especificamente concebidos para situações críticas. O projeto busca um novo modelo de intervenção urbana, distinto dos procedimentos convencionais baseados em grandes obras que isolam o rio da cidade. São novas técnicas para o enfrentamento do desafio de urbanizar áreas de ocupação desordenada e recuperar o meio ambiente.

Essa estratégia demanda procedimentos metodológicos, modos de projetar e fazer, adequados a condições de grande desequilíbrio social e ambiental. É uma questão de método: encontrar soluções tecnológicas que sejam efetivas na mitigação dos impactos de eventos extremos e desenvolvidas em conjunto com as comunidades locais, de modo a assegurar sua implantação e manutenção. A viabilidade de projetos de restauro ambiental e urbanização com inovação tecnológica, em condições críticas como as várzeas nas periferias metropolitanas, é testada aqui.

Agradecimentos

Este artigo foi redigido a partir da proposta apresentada ao FEHIDRO (Fundo Estadual de Recursos Hídricos), elaborada em conjunto com Luiz Fernando Orsini Yazaki, ex-coordenador da Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH); Profa. Cleide Rodrigues, da Geografia – FFLCH-USP; Prof. Paulo Fonseca, da FAU-USP; Prof. Rafael Pileggi, da Escola Politécnica da USP; Profa. Marina Correia, do URCA-PROURB - Programa de Pós-Graduação em Urbanismo da FAU-UFRJ; Profa. Mariana Marchioni, do Politecnico di Milano, Itália; Prof. Marcus Bastos, do Curso de Pós-graduação em Tecnologias da Inteligência e Design Digital da PUC-SP e Alex Gonçalves, do Estúdio Laborg.

Referências

BASTOS, M. Sistema/ecos: uma experiência de laboratório compartilhado. **Anais do 12º Encontro Internacional de Arte e Tecnologia**, UnB, Brasília, 2013.

PEIXOTO, N. B. O rio, a inundação e a cidade A várzea do Tietê como situação crítica. **Estudos Avançados**, [s.l.], v. 31, n. 91, p. 157-170, dez. 2017.

MOSTAFAVI, M.; DOHERTY, G.; CORREIA, M.; VALENZUELA, L.; DURÁN CALISTO, A. (ed.). **Urbanismo ecológico na América Latina**. GSD Harvard University – Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2019.

FONSECA DE CAMPOS, P. **Da argamassa armada ao microconcreto de alto desempenho**. Perspectivas de desenvolvimento para a pré-fabricação leve. São Paulo: Novas Edições Acadêmicas. 2014.

LATOUR, B. Referência circulante. Amostragem do solo da Floresta Amazônica. *In: A esperança de Pandora*. São Paulo: Editora UNESP, 2017.

MARCHIONI, M.; SILVA, C. O. **Pavimento Intertravado Permeável** – Melhores Práticas. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), 2011.

ORSINI YAZAKI, L.; KAHTOUNI, S. Córrego Barreiro - Configuração paisagística e modelagem hidráulica: Uma experiência multidisciplinar. **Revista LabVerde**, FAUUSP. São Paulo: 1, 2010.

RODRIGUES, C. Atributos ambientais no ordenamento territorial urbano: o exemplo das planícies fluviais na metrópole de São Paulo. **Geosp - Espaço e Tempo**. São Paulo: v. 19, n. 2, p. 325-348, ago. 2015.
