

# PROJETO DE PESQUISA E PLANO DE TRABALHO PARA REALIZAÇÃO DE PÓS-DOUTORADO NO PEU/POLI/UFRJ

## **Tema de Pesquisa: Modelagem Digital de Áreas Urbanas empregando Geotecnologias: Estudo de Caso para a Sub-Bacia da Lagoa Rodrigo de Freitas, Município do Rio de Janeiro**

Proponente: Fernando Rodrigues Lima

Supervisor: Armando Carlos de Pina Filho

*Laboratório vinculado: SIGEurb - Laboratório de Sistemas de Informação Geográfica Aplicados à Engenharia Urbana*

*[www.sigeurb.poli.ufrj.br](http://www.sigeurb.poli.ufrj.br)*

### **Introdução**

As geotecnologias estão cada vez mais presentes na gestão das questões urbanas e ambientais, agregando assim maior eficiência às análises de eventos e aos processos de tomada de decisão (CEREDA Jr., 2017a). Na última década ocorreu uma crescente evolução das bases de dados georeferenciados e do potencial das novas ferramentas SIG (Sistemas de Informação Geográfica). Os dados e recursos gerados por este salto tecnológico agora oferecem um campo inovador para a pesquisa aplicada, mas com a ressalva de que a qualidade do resultado depende da confiabilidade dos dados de entrada e do correto desenvolvimento das metodologias que irão produzi-lo.

Na década passada, firmou-se o conceito de Sustentabilidade, e na década atual, graças ao recente e rápido avanço dos meios de comunicação e de processamento digital, caminha-se agora para a consolidação do conceito de “*Smart Cities*” (Cidades Inteligentes). O principal fundamento de uma Cidade Inteligente consiste em colocar Gestão Pública, Tecnologia, Sociedade e Empreendedorismo numa dinâmica de iniciativas e parcerias cada vez mais inclusivas (SCHAFFERS et al., 2011), fortalecidas pelas inovações obtidas em compartilhamentos, produtos e serviços (IOT- “*Internet of Things*”).

As geotecnologias se inserem neste contexto, pois permitem através de modelos multi-temáticos visualizar, simular, avaliar e decidir sobre a cidade e suas interações. Com apoio deste ferramental SIG os agentes e colaboradores em “*Smart Cities*” podem explorar os vários níveis de inteligência (colaborativa, cognitiva e instrumental) embutidos neste conceito (KOMMINOS, 2014) e aprimorar serviços, interpretar relações causa-efeito, construir cenários e propor ações que envolvam a infra-estrutura urbana e as suas dimensões ambientais, sociológicas, culturais e econômicas (TOWNSEND et al., 2011). É o que podemos chamar de “*Geografia das Coisas*”.

A qualidade da modelagem digital dos elementos e eventos que compõem o dia a dia das cidades torna-se então requisito primordial para o sucesso na geração de “*strat-ups*” e “*spin-offs*”, empreendimentos visando à criação e à alavancagem de processos inovadores que podem melhorar a vida do cidadão (KOMMINOS, 2014). Um bom exemplo são os recentes aplicativos em mobilidade, como serviços de disponibilização de carro com motoristas, bicicletas e patinetes que usam informação geográfica e algoritmos para gerenciar a disponibilidade do serviço, seu custo e seu tempo.

No entanto, nenhum modelo consegue ser eficaz para implantar ações em “*Smart Cities*” caso seus dados de entrada não permitam reproduzir a realidade dentro de parâmetros operacionais e confiáveis. É necessário que a modelagem produza não só uma boa aderência aos processos de análise técnica, como também garanta a funcionalidade dos resultados a serem obtidos.

Dentro desta premissa, nossa proposta de pós-doutorado intenciona focar na qualidade e aplicabilidade do dado digital georeferenciado voltado para o estudo de questões urbanas, explorando

em uma plataforma SIG as possibilidades da modelagem virtual 3D e da análise espacial e estatística de eventos, o que vai ao encontro do conceito de Inteligência Geográfica (CEREDA Jr., 2017a).

Para tanto, foi definido um primeiro recorte envolvendo estudo de eventos de chuvas severas na escala municipal e local (sub-bacia). Em razão da alta resolução dos dados de terreno (fator limitante para processamento em SIG e computador desktop), das possibilidades de observação em campo, da obtenção de dados digitais e dos canais já criados para discussão técnica, foi definido um segundo recorte: a área de influencia de um fluxo hídrico que apresenta em seu histórico reais necessidades de intervenção (Rio dos Macacos). Esta região também merece destaque por abranger relevo e uso de solo bem diversificados, contendo áreas de interesse ambiental, áreas turísticas, áreas residenciais, áreas de lazer, eixos viários grande de importância e sistemas de hidrografia e drenagem associados (Figura 1).



Figura 1- Imagem de satélite da região do Rio dos Macacos e seus afluentes. Fonte: Autor

Devido à nossa metodologia levar em conta uma abordagem multidisciplinar, abrangendo os aspectos acima citados, os resultados a serem obtidos poderão vir a ser utilizados como *input* em outros sistemas mais complexos para previsão, monitoramento e gestão destes eventos. Pretendemos também que esta metodologia possa ser replicada em outros sítios, e assim contribuir de forma efetiva para as políticas públicas e as ações em gestão de riscos e logística emergencial.

## Metodologia

No caso específico desta pesquisa, serão organizadas e editadas informações georeferenciadas multi-temáticas, e elaboradas análises relacionadas ao estudo dos impactos de chuvas extremas, o que no Rio de Janeiro vem causando a perda de vidas e prejuízos afetando a mobilidade, a habitação e a economia em geral. Ao mesmo tempo, tais eventos desafiam os gestores públicos na solução ou mitigação destes problemas, colocando na pauta um gabinete de gestão de riscos que necessita do máximo de informações adequadamente processadas para suas tomadas de decisão.

Evento recente ocorrido em abril de 2019 (Figura 2) atingiu na Zona Sul cerca de 320mm em 24hs, e deixou pessoas isoladas durante toda a noite, danificou vias e edificações, prejudicou o deslocamento das equipes de atendimento, e soterrou vítimas em encostas muito próximas. Ultimamente este tipo de

evento tem sido recorrente em pelo menos 3 a 4 episódios ao ano, sempre que as chuvas atingem volumes pluviométricos acima de 60mm por 3 horas.

**Índices Pluviométricos 24hs em 09/04/2019**  
**Fonte: Alerta Rio**

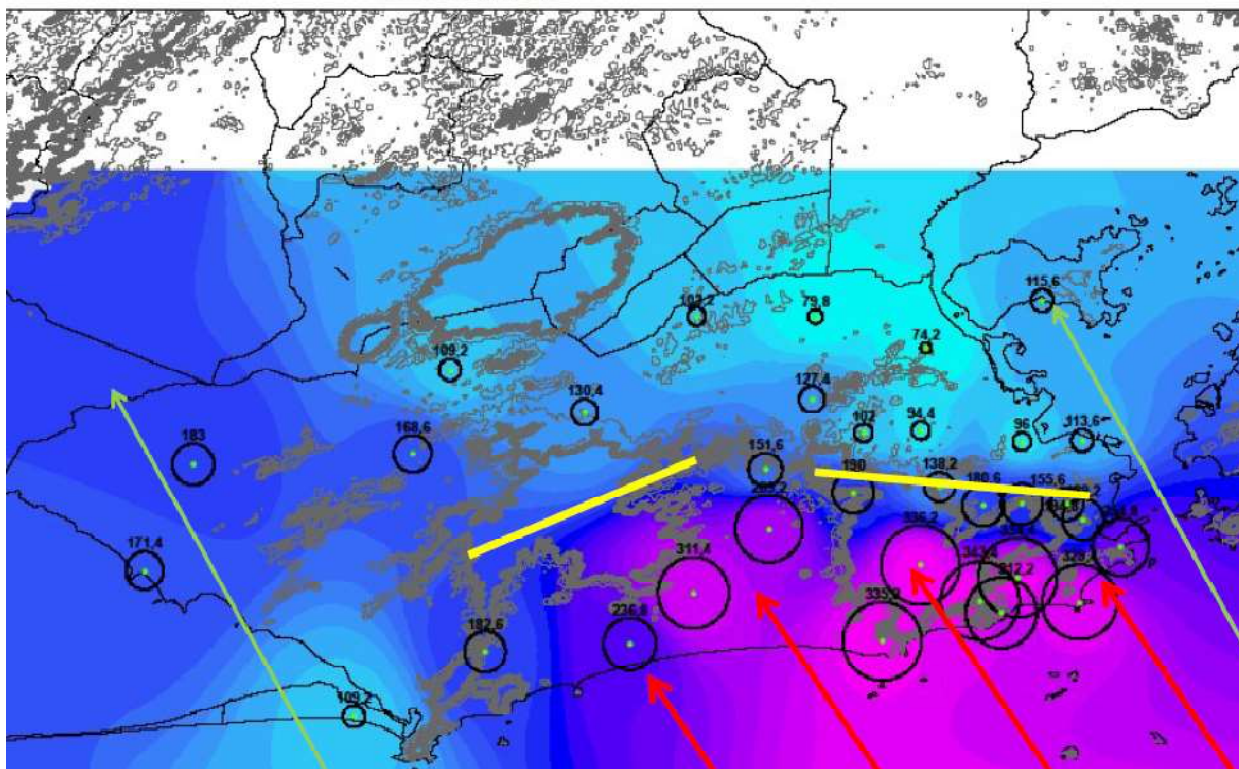


Figura 2- Pluviometria na sub-bacia da Lagoa registrou em 24hs índices superiores a 320mm (cor magenta), interpolação realizada no software ArcGIS por método IDW a partir de dados coletados no Alerta Rio. Fonte: Autor

Por outro lado, a parceria de 8 anos que já temos com a Université de Technologie de Compiegne (UTC) na área de Engenharia Urbana, especialmente com o prof. Gilles Morel, professor e pesquisador especialista em controle de cheias e gestão de riscos, confere também uma dimensão de internacionalização a esta nossa proposta. O prof. Gilles Morel já participou com o PEU/POLI/UFRJ de uma série de projetos de pesquisa financiados pela CAPES, como o BRAFITEC e o PVE, e na França foi responsável por projetos com o CETMEF, órgão do equivalente ao Ministério do Meio Ambiente local ligado a estudos marítimos e fluviais.

Dentre seus trabalhos mais relevantes, estão a plataforma OSIRIS- Inondation (MOREL et al., 2009), e vários outros estudos em áreas inundáveis costeiras e fluviais (MOREL et AL., 2011) (JIA et al., 2016), dentre os quais ressaltamos os elaborados para o porto de Le Havre, a região do vale de Bordeaux e o vale do Rio Oise. Trata-se, portanto, de uma forte referência metodológica e um colaborador muito importante para esta pesquisa.

No entanto, os padrões de clima e chuvas, o uso do solo, a gestão pública e as características de morfologia urbana da França diferem bastante das do Brasil, ofertando uma oportunidade impar para ambos os pesquisadores verificarem como os métodos e técnicas lá empregados poderiam ser ajustados para a nossa realidade.

Conforme já mencionado, escolhemos como sitio do estudo a sub-bacia da Lagoa Rodrigo de Freitas, e mais detalhadamente os fluxos hídricos que são direcionados ao Rio dos Macacos (Figura 3). A área coberta por estes fluxos alcança mais de 7km<sup>2</sup>, quase 4 vezes a do espelho d'água da Lagoa (cerca de 2km<sup>2</sup>). Com dados preliminares já construímos um Modelo Digital de Terreno (MDT) piloto para determinação de topografia, fluxos hídricos, inclinações e orientações de declividade, cujo resultado já compõem o fundo das figuras 2,3 e 5.

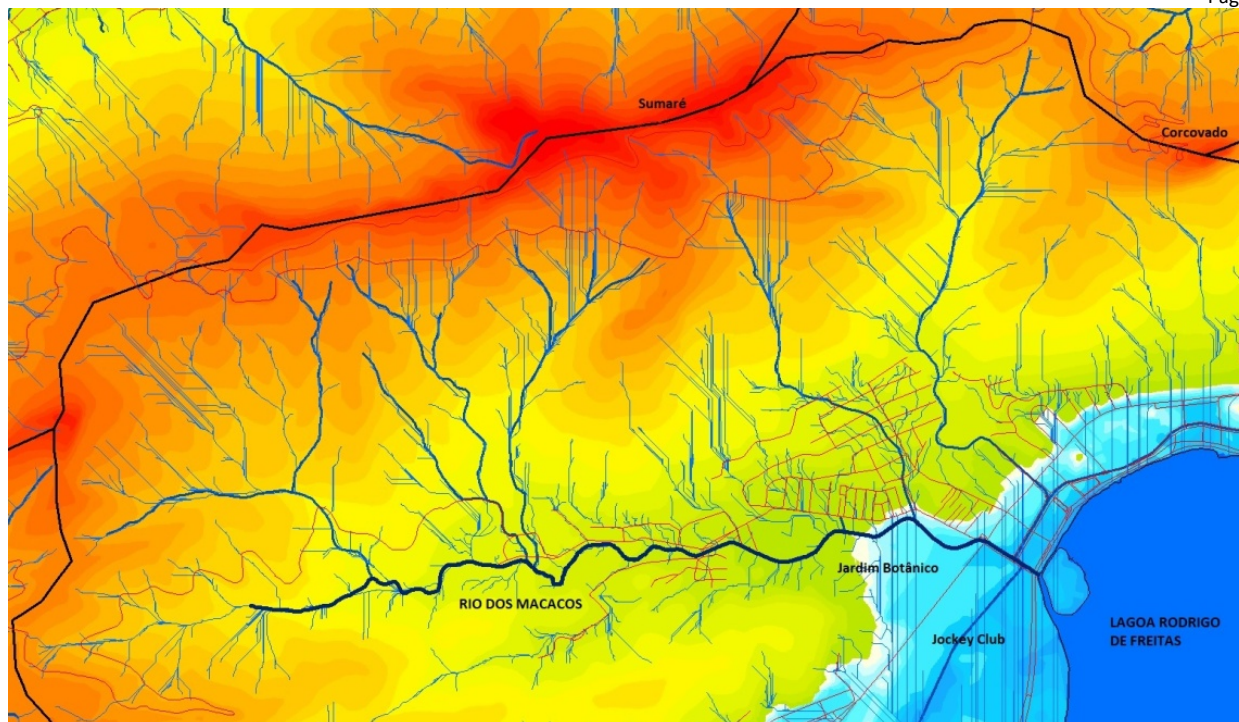


Figura 3- Hidrografia e modelagem de fluxos do Rio dos Macacos, empregando o software ArcGIS. Fonte: Autor

O problema maior na produção de cheias neste sítio ocorre na desembocadura do Rio dos Macacos, que devido às baixas cotas em torno dos canais que o conduzem à Lagoa e ao Oceano, quase sempre propaga a inundação para áreas vizinhas. Na imagem da hidrografia completa da sub-bacia da Lagoa (Figuras 4 e 5) podemos observar que a eficiência da drenagem de seu fluxo também depende da interação com outros fatores, como nível da água já acumulado na Lagoa Rodrigo de Freitas por chuvas anteriores, ou efeitos da maré alta e/ou ressacas na desembocadura dos canais onde este deságua.

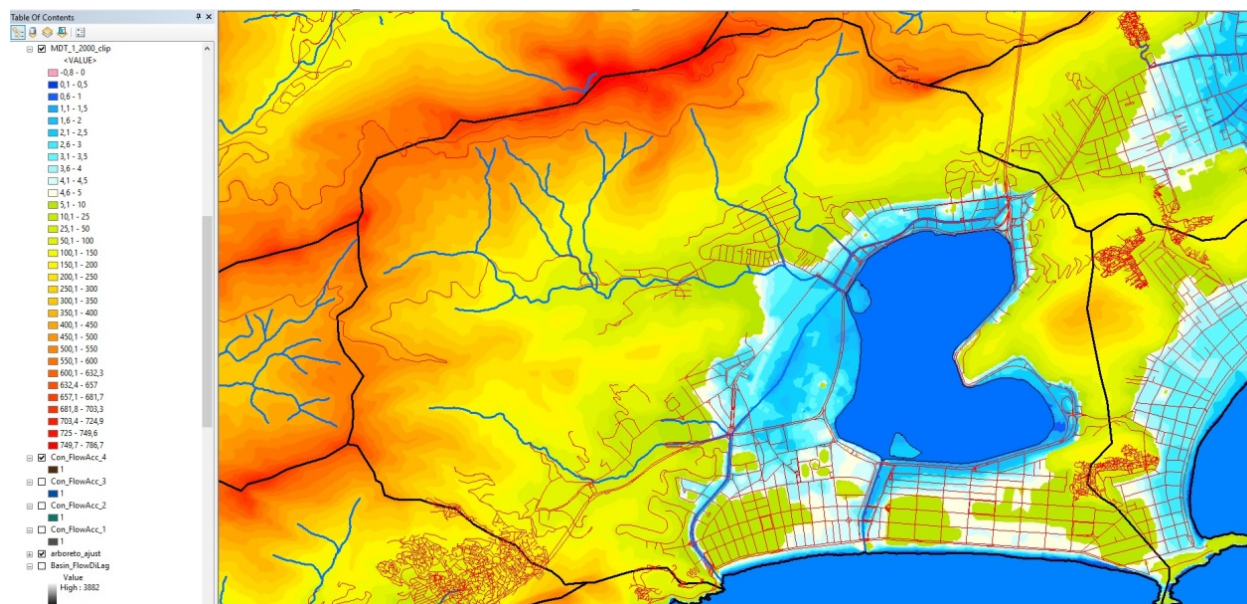


Figura 4- Hidrografia e Modelo Digital de Terreno da sub-bacia da Lagoa Rodrigo de Freitas, visualizada no software ArcGIS. Fonte: Autor

Estes canais formam um sistema de drenagem construído no início do século passado (insuficientes para os dias atuais), permeado por comportas e pontilhões que dificultam ainda mais a vazão (Figura 5). O ponto crítico está onde o Rio dos Macacos deveria originalmente desembocar na Lagoa, mas a continuidade de seu fluxo depende da decisão de abertura de uma comporta específica (ponto crítico)

nas emergências. Caso isto não ocorra, o fluxo é direcionado para um extenso canal paralelo à orla oeste da Lagoa, que percorre quase 3 km de terreno plano até desembocar no mar.

Outro canal para aliviar o alto nível da Lagoa para o Oceano está situado entre os bairros de Ipanema e Leblon, também possui uma comporta, mas encontra-se quase sempre bloqueado pela areia da praia ou assoreado. Estudos anteriores também propõem a substituição das comportas por sifões (MIGUEZ et al., 2012), garantindo assim que a passagem da água só ocorreria quando as chuvas fortes causassem um diferencial de pressão e altura, eliminando o problema da eventual abertura das comportas depender da ação humana ou autômata, e também evitando os assoreamentos.



Figura 5- Sistema de canais da Lagoa Rodrigo de Freitas. Fontes Autor e Atlas do 4º centenário de Cidade do Rio de Janeiro

A figura 6 mostra uma elaboração preliminar da simulação destes fluxos a partir de dados originais fornecidos pela prefeitura do Rio de Janeiro. Nela e nas figuras 3 e 4 anteriores as áreas inundáveis até a cota 5 metros estão marcadas em tons de azul, e pode-se observar que a maioria delas se sobrepõe às áreas tomadas ao espelho original da Lagoa nos últimos séculos.

Pode-se também notar que a simulação gerou fluxos paralelos e muito próximos entre si nestas áreas, dificultando a interpretação, o que indica que as mesmas possuem variações de cota muito pequenas que não foram devidamente expressas e indicando a necessidade de refinamento da modelagem hídrica. Por outro lado, tal resultado permite inferir que os dados de entrada necessitam de

ser reestudados e eventualmente alterados, assim com deve-se aprimorar a técnica empregada na modelagem de terreno.

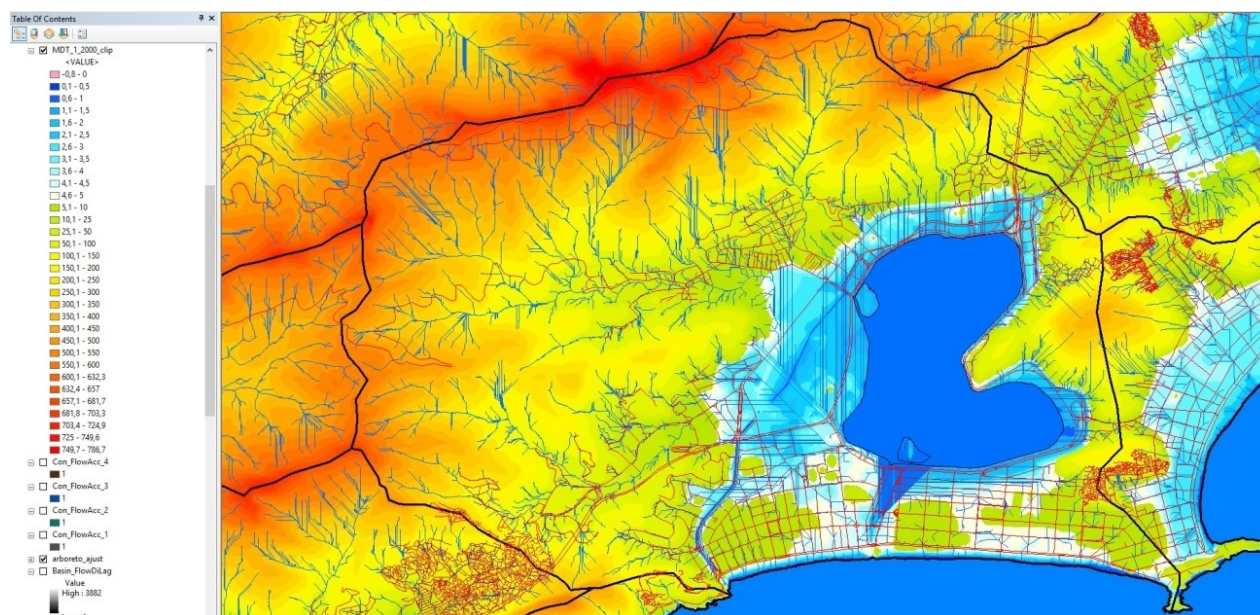


Figura 6- Simulação de fluxos da sub-bacia da Lagoa, empregando o software ArcGIS. Fonte: Autor

Um excelente estudo desta mesma região foi elaborado empregando o software MODCEL (MIGUEZ et al., 2012), através de uma modelagem matemática que emprega o conceito de células de escoamento para calcular as vazões e fluxos hídricos, e assim determinar por simulação os níveis de inundação esperados em diversos cenários propostos pelos autores. Nesta nossa pesquisa pretende-se interagir com o MODCEL de forma a refinar os dados de pré e pós-processamento, agregando informações geográficas mais atualizadas, propondo novos arranjos de células e elaborando estudos de logística emergencial a partir das áreas inundadas obtidas na simulação de diversos cenários.



Figura 7- Simulação de áreas de inundação obtidas no MODCEL. Fonte: MIGUEZ et AL., 2012

## Resultados esperados

O Modelo Digital de Terreno (MDT) fornecido pelos órgãos públicos ainda não contempla todas as situações pontuais de interações entre calhas de vias, relevo, hidrografia e construções, e por este motivo demanda uma avaliação preliminar e interpretativa, visando alterar ou introduzir novos elementos para que se chegue o mais próximo possível dos fluxos que efetivamente ocorreriam. Também não há ainda para o Rio de Janeiro estudos que correlacionem resultados de uma modelagem de chuvas com fatores econômicos, sociais e demográficos, o que seria muito importante para definir prioridades e cronogramas na logística emergencial.

O nosso estudo pretende correlacionar dados temáticos através de análises espaciais, como pluviometria, relevo, mobilidade, segurança, uso de solo, antropia e demografia. Os dados a serem estudados tratam principalmente da modelagem tridimensional e emprego de técnicas de análise estatística e espacial, direcionadas para a investigação dos eventos de chuvas severas, e assim identificar suas interações com hidrografia, sistema viário, demografia e sistema de drenagem.

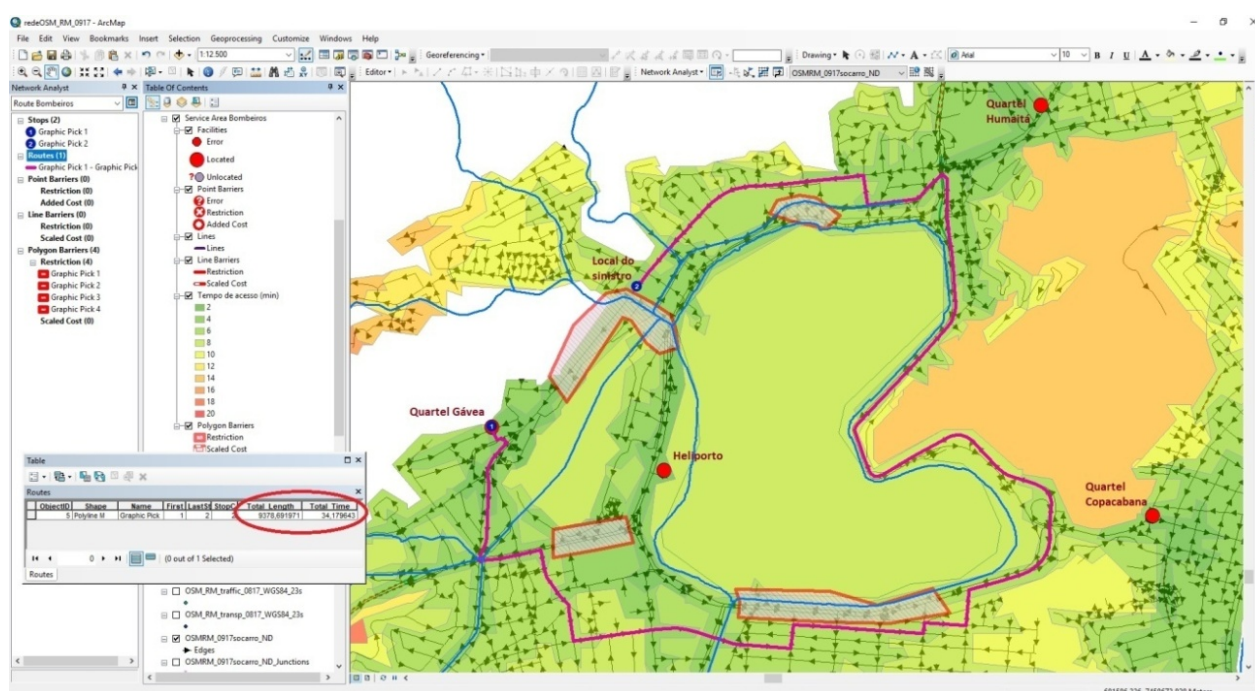


Figura 8- Simulação de rotas e áreas de atendimento, empregando o Network Analyst do software ArcGIS. Fonte: Autor

Na figura 8 mostramos um exemplo de protótipo Rede de Deslocamento Viário que desenvolvemos em escala piloto com o Network Analyst do software ArcGIS, fornecendo um resultado intermediário possível de ser obtido, e depois eventualmente ser implementado em maior escala pelos agentes públicos e privados. Trata-se da simulação de rota de atendimento de um quartel do Corpo de Bombeiros na área da Lagoa a um evento de sinistro durante uma chuva severa, rota esta alterada devido ao alagamento de algumas vias (dado a ser refinado pelo output do MODCEL). No fundo da imagem, uma escala cromática mostra uma simulação de tempo de acesso dos vários quartéis vizinhos, para que se tenha uma idéia da gama das coberturas de cada um.

Nesta Rede também podem ser calculados o tempo de deslocamento e a distancia percorrida (oval vermelha), e criados polígonos de áreas inundadas (borda vermelha e interior hachureado) para simular as restrições à mobilidade de veículos. No caso acima o quartel mais próximo (1) tornou-se o de mais difícil deslocamento para o ponto em questão (2) com relação aos demais da região. Importante frisar que a obtenção de dados como o acima exemplificado (rotas e coberturas) pode alimentar outras novas análises espaciais e estatísticas, originando mais dados temáticos e simulações.

Com estas várias análises a serem executadas, pretende-se diagnosticar quais fatores são relevantes para a modelagem do problema em questão, prever a dimensão de alguns impactos para a cidade e seus habitantes, prospectar a evolução das conseqüências destes eventos dentro de janelas de tempo, e planejar melhor o retorno à normalidade.

Importante aqui ressaltar que existem muitas tipologias de chuvas severas que assolam o Rio de Janeiro, variando em sazonalidade, origem, direção, duração e volume precipitado. Algumas são acompanhadas de elementos de risco adicionais, como fortes ventos, raios e granizo, e isto também tem de ser considerado em nosso estudo, pois as quedas de árvores, fiações, pontes, etc, podem agravar a situação para além da inundação.

O resultado final esperado é uma base de dados georeferenciados com informações multi-temáticas sobre o impacto dos mais diversos tipos de eventos com chuva severa, contendo modelos e simulações para identificação das conseqüências e riscos, e assim dando mais um suporte à previsão de conseqüências e ao planejamento da logística emergencial.

Como exemplo destes possíveis resultados, o mapa a seguir (Figura 8) mostra uma simulação que também desenvolvemos em escala piloto do que seriam as prioridades de atendimento à população em eventos de chuvas fortes (no caso evento de 09/04/ 2019), levando em conta a faixa de renda média, a severidade dos indicadores pluviométricos e o grau de urbanização (cor azul a prioridade máxima, cor laranja a mínima).

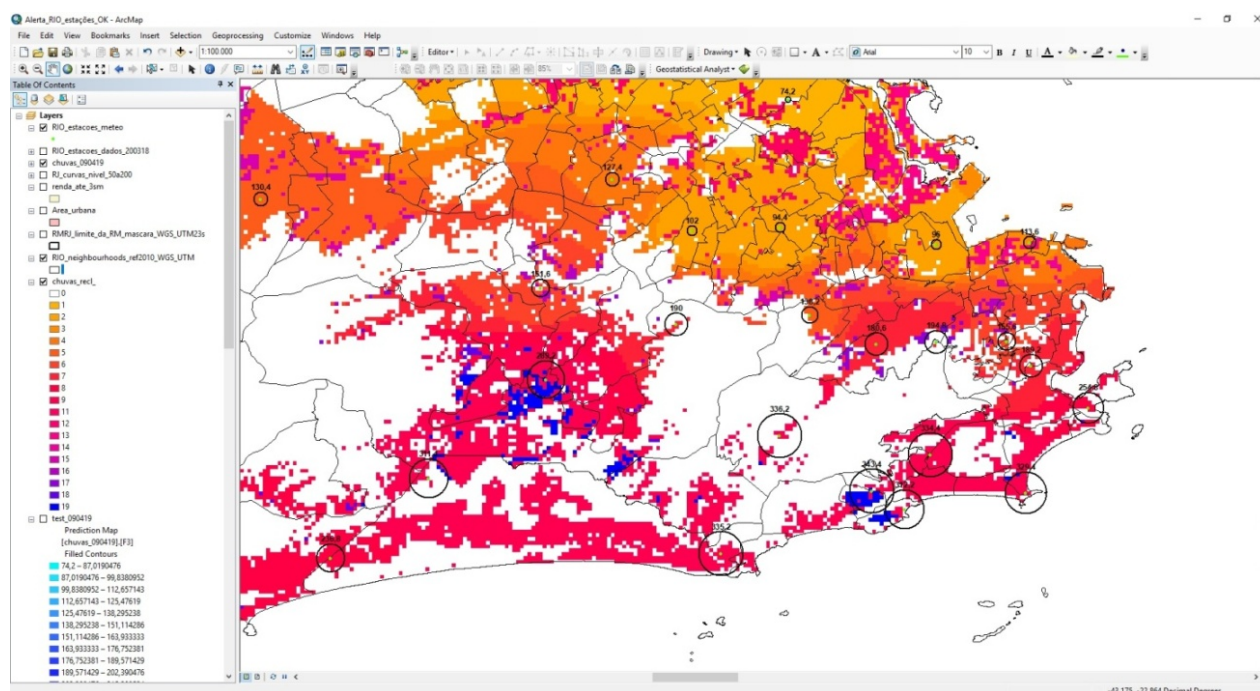


Figura 8- Simulação de prioridades no atendimento de logística emergencial. Fonte: Autor

Importante também ressaltar que nossa proposta está sendo efetivada de modo integrado com o outro Programa da POLI, o PEA. No sentido de obter os resultados aqui propostos, já estamos interagindo com outros dois pós-doutorandos que dominam a operacionalização do MODCEL, sendo que um deles participou de uma modelagem desta mesma região da Bacia do Rio dos Macacos, documentada no artigo aqui já citado (MIGUEZ et al., 2012).



## Bibliografia

CEREDA Jr., Abimael. A Inteligência Geográfica e a Transformação Digital: competências básicas na Gestão do Território alavancando oportunidades profissionais. **Revista Digital de Engenharia da APEAESP** n. 1, 2017. Disponível em: <https://geografiadascoisas.com.br/artigos/a-inteligencia-geografica-conceitos-e-aplicacoes/>  
Acesso em: 20 jun. 2019

CEREDA Jr, Abimael. Gestão de Políticas Públicas e as (geo)Tecnologias: porque NÃO falar de Geoprocessamento. **Revista Digital de Engenharia da APEAESP**, no. 4; 2017. Disponível em: <https://geografiadascoisas.com.br/artigos/gestao-de-politicas-publicas-e-as-geotecnologias-porque-nao-falar-de-geoprocessamento/>  
Acesso em: 18 jun. 2019

JIA, Xiaojuan; MOREL, Gilles; MARTELL FLORES, Hipolito; HISSEL, Francois ; BATOZ, Jean-Louis. Fuzzy logic based decision support for mass evacuations of cities prone to coastal or river floods. In **Environmental Modelling and Software** 85:1-10 · Novembro 2016. DOI: [10.1016/j.envsoft.2016.07.018](https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.07.018)

KOMNINOS, N. Intelligent cities: Variable geometries of spatial intelligence. **Journal of Intelligent Building International**, Vol. 3, pp. 1-17. 2011. Disponível em: [http://www.academia.edu/4952076/Intelligent\\_cities\\_Variable\\_geometries\\_of\\_spatial\\_intelligence](http://www.academia.edu/4952076/Intelligent_cities_Variable_geometries_of_spatial_intelligence)>. Acesso em: 15 jun. 2019.

MIGUEZ, Marcelo G.; REZENDE, Oswaldo, VEROL, Aline P. Interações entre o Rio dos Macacos e a Lagoa Rodrigo de Freitas sob a ótica dos problemas de drenagem urbana e ações integradas de revitalização ambiental. **Oecologia Australis** 16(3): 615-650, Setembro 2012. <http://dx.doi.org/10.4257/oeco.2012.1603.16>

MOREL, Gilles; HISSEL, Francois; AUNAY Sylvain; DÉMOTIER Sabrina. OSIRIS-Multirisques : une méthode et un outil d'aide à la décision pour les communes soumises aux risques majeurs. **Cybergeo – European Journal of Geography** - 466 , 2009. Disponível em <https://journals.openedition.org/cybergeo/22447?lang=en> Acesso em: 15 jun. 2019.

MOREL, Gilles; HISSEL, Francois. **The impact of flooding on transport networks: optimization of action plans in a decision support tool**. vol 133, 215-226. 10.2495/ FRIAR100191. 2010

MOREL, Gilles; JIA, Xiaojuan HISSEL, Francois. Support for preventive mass evacuation planning in urban areas. 2011IET Conference Publications. 2011. 1-7. 10.1049/cp.2011.0277.

DOI: 10.1049/cp.2011.0277 Conference: Smart and Sustainable City (ICSSC 2011)

SCHAFFERS, H., K, *et. al.*, **Smart Cities and the Future Internet: Towards Cooperation Frameworks for Open Innovation**, Future Internet Assembly, 2011.

TOWNSEND A, MAGUIRE R, LIEBHOLD M and CRAWFORD M **A Planet of Civic Laboratories: the Future of Cities, Information, and Inclusion**. Institute for the Future (ITF), Palo Alto, CA, USA. 2011. Disponível em: <http://www.iftf.org/our-work/globallandscape/cities/the-future-of-cities-information-and-inclusion/> Acesso em: 05 nov. 2018).

## Publicações e produtos esperados:

- Artigo em periódico de impacto JCR acima de 0,50, estrato A ou B na área de Engenharias I da CAPES.
- Base de dados em formato geodatabase, Sistema de coordenadas projetadas SIRGAS2000 UTM23s
- Galeria de mapas temáticos na plataforma ArcGis OnLine