

A research initiative on the use of Geodesign for public health in South America: An innovative approach

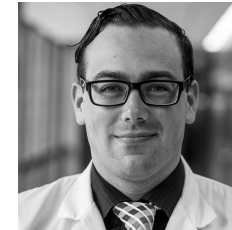
Uma iniciativa de pesquisa no uso do Geodesign para saúde pública na América do Sul: uma abordagem inovadora

This study aims to explore and evaluate, with the support of Geodesign, a model for Visceral Leishmaniasis (VL) in the Pontal do Paranapanema (PP) region of Brazil. We created a framework through assessment analysis, with the layers: entomological, VL reports, socioeconomic and environmental variables. The data analysis was crafted using a GIS to evaluate 53 municipalities. VL was associated with the presence of *Lutzomyia longipalpis* and both displayed expansion into the southeast; an association with land surface temperature in the hottest and driest areas as well as modified vegetation and roads. This is an innovative approach since it considers, with the support of technology, the collective construction of the space and time in which dynamic changes of epidemiologic determinants occur.

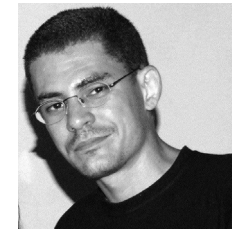
*O estudo objetiva explorar e avaliar um modelo de Leishmaniose Visceral (LV) na região do Pontal do Paranapanema (PP), Brasil, com o apoio do Geodesign. Criamos um framework Geodesign até a etapa de avaliação com as camadas temáticas entomológicas, socioeconômicas, ambientais e registros de LV. A análise dos dados foi elaborada utilizando um SIG para avaliar 53 municípios. A LV foi associada à presença de *Lutzomyia longipalpis* e ambas apresentaram expansão para o sudeste; uma associação da temperatura de superfície em áreas mais quentes e secas, bem como vegetação modificada e construção de estradas. É uma abordagem inovadora, pois considera, com o apoio da tecnologia, a construção coletiva do espaço e do tempo em que ocorrem dinâmicas mudanças dos determinantes epidemiológicos.*



Elivelton da Silva Fonseca
Full time faculty at the University of Western Sao Paulo. Currently is developing Research internship at the School of Veterinary Medicine, LSU, Baton Rouge, developing novel technologies for understanding of risk factors in the visceral leishmaniasis transmission. Also, visiting scholar at the Marshal Space Flight Center, NASA, Huntsville AL. .



Ryan Harry Avery
My research is focused on the soil-transmitted helminths *Ascaris lumbricoides*, *Trichuris trichiura*, and hookworm, and using geospatial modelling to predict infection risk factors for in communities. I have worked extensively in Brazil, collaborating with researchers there to create a surveillance and response system for the city Feira de Santana.



Vladimir Diniz Vieira Ramos
Masters degree at the Federal University of Minas Gerais. Has experience in the area of Geography, with emphasis in Geoprocessing, working mainly in the following subjects: geoprocessing, cartography, Urban Planning and Environmental Analysis. He currently works in the private sector as a professional in the area of geoprocessing.

Keywords:

Geodesign, GIS, Public Health, Visceral Leishmaniasis, Regional Development

Palavras-chave:

Geodesign, SIG; Saúde Pública; Leishmaniose Visceral; Desenvolvimento Regional

1. INTRODUCTION

There is an abundance of literature that uses spatial analysis layers to craft disease control programs. These studies have made use of both temporal and geographical space to provide an enhanced understanding of various diseases and their Public Health (PH) issues (Barbosa, Belo, Rangel, & Werneck, 2014; Brooker & Utzinger, 2007; D'Andrea et al., 2015; Fonseca ES, D'Andrea LAZ, Taniguchi HH, Hiramoto RM, Tolezano JE, 2014; Hay et al., 2013; Murray et al., 2012; Peterson, 2006).

The techniques proposed in this paper will enable PH decision makers to better organize information produced by a planning support system, and use this to improve both the organizational structure of the regional landscape and the impact a set of actions will have.

Geodesign enables researchers to more readily understand surveillance and response systems (S. Ervin, 2012). The classic Geodesign plan for PH has been constructed based on chronic diseases, such as diabetes and heart disease, which are affected by physical inactivity (Basra, Fabian, Holberger, French, & Levy, 2017; Hinckson et al., 2017; Pratt, Are, & Communities, 2011; Turrell, Hewitt, Haynes, Nathan, & Giles-corti, 2014), and have used participatory approaches to surveillance (Meyers, Ozonoff, Baruwal, Pande, & Harsha, 2016). This classic design also focused on reducing medical service disparities within community-health surveillance systems (Davenhall, 2010).

The innovative approach our study proposes will be to focus on infectious diseases, as opposed to chronic diseases, because of their major impact on PH budgets in South America. Previous work conducted using Geodesign in the Swiss Limattal Region (Wissen Hayek, von Wirth, Neuenschwander, & Grêt-Regamey, 2016), Willamette Valley, Oregon (Hulse et al., 2016), and Wulingyuan National Scenic Area, China (Huang & Zhou, 2016) has demonstrated that it can be used for a regional decision plan. This paper outlines an excellent opportunity to test our hypothesis that Geodesign can be utilized to aid in determining the impact of visceral leishmaniasis (VL) on a regional scale in Brazil. This in turn will enable a greater understanding of the effects of disease control actions.

This study proposes using a prototype surveillance system that incorporates Geodesign approaches based on the epidemiological status of the 53 cities that comprises Pontal do Paranapanema, the western region of São Paulo state, Brazil. This region was chosen because it allows for the observation of VL transmission cycles. The aims are to explore and evaluate, with the support of Geodesign, a potential VL distribution model in the Pontal do Paranapanema region, using both socioeconomic and environmental variables. The Geodesign framework was performed through assessment analysis; this analysis consisted of mapping the most influential context variables in the study area and identifying areas of potential transmission based on a time series. This was then compared to areas that had low potential for VL transmission. The final result is a regional process analysis Geodesign that can contribute to improving PH policy decisions.

2. BACKGROUND

Despite the existence of sustained VL national control programs conducted by the Brazilian Ministry of Health (MoH), little progress has been made in reducing fatality rates. VL is a vector-borne disease with a worldwide distribution, and Brazil accounts for 90% of cases within Latin America (PAHO/WHO, 2008). There is great difficulty in effectively implementing and operating Brazilian VL control programs, due to the time delay between VL detection and subsequent control actions, as well as a lack of spatiotemporal analysis in VL positive areas (Harhay, Olliaro, Costa, & Costa, 2011).

The Brazilian MoH Surveillance and Control program is based on three measures: control of canine reservoirs, which consists of serum surveys and infected canine euthanasia, indoor residual spraying of insecticides for control of the vector, and early diagnosis and treatment of human cases (São Paulo, 2006). The formation of new endemic areas depends on the adaptation of the sandfly vector to naïve ecological niches. The disease has been a major health concern in São Paulo state since 1998 and its continual expansion since then, including its rapid urbanization process, is still not clearly elucidated.

3. METHODS

3.1. STUDY AREA

The state of São Paulo has an estimated population of 43,663,669 inhabitants, occupying an area of 248,222.801 km². It comprises 645 municipalities and has a population density of 166,023 inhabitants per km² (IBGE, 2011). The topography includes: depressions, scarps and reverses, hills, plateaus, valleys, and cuestras, and two main types of vegetation are present: semi-deciduous forest in the plateau region, and rainforest in the Serra do Mar region (Martinelli, 2009, 2010a, 2010b). The disease originally came to the south region of Brazil from Bolivia through the Novoeste railway (1996), the Marechal Rondon highway (SP-300) (1999), and the construction of a Bolivia-Brazil pipeline (GASBOL), which started operating in 1999. It first appeared in in Mato Grosso do Sul (MS) state, and subsequently crossed over the western border of Sao Paulo state (Cardim et al 2013).

Several factors have contributed to the continued vector presence and its disease life cycle maintenance in the Pontal do Paranapanema region (Figure 1). These factors include low socioeconomic status, as this region is the poorest in São Paulo state, environmental factors such as the dry, sandy winter soil and wet summer soil during the rainy season, which are conducive to continual sandfly life cycle maintenance. Additionally, temperatures in the state have been steadily increasing for several decades, with the highest land surface temperatures (LST) found in the western region. Visceral leishmaniasis propagation may also be influenced by the extensive watersheds draining into the Paranapanema, Paraná, and Tietê, the largest rivers in the southwestern and southern regions of Brazil. This area contains nine large lakes with bridges linking the states of São Paulo, Mato Grosso do Sul, and Paraná, and which support nine hydroelectric plants. This combination of poverty, tropical climate, manmade hydroelectric plants, and extensive highway network linking various endemic regions have contributed to the spread of VL in western São Paulo state.

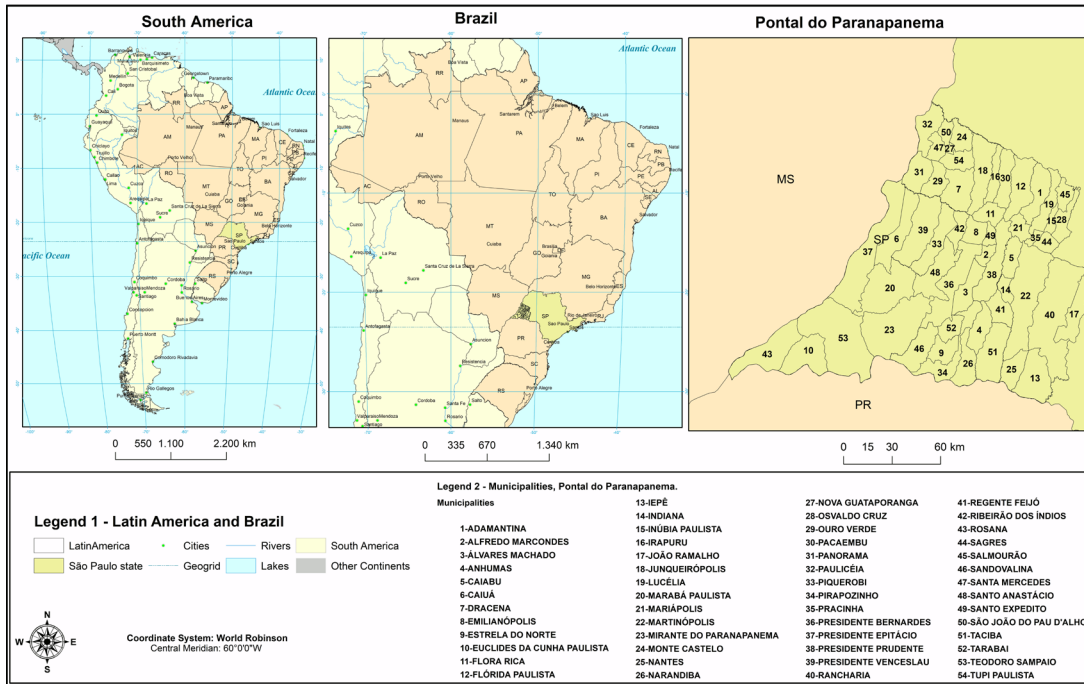


Figure 1 – Location of São Paulo state and the Pontal do Paranapanema in Brazil.

3.2. DATA COLLECTION AND ANALYSIS

The geospatial decision support systems were built using several data layers formed from various datasets, including: (i) Entomological data and surveillance reports of VL layer-obtained from the Supervision in Control of Endemics [Superintendência de Controle de Endemias] (SUCEN) and The Center of Epidemiological Surveillance [Centro de Vigilância Epidemiológica] (CVE); (ii) Context-base layer 1- Databases with name, location, and presence of *Lutzomyia longipalpis*; (iii) Environment/context-base layer 2-Land use, day and night Land Surface Temperature (LST), and normalized difference vegetation index (NDVI) from 2002 to 2011 collected using the dry season records. Additionally, roads, hydrography,

topography, rural settlements, urban areas, and sugarcane plantations were used in the analysis.

The data analysis was performed with GIS using the following steps: (i) Data acquisition- collect information on human cases, context variables, and entomological search; (ii) -Software manipulation- interoperability between GIS and various databases for use in evaluating the epidemiological situation of the 53 municipalities; (iii) - Cross-system influence, taking into account numerous projects and policies relating to 9 different systems: urban areas, rural settlements, sugarcane plantations, forestry and conservation, water bodies, topography, transportation (roads), vegetation (NDVI), and sandfly and VL case distributions, using Maximum Entropy to measure influence of climate variable in the suitability of

sandfly and human disease records (Phillips, Anderson, & Schapire, 2006; Phillips, Avenue, & Park, 1997).

Table 1: Systems, data description and sources.

Systems	Description	Source	Year
Existing Urban Areas (URB)	Urban spot at regional level	The Brazilian Institute of Geography and Statistics – IBGE.	2010
Existing Rural settlements (RS)	Rural area covered by land occupation.	Land Institute of São Paulo state- ITESP.	2010
Existing Water bodies (WB)	All hydrographical networks in the Paranapanema watershed.	São Paulo state environmental secretary.	2010
Existing Sugarcane plantation (SP)	Dasymmetric representation of sugarcane area in the Pontal do Paranapanema.	LandSat 5. Thematic Mapper.	2013
Topography (TP)	Shuttle radar topography mission (SRTM)	National Aeronautics and Space Administration (NASA)	2009
Transportation (TPT)	Roads and accesses to the 53 municipalities of the Pontal do Paranapanema.	The Brazilian Institute of Geography and Statistics – IBGE.	2010
Existing Forestry and conservation area (FC)	Conservation areas of nature, species and vegetation.	São Paulo state environmental secretary.	2010
Suitability of Human Visceral Leishmaniasis	Suitability for visceral leishmaniasis transmission based on municipalities where the disease has been found.	Center of Epidemiological Surveillance	2002-2017
Vegetation (VG) and Surface Temperature.	All green cover based on the measure from Normalized Difference Vegetation Index. Land surface temperature.	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (NASA)	2002-2011
Suitability Lutzomyia longipalpis (LL)	The most important disease vector in São Paulo state, considered the only competent vector for visceral leishmaniasis in the west of the state.	Supervision in control of endemics (SUCEN).	1998-2016

3.3. THE FRAMEWORK OF GEODESIGN

With the Geodesign framework (Miller, 2012), it was possible to analyze all the collected spatial data using the steps: representation, process, evaluation, impact, change, and decision models. It is possible to use this new approach with traditional GIS if one considers GIS a science and constructing the entire production plan for environmental changes using this science. Additionally, Geodesign, as a simple definition, can be considered a geographic design (S. M. Ervin, 2012; Goodchild & Ph, 2010). The process of deciding on a Geodesign framework is based on the questions: How should the landscape be described? How does the landscape operate? Is the landscape working well? How might the landscape be altered? What differences might the changes cause? Should the landscape be changed? (Figure 2). The first three questions define the assessment step and the following three questions define the intervention process step.

Using the first three questions for this study, it was possible to describe the study area by overlaying information onto GIS platform. The future plan is to expand the scope to include stakeholder participation in the decision-making process (Nyerges et al., 2016). In the case of Pontal do Paranapanema region, stakeholders, or “the people of the place” (Steinitz, 2012) could be: non-governmental organization NGO’s leaders, mayors, rural settlements leaders, sugarcane business people, environmentalists, and the general populace.

These questions helped us to better understand land use management strategies in the Pontal do Paranapanema region and its impact on disease transmission (Fig. 2). Our future research will continue this work by designing scenarios for alternative futures. The creation and elaboration of a profile for western São Paulo state is essential for enacting PH measures during the intervention phase, since representative landscape changes will be used to develop a plan for redesigning space-time interventions (decision models).

4. RESULTS

By 2017, sandfly vectors were reported in 15 out of 53 municipalities (29%) in the Pontal do Paranapanema

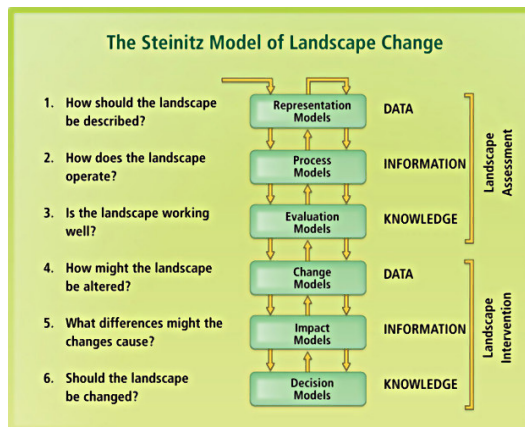


Figure 2 – Model of landscape changes to design alternative futures. Source: Steinitz, C. A Framework for Geodesign. Esri Press (Steinitz, 2012)

region. Since 2004, canine VL was reported in 27 municipalities, almost 50% and human VL was reported in 25 municipalities (47%). The total number of human cases reported for the time period of 2004-2017 was 460, with incidence averages varying from 0.17 to 13.29/100,000 in the time series.

Maps representing the systems of our geospatial proposal were designed using the ArcGIS 10.2 platform (Environmental Systems Research Institute 2013). Figure 3 displays the variety of systems we analyzed in our Geodesign proposal. The Land use/Land cover maps in two different classification, one highlight the forest fragments, wet areas, and dry areas (fig. 3A) and other, sugarcane plantation and rural settlements (fig. 3B). Topographical variations are represented in figure 3C. Roads, connections, and urban areas are represented in figure 3D. The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) products, NDVI and LST, are represented in figure 3E and figure 3F, respectively. The spatial distribution of the sandfly was represented in the figure 3G and human VL was represented in the figure 3H.

A research initiative on the use of Geodesign for public health

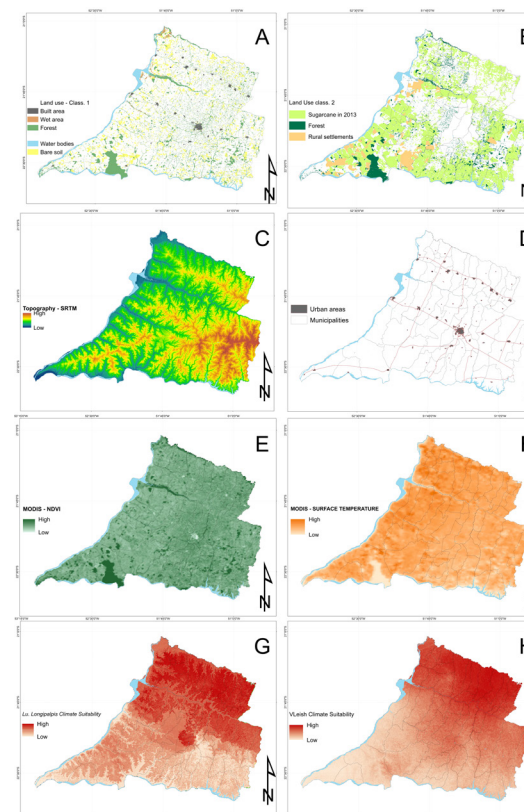


Fig. 3: A: Land use/ Land cover classification 1. Description: LandSat land use/land cover general map, created by the environmental secretary of São Paulo state in order to identify other uses in the region. B: Land Use/ Land cover classification 2 – sugarcane, rural settlements, and green covering. Description: Image classification using LandSat. C: Topographic relief. Description: topography from Shuttle Radar Topography Mission. D: Roads and Urban areas. Description: IBGE 2000 Census shapefiles. E: Vegetation. Description: Normalized difference vegetation index from Moderate Resolution Image Spectroradiometers (NDVI-MODIS). F: Land Surface Temperature. Description: LST, MODIS. G: Lutzomyia longipalpis risk areas. Description: Suitability of areas with the leishmaniasis vector. H: Human visceral leishmaniasis risk areas. Description: Ecological Niche Model of suitability of areas with human cases of VL.

5. DISCUSSION

The results obtained allowed us to try a new approach using the three phases of the Geodesign framework. Geodesign provides a wide range of applications. For this study, we concluded that future steps need to include participation of stakeholders in the Pontal do Paranapanema region. Based on Steinitz's definition, a "representation model, process model, and evaluation model" is a snapshot of the social and environmental components and the interactions between these two components and diseases in a delimited space (S. Ervin, 2012; Miller, 2012; Nyerges et al., 2016; Wilson, 2015; Wissen Hayek et al., 2016). To obtain a valid assessment of landscape characteristics in an integrated analysis and to fully understand the outcomes (in our case, diseases), it is necessary to have a clear objective and list out the factors that result in the most powerful combinations (Nyerges et al., 2016; Steinitz, 2012). Evaluating the environmental factors related to VL, while keeping in mind the concept of capacity, we were able to integrate elements of the Pontal do Paranapanema landscape, such as land use and vector distribution, into our Geodesign framework.

Sifting through reviews and field data collection results for relevant variables, we attempted to synthesize new variables that allow for the identification of risk areas and whether they overlap in the Pontal do Paranapanema region. Previous VL research ascertained that both the disease and vector have adapted to urban environments, with the canine constituting the main reservoir for maintenance of the transmission cycle (Coura-Vital et al., 2011; Werneck, 2010). Small cities in the Pontal do Paranapanema region act as the main hubs of disease transmission (fig. 3D and H combined). For example, the small urban municipality of Dracena is considered an intense transmission area and the small urban municipality of Tupi Paulista is considered a moderate transmission area (fig. 1, municipality number 7-Dracena and 54-Tupi Paulista). In Dracena there were 145 reported cases of human VL, with 5 resulting in death and Tupi Paulista there were 36

reported cases of human VL with 3 resulting in death.

Street-level PH bureaucrats work directly on the frontline and are policy implementers. Street-level knowledge is important in understanding urban disease spread and transmission, as well as implementing methods to prevent it. In Brazil, the surveillance and control program for VL is structured at the national level. However, decision-making is conducted at a local level, and it is important to manage the various conflicting decisions made by the local municipalities.

The 9 different systems we used highlight the importance of environmental and social factors on disease transmission. This provides an important overview of Pontal do Paranapanema, and allows us, in the future, to design a plan for regional development.

Risk factors for VL are understood to be mapped variables that increase the probability of disease occurrence in space. Based on epidemiology, this risk is associated with the disease occurrence.

The distribution of VL cases analyzed closely mirrors the presence of *L. longipalpis*, a VL vector species in São Paulo. Spatially, there is a large area where this overlap occurs, spanning from Mato Grosso do Sul, passing through Araçatuba, and terminating in Bauru (Cardim et al., 2013). The expansion of disease into Pontal do Paranapanema has also been confirmed (D'Andrea 2015). The area where cases were found is very extensive and degraded, spanning four mesoregions (Bauru, Marília, Presidente Prudente and Araçatuba). In São Paulo state, *Lu.longipalpis* was found in the central plateau of the Parana river basin and the plateau of Paranapiacaba, where temperatures arise above 23oC. Municipalities with higher social vulnerability are in the west, the largest concentrations of VL and *Lu. longipalpis*.

Some studies have supported the hypothesis that changes in climate alter the spatial distribution of insect species, leading to changes in vector-borne diseases, including leishmaniasis (Bhunia, Kesari, Jeyaram, Kumar, & Das, 2010; Peterson et

al., 2017). The state of São Paulo has considerable climatic variability resulting from the variations in topographic relief, as well as its location on the Tropic of Capricorn. The Serra do Mar and Mantiqueira are both the coldest and highest regions, while the warmest areas, like the Pontal do Paranapanema, are found in the northwest, in the Paraná river basin.

The relationship between leishmaniasis and the presence of forests is not well understood (Alessi, Galati, Alves, & Corbett, 2009; Bhunia et al., 2010; Camargo-Neves et al., 2001; Cross, Newcomb, & Compton Tucker, 1996). In the Pontal do Paranapanema, the VL has been found in the urban areas, with low density of vegetation (Fig. 3D and 3E combined). What was found to be most impactful on sandfly survival was the presence of organic material, and microfoci such as yards of expanding housing developments on the periphery of the cities (Pigott et al, 2014). This points to a weakness in large area studies, in that they cannot accurately capture the full impact of vegetation on the sandfly life cycle, and this must be taken into account when planning future studies examining the sandfly life cycle in the context of VL. Researchers have also previously noted an association between topographic relief and the presence of leishmaniasis in studies predicting the distribution of *Lutzomyia spp.* vectors (*L. whitmani*, *L. intermedia* and *L. migonei*) in South America (Anderson, Lew, & Peterson, 2003). This same approach has been used in São Paulo state to analyze *Lutzomyia* presence as it relates to topography (Bhunia, Dikhit, Kesari, Sahoo, & Das, 2011).

6. CONCLUSION

This study identified risk factors for visceral leishmaniasis in Pontal do Paranapanema using a Geodesign framework. The Geodesign analysis allows for the pairing of an area's characteristics due to human action, with environmental variables to assess VL case occurrences. This is an innovative approach that allows, with the support of technology, for the collective construction of spatiotemporal models in which

dynamic changes of epidemiologic determinants occur. Incorporating socioeconomic data into the Geodesign framework provides PH officials with additional tools to solve the challenge of VL. Historically, PH organizations have worked within the context of societal demands, and with this novel Geodesign research initiative, they will have the ability to respond more precisely to societal needs. The practical outcomes resulting from our proposed initiative enabled the construction of landscape models that will help link disease data with a populations' daily practices, and optimize the response capacity of regional landscape-based surveillance. There are problems with relying solely on a technological-only approach for regional decisions, which is why our innovative Geodesign approach combines technological approaches with local stakeholder discussions to create more comprehensive regional development decisions for combating VL.

ACKNOWLEDGEMENTS:

Dissemination of geo-epidemiological knowledge for the improvement of public policies for surveillance and control of leishmaniasis in the Pontal do Paranapanema, São Paulo state, Brazil. Financial Support. Number: 2014/12494-0, São Paulo Research Foundation (FAPESP).

REFERENCES:

Alessi, C. Á. C., Galati, E. A. B., Alves, J. R., & Corbett, C. E. P. (2009). American cutaneous leishmaniasis in the Pontal of Paranapanema - SP, Brazil: Ecological and entomological aspects. *Revista Do Instituto de Medicina Tropical de Sao Paulo*, 51(5), 277–282. <https://doi.org/10.1590/S0036-46652009000500008>

Anderson, R. P., Lew, D., & Peterson, A. T. (2003). Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selecting optimal models. *Ecological Modelling*, 162(3), 211–232. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(02\)00349-6](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(02)00349-6)

B Barbosa, D. S., Belo, V. S., Rangel, M. E. S., & Werneck, G. L. (2014). Spatial analysis for identification of priority areas for surveillance and control in a visceral leishmaniasis endemic area in Brazil. *Acta Tropica*, 131(1), 56–62. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2013.12.002>

Basra, K., Fabian, M. P., Holberger, R. R., French, R., & Levy, J. I. (2017). Community-Engaged Modeling of Geographic and Demographic Patterns of Multiple Public Health Risk Factors. *Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(730). <https://doi.org/10.3390/ijerph14070730>

Bhunias, G. S., Dikhit, M. R., Kesari, S., Sahoo, G. C., & Das, P. (2011). Role of remote sensing, geographic bioinformatics system and bioinformatics in kala-azar epidemiology. *Journal of Biomedical Research*, 25(6), 373–384.

[https://doi.org/10.1016/S1674-8301\(11\)60050-X](https://doi.org/10.1016/S1674-8301(11)60050-X)

Bhunias, G. S., Kesari, S., Jeyaram, A., Kumar, V., & Das, P. (2010). Influence of topography on the endemicity of Kala-azar: A study based on remote sensing and geographical information system. *Geospatial Health*, 4(2), 155–165. <https://doi.org/10.4081/gh.2010.197>

Brooker, S., & Utzinger, J. (2007). Integrated disease mapping in a polyparasitic world. *Geospatial Health*, 1(2), 141–146. <https://doi.org/10.4081/gh.2007.262>

Camargo-Neves, V. L. F. de, Katz, G., Rodas, L. A. C., Poletto, D. W., Lage, L. C., Spinoia, R. M. F., & Cruz, O. G. (2001). Utilização de ferramentas de análise espacial na vigilância epidemiológica de leishmaniose visceral americana - Araçatuba, São Paulo, Brasil, 1998-1999. *Cadernos de Saúde Pública*, 17(5), 1263–1267. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2001000500026>

Cardim, M. F. M., Rodas, L. A. C., Dibo, M. R., Guirado, M. M., Oliveira, A. M., & Chiaravalloti-Neto, F. (2013). Introduction and expansion of human American visceral leishmaniasis in the state of Sao Paulo, Brazil, 1999-2011. *Revista de Saude Publica*, 47(4), 1–9. <https://doi.org/10.1590/S0034-8910.2013047004454>

Coura-Vital, W., Marques, M. J., Veloso, V. M., Roatt, B. M., de Oliveira Aguiar-Soares, R. D., Reis, L. E. S., & Carneiro, M. (2011). Prevalence and factors associated with Leishmania infantum infection of dogs from an urban area of Brazil as identified by molecular methods. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 5(8), e1291. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0001291>

Cross, E. R., Newcomb, W. W., & Compton Tucker, D. J. (1996). Use of Weather Data and Remote Sensing To Predict the Geographic and Seasonal Distribution of Phlebotomus Papatasi in Southwest Asia. *Am. J. Trop. Med. Hvg*, 54(5), 530–536.

D'Andrea, L. A. Z., da Silva Fonseca, E., Prestes-Carneiro, L. E., Guimarães, R. B., Yamashita, R. C., Soares, C. N., & Tolezano, J. E. (2015). The shadows of a ghost: a survey of canine leishmaniasis in Presidente Prudente and its spatial dispersion in the western region of São Paulo state, an emerging focus of visceral leishmaniasis in Brazil. *BMC Veterinary Research*. <https://doi.org/10.1186/s12917-015-0583-6>

Ervin, S. (2012). A System for GeoDesign. *Peer Reviewed Proceedings Digital Landscape Architecture 2012* at Anhalt University of Applied Sciences, 145-.

Ervin, S. M. (2012). *Geodesign Futures – Nearly 50 Predictions*, 22–30.

Fonseca ES, D'Andrea LAZ, Taniguchi HH, Hiramoto R.M., & Tolezano JE, G. R. (2014). Spatial epidemiology of American cutaneous leishmaniasis in a municipality of west São Paulo State, Brazil. *Journal of Vector Borne Diseases*, 51, 271–275.

Goodchild, M. F., & Ph, D. (2010). Towards Geodesign : Repurposing Cartography and GIS? *Cartographic Perspectives*, (66), 55–69.

Harhay, M. O., Oliario, P. L., Costa, D. L., & Costa, C. H. N. (2011). Urban parasitology: Visceral leishmaniasis in Brazil. *Trends in Parasitology*, 27(9), 403–409. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2011.04.001>

Hay, S. I., Battle, K. E., Pigott, D. M., Smith, D. L., Moyes, C. L., Bhatt, S. & Gething, P. W. (2013). Global mapping of infectious disease Global mapping of infectious disease. *Phil Trans R Soc Lond B*, 368(February).

Hinckson, E., Schneider, M., Winter, S. J., Stone, E., Puhani, M., Stathi, A., & King, A. C. (2017). *Citizen science applied to building healthier community environments : advancing*

the field through shared construct and measurement development, 1–13. <https://doi.org/10.1186/s12966-017-0588-6>

Huang, G., & Zhou, N. (2016). Geodesign in Developing Countries: The example of the Master Plan for Wulingyuan National Scenic Area, China. *Landscape and Urban Planning*, 156, 81–91. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.05.014>

Hulse, D., Branscomb, A., Enright, C., Johnson, B., Evers, C., Bolte, J., & Ager, A. (2016). Anticipating surprise: Using agent-based alternative futures simulation modeling to identify and map surprising fires in the Willamette Valley, Oregon USA. *Landscape and Urban Planning*, 156, 26–43. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.05.012>

IBGE. (2011). Indicadores sociais municipais. *Estudos e pesquisas: informação demográfica e socioeconômica*. (Vol. 28). <https://doi.org/0101-4234>

Martinelli, M. (2009). O Relevo do estado de São Paulo. *Confins Revue*, 7(7), 1–19.

Martinelli, M. (2010a). Clima do estado de São Paulo. *Confins Revue*, 8(8), 1–16. Retrieved from <http://www.imp.seade.gov.br>

Martinelli, M. (2010b). Estado de São Paulo : aspectos da natureza. *Confins Revue*, 9(9), 1–15.

Meyers, D. J., Ozonoff, A., Baruwal, A., Pande, S., & Harsha, A. (2016). Combining Healthcare-Based and Participatory Approaches to Surveillance : Trends in Diarrheal and Respiratory Conditions Collected by a Mobile Phone System by Community Health Workers in Rural Nepal. *PLoS ONE*, (December 2013), 1–13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0152738>

Miller, W. R. (2012). *Introducing Geodesign : The Concept Director of GeoDesign Services*. ESRI, 36.

- Murray, H. W., Berman, J. D., Davies, C. R., Saravia, N. G., Annajar, B. B., Hanafi, H. A., & Vounatsou, P. (2012). Ecological niche model of *Phlebotomus alexandri* and *P. papatasi* (Diptera: Phlebotomidae) in the Middle East. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 9(1), 2. <https://doi.org/10.1186/1476-072X-9-2>
- Nyerges, T., Ballal, H., Steinitz, C., Canfield, T., Roderick, M., Ritzman, J., & Thanatmaneeerat, W. (2016). Geodesign dynamics for sustainable urban watershed development. *Sustainable Cities and Society*, 25, 13–24. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.04.016>
- PAHO/WHO. (2008). *Update of American Trypanosomiasis and Leishmaniasis Control and Research: Final Report*, 1-176.
- Peterson, A. T. (2006). Ecologic niche modeling and spatial patterns of disease transmission. *Emerging Infectious Diseases*, 12(12), 1822–1826. <https://doi.org/10.3201/eid1212.060373>
- Peterson, A. T., Campbell, L. P., Moo-llanes, D. A., Travi, B., González, C., Cristina, M., & Shaw, J. J. (2017). Influences of climate change on the potential distribution of *Lutzomyia longipalpis* sensu lato (Phlebotomidae: Phlebotominae). *International Journal for Parasitology*. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2017.04.007>
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190(3-4), 231–259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Phillips, S. J., Avenue, P., & Park, F. (1997). *A Maximum Entropy Approach to Species Distribution Modeling*.
- Pratt, B. M., Are, W., & Communities, H. (2011). Place and Health: Designing communities that promote well-being. *ArcUser*, 14–18.
- São Paulo. (2006). *Manual de Vigilância e Controle da Leishmaniose Visceral Americana do Estado de São Paulo*. Secretaria de Estado Da Saúde, 161.
- Steinitz, C. (2012). *A framework for geodesign: changing geography by design*. Esri Press.
- Turrell, G., Hewitt, B., Haynes, M., Nathan, A., & Giles-corti, B. (2014). *Change in walking for transport : a longitudinal study of the influence of neighbourhood disadvantage and individual-level socioeconomic position in mid-aged adults*. <https://doi.org/10.1186/s12966-014-0151-7>
- Werneck, G. L. (2010). Geographic spread of visceral leishmaniasis in Brazil. *Cadernos de Saúde Pública*, 26(4), 644–645. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2010000400001>
- Wilson, M. W. (2015). Landscape and Urban Planning On the criticality of mapping practices : Geodesign as critical GIS? *Landscape and Urban Planning*, 142, 226–234. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.12.017>
- Wissen Hayek, U., von Wirth, T., Neuenschwander, N., & Grêt-Regamey, A. (2016). Organizing and facilitating Geodesign processes: Integrating tools into collaborative design processes for urban transformation. *Landscape and Urban Planning*, 156(156), 59–70. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.05.015>

Uma iniciativa de pesquisa no uso do Geodesign para saúde pública na América do Sul: uma abordagem inovadora

1. INTRODUÇÃO

Existe uma grande quantidade de trabalhos que utilizam camadas de informação espacial para dar suporte aos programas de controle de doenças. Esses estudos fazem uso do espaço geográfico em nome de uma compreensão ampliada das questões relativas a doenças de importância para a saúde pública (SP) (Barbosa, Belo, Rangel & Werneck, 2014; Brooker e Utzinger, 2007; D'Andrea e cols. ., 2015, Fonseca ES, D'Andrea LAZ, Taniguchi HH, Hiramoto RM, Tolezano JE, 2014, Hay et al., 2013, Murray et al., 2012, Peterson, 2006).

As técnicas propostas neste artigo permitirão aos tomadores de decisão em SP uma melhor organização das informações produzidas em um sistema de apoio ao planejamento, e melhor uso destas informações, tanto para a sua estrutura organizacional em um cenário regional quanto para o impacto que um conjunto de ações deste tipo possui.

O Geodesign permite aos pesquisadores entender mais prontamente sistemas de vigilância e resposta para doenças (S. Ervin, 2012). O clássico plano do Geodesign para SP foi construído com base em doenças crônicas, como diabetes e doenças cardíacas, que são afetadas pela inatividade física (Basra, Fabian, Holberger, French, & Levy, 2017; Hinckson et al., 2017; Pratt, Are & Communities, 2011; Turrell, Hewitt, Haynes, Nathan e Giles-corti, 2014) e também utiliza-se de abordagens participativas de vigilância (Meyers, Ozonoff, Baruwal, Pande & Harsha, 2016). Este design clássico também se concentrou na redução das disparidades dos serviços de saúde, nos sistemas de vigilância em comunidades (Davenhall, 2010).

A abordagem inovadora proposta por nosso estudo será com foco nas doenças infecciosas, em oposição às doenças crônicas, devido ao seu grande impacto nos orçamentos de SP na América do Sul. Trabalhos anteriores realizados utilizando o Geodesign na Região

de Limattal, na Suíça (Wissen Hayek, Von Wirth, Neuenschwander, & Grêt-Regamey, 2016), outro em Willamette Valley, Oregon, USA (Hulse et al., 2016), e outro em Wulingyuan National Scenic Area, China (Huang & Zhou, 2016) demonstraram que é possível uma reflexão no plano de decisão regional. Este artigo descreve uma excelente oportunidade para testar nossa hipótese de que o Geodesign pode ser utilizado para auxiliar na determinação do impacto da leishmaniose visceral (LV) em escala regional no Brasil. Isso, por sua vez, permitirá uma maior compreensão dos efeitos das ações de controle de doenças.

Este estudo propõe o uso de um protótipo de sistema de vigilância que incorpora abordagens Geodesign baseadas no perfil epidemiológico das 53 cidades que compõem o Pontal do Paranapanema, região oeste do Estado de São Paulo, Brasil. Esta região foi escolhida porque permite a observação dos ciclos de transmissão da VL. Os objetivos são explorar e avaliar, com o apoio

do Geodesign, um modelo potencial de distribuição de VL na região do Pontal do Paranapanema, utilizando variáveis socioeconômicas e ambientais. A estrutura do Geodesign foi realizada até a etapa dos modelos de avaliação; A análise consistiu em mapear as variáveis de contexto mais influentes na área de estudo e identificar áreas de potencial de transmissão com base em uma série temporal. O mapeamento foi então comparado a áreas com baixo potencial de transmissão de VL. O resultado final é o Geodesign regional do Pontal do Paranapanema, que pode contribuir para melhorar a tomada de decisão em SP.

2. ANTECEDENTES

Apesar da existência de programas nacionais de controle de LV, preconizados pelo Ministério da Saúde (MS), pouco progresso em sido observado na redução das taxas de mortalidade. A LV é uma doença transmitida por vetores com distribuição mundial e o Brasil é responsável por 90% dos casos na América Latina (OPAS / OMS, 2008). Há grande dificuldade em implementar e operar com eficiência os programas de controle de leishmaniose brasileiros, devido ao tempo de atraso entre a detecção e as ações de controle subseqüentes, bem como a falta de análise espaço-temporal em áreas positivas para LV (Harhay, Olliaro, Costa, & Costa, 2011).

O programa de Vigilância e Controle do MS é baseado em três medidas: controle de reservatórios caninos, que consiste em levantamentos de soro e eutanásia dos cães infectados, pulverização residual interna com inseticidas para controle do vetor e diagnóstico e tratamento precoce de casos humanos (São Paulo, 2006). A formação de novas áreas endêmicas depende da adaptação do vetor de flebotomos a novos nichos ecológicos. A doença tem sido uma das principais preocupações em saúde no estado de São Paulo desde 1998 e sua contínua expansão desde então, incluindo seu rápido processo de urbanização, ainda não está claramente elucidada.

3. MÉTODOS:

3.1. ÁREA DE ESTUDO

O estado de São Paulo possui uma população estimada

<http://disegnarecon.univaq.it>

em 43.663.669 habitantes, ocupando uma área de 248.222.801 km². É composto por 645 municípios e possui densidade populacional de 166.023 habitantes por km² (IBGE, 2011). Sua topografia inclui: depressões, escarpas e revesos, colinas, planaltos, vales e cuevas, e dois tipos principais de vegetação: floresta semidecídua na região do planalto e floresta tropical na região da Serra do Mar (Martinelli, 2009, 2010a, 2010b). A doença migrou para o estado pela região brasileira da Bolívia através da ferrovia Novoeste (1996), da rodovia Marechal Rondon (SP-300) (1999), e da construção de um gasoduto Bolívia-Brasil (GASBOL), que começou a operar em 1999. Surgiu pela primeira vez no estado de Mato Grosso do Sul (MS) e, posteriormente, atravessou a fronteira oeste do estado de São Paulo (Cardim et al 2013).

Vários fatores contribuíram para a manutenção da presença do vetor e do ciclo da doença na região do Pontal do Paranapanema (Figura 1). Esses fatores incluem baixo nível socioeconômico, uma vez que essa região é a mais pobre do estado de São Paulo, fatores ambientais como o solo de inverno seco e arenoso e o solo de verão úmido durante a estação chuvosa, que favorecem a manutenção contínua do ciclo de vida. Além disso, há várias décadas se registra constantemente o aumento da temperatura no estado, com as maiores valores de temperaturas de superfície (LST) encontrados na região oeste do estado. A propagação da leishmaniose visceral também pode ser influenciada pelas extensas bacias hidrográficas que drenam para os rios Paranapanema, Paraná e Tietê, os maiores rios nas regiões sudoeste e sul do Brasil. Essa área contém nove grandes lagos com pontes que ligam os estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Paraná, e que suportam nove usinas hidrelétricas. Essa combinação de pobreza, clima tropical, usinas hidroelétricas artificiais e extensa rede de rodovias ligando várias regiões endêmicas contribuíram para a disseminação da LV no oeste do estado de São Paulo.

Figura 1 – Localização do estado de São Paulo e o Pontal do Paranapanema, Brasil.

3.2. COLETA E ANÁLISE DE DADOS

Foram construídos sistemas geoespaciais de apoio a decisão, utilizando diversas camadas de informação

a partir de conjuntos de dados, incluindo: (i) dados entomológicos e relatórios de vigilância da leishmaniose visceral - obtidos da Superintendência de Controle de Endemias (SUCEN); Centro de Vigilância Epidemiológica (CVE); (ii) Camada de bases e contexto 1- Bases de dados com nome, localização e presença de *Lutzomyia longipalpis*; (iii) Camada de base e contexto 2, Ambiente - Uso da terra, Temperatura da Superfície Terrestre (LST) registros do dia e da noite, e índice de vegetação de diferença normalizada (NDVI), ambos de 2002 a 2011 e coletados usando os registros da estação seca. Além disso, estradas, hidrografia, topografia, assentamentos rurais, áreas urbanas e plantações de cana de açúcar foram utilizados na análise.

A análise dos dados foi realizada em um Sistema de Informação Geográfica (SIG), composto pelos seguintes passos: (i) coleta de dados - coleta de informações sobre casos humanos, variáveis de contexto e pesquisa entomológica; (ii) - manipulação de softwares - interoperabilidade entre SIG e diversas bases de dados para uso na avaliação da situação epidemiológica dos 53 municípios; (iii) - Influência entre os sistemas, levando em conta numerosos projetos e políticas relacionadas a 9 sistemas diferentes: áreas urbanas, assentamentos rurais, plantações de cana-de-açúcar, florestas e conservação, corpos d'água, topografia, transporte (estradas), vegetação (NDVI), e distribuição dos flebotômicos e casos de leishmaniose, utilizando o modelo da Máxima Entropia para medir a influência das variáveis climáticas na adequação de registros de flebotomos e da doença em humanos (Phillips, Anderson & Schapire, 2006; Phillips, Avenue, & Park, 1997). (Tabela 1).

3.3. O FRAMEWORK DO GEODESIGN:

Com o framework do Geodesign (Miller, 2012) foi possível analisar os dados espaciais coletados utilizando os modelos: de representação, de processo, de avaliação, de impacto, de mudança e de decisão. É possível utilizar essa nova abordagem com o SIG tradicional se considerarmos o sistema de informação geográfica como uma ciência da informação geográfica e construirmos todo o plano de produção para mudanças ambientais usando essa ciência. Adicionalmente, o Geodesign, como

uma definição simples, pode ser considerado um desenho da geografia, da paisagem (S. M. Ervin, 2012; Goodchild & Ph, 2010). O processo de decidir sobre uma estrutura em Geodesign baseia-se nas questões: Como deve ser descrita a paisagem? Como a paisagem funciona? A paisagem está funcionando bem? Como a paisagem pode ser alterada? Quais diferenças as alterações podem causar? A paisagem deve ser mudada? (Figura 2). As três primeiras questões definem a etapa de avaliação e as três questões seguintes definem a etapa do processo de intervenção.

Utilizando-se das três primeiras perguntas para este estudo, foi possível descrever a área de estudo, sobrepondo informações na plataforma de SIG. O plano de futuro é em expandir o escopo para incluir a participação das partes interessadas no processo de tomada de decisão (Nyerges et al., 2016). No caso da região do Pontal do Paranapanema, os interessados, ou “people of the place” (Steinitz, 2012) poderiam ser: líderes de organizações não-governamentais, prefeitos, líderes de assentamentos rurais, empresários de cana-de-açúcar, ambientalistas e a população em geral.

Figura 2 – Modelo para mudanças no desenho da paisagem visando futuros alternativos. Fonte: Steinitz, C. A Framework for Geodesign. Esri Press (Steinitz, 2012).

As questões do Geodesign apoiaram uma melhor compreensão das estratégias de manejo do uso da terra na região do Pontal do Paranapanema e seu impacto na transmissão da doença (fig. 2). O objetivo no futuro é concluir esta abordagem projetando cenários para futuros alternativos na região. A criação e elaboração de um perfil para o oeste do estado de São Paulo é essencial para a execução de medidas de saúde pública durante a fase de intervenção, pois serão utilizadas mudanças representativas na paisagem para desenvolver um plano de redesenho de intervenções espaço-temporais (modelos de decisão).

4. RESULTADOS

Até o ano de 2017, os vetores da leishmaniose foram reportados em 15 dos 53 municípios (29%) da região do Pontal do Paranapanema. Desde 2004, a LV canina foi

SISTEMA	DESCRIÇÃO	FONTE	ANO
Áreas urbanas existentes (URB)	Manchas urbanas no nível regional.	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE.	2010
Assentamentos rurais existentes (RS)	Áreas rurais cobertas por ocupações de terras.	Instituto de Terras do estado de São Paulo - ITESP.	2010
Corpos d’água existentes (WB)	Toda a rede hidrográfica da bacia do Paranapanema.	Secretaria de estado do Meio Ambiente de São Paulo.	2010
Plantação de cana—de-açúcar existente (SP)	Representação dasimétrica da área de cana-de-açúcar do Pontal do Paranapanema.	LandSat 5. Thematic Mapper.	2013
Topografia (TP)	Shuttle radar topography mission (SRTM)	National Aeronautics and Space Administration (NASA)	2009
Transporte (TPT)	Rodovias e acessos dos 53 municípios do Pontal do Paranapanema.	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE	2010
Áreas florestais e de conservação existentes (FC)	Áreas de conservação da natureza, espécies e vegetação.	Secretaria de estado do Meio Ambiente de São Paulo.	2010
Suceptibilidade para a Leishmaniose Visceral Humana	Suceptibilidade para a transmissão de leishmaniose visceral baseada nos municípios onde a doença foi encontrada.	Centro de Vigilância Epidemiológica	2002-2017
Vegetação e temperature de superfície.	Todas as áreas de cobertura verde medidas pelo índice de vegetação por diferença normalizada e a temperatura de superfície.	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (NASA)	2002-2011
Suceptibilidade para Lutzomyia longipalpis (LV)	O mais importante vetor da doença no estado de São Paulo, considerado o único competente para a transmissão da leishmaniose visceral no oeste do estado de São Paulo.	Superintendência de controle de endemias (SUCEN).	1998-2016

Tabela 1: Sistemas, descrição dos dados e fontes.

relatada em 27 municípios, quase 50% e a LV humana foi relatada em 25 municípios (47%). O número total de casos humanos registrados para o período 2004-2017 foi de 460, com médias de incidência variando de 0,17 a 13,29 / 100.000 na série histórica.

Os mapas que representando os sistemas da nossa proposta geoespacial foram projetados usando a plataforma ArcGIS 10.2 (Environmental Systems Research Institute 2013). A Figura 3

mostra a variedade de sistemas que analisados.

Os mapas de uso da terra/cobertura do solo foram elaborados em duas classificações diferentes, uma destacando os fragmentos florestais, áreas úmidas e áreas secas (fig. 3A) e outra, com plantação de cana e assentamentos rurais (fig. 3B). As variações topográficas estão representadas na figura 3C. Estradas, conexões e áreas urbanas estão representadas na figura 3D. Os produtos

Moderator Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), NDVI e LST, estão representados na figura 3E e na figura 3F, respectivamente. A distribuição espacial do flebotomíneo foi representada na figura 3G e o LV humana foi representada na figura 3H.

Figura 3: A: Uso da terra/Classificação da cobertura do solo 1. Descrição: Mapa geral do uso e cobertura da terra a partir do LandSat, criado pela Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo para identificar outros usos na região. B: Uso da terra/Classificação da cobertura do solo 2 - cana-de-açúcar, assentamentos rurais e cobertura verde. Descrição: Classificação de imagens do LandSat. C: relevo e topografia. Descrição: topografia a partir do SRTM. D: Estradas e áreas urbanas. Descrição: shapefiles do Censo do IBGE 2000. E: Vegetação. Descrição: Índice de vegetação de diferença normalizada a partir do sensor MODIS (NDVI-MODIS). F: temperatura da superfície terrestre. Descrição: LST, MODIS. G: áreas de risco de *Lutzomyia longipalpis*. Descrição: Modelo de nicho ecológico de susceptibilidade de áreas com o vetor da leishmaniose. H: Suceptibilidade de áreas para leishmaniose visceral humana. Descrição: Modelo de nicho ecológico de susceptibilidade de áreas com casos humanos de LV.

5. DISCUSSÃO

Os resultados obtidos permitiram testar uma nova abordagem usando as três fases do framework Geodesign. O Geodesign fornece uma ampla gama de aplicações. Para este estudo, considera-se que as etapas futuras devem incluir a participação de stakeholders na região do Pontal do Paranapanema. Com base na definição de Steinitz, um “modelo de representação, modelo de processo e modelo de avaliação” são como uma foto estantânea dos componentes sociais e ambientais e das interações entre esses dois componentes e doenças em um espaço delimitado (S. Ervin, 2012; Miller, 2012; Nyerges et al., 2016; Wilson, 2015; Wissen Hayek et al., 2016). Para obter uma avaliação válida das características da paisagem em uma análise integrada e entender completamente os resultados (no nosso caso, doenças), é necessário ter um objetivo claro e listar os fatores que resultam nas combinações mais poderosas (Nyerges et al., 2016, Steinitz, 2012).

Avaliando os fatores ambientais relacionados à LV, tendo em mente o conceito de capacidade, conseguimos integrar o desenho da paisagem com elementos do Pontal do Paranapanema,

como uso do solo e distribuição vetorial.

Examinando as revisões e os resultados de coleta de dados de campo para variáveis relevantes, tentamos sintetizar novas variáveis que permitem a identificação de áreas de risco e se elas se sobrepõem na região do Pontal do Paranapanema. Pesquisas prévias sobre LV constataram que tanto a doença quanto o vetor se adaptaram aos ambientes urbanos, constituindo o cão como o principal reservatório para a manutenção do ciclo de transmissão (Coura-Vital et al., 2011; Werneck, 2010). Pequenas cidades na região do Pontal do Paranapanema atuam como os principais centros de transmissão de doenças (fig. 3D e H combinadas). Por exemplo, o município de Dracena é considerado uma área de transmissão intensa e o município de Tupi Paulista é considerado uma área de transmissão moderada (fig. 1, município número 7-Dracena e 54-Tupi Paulista). Em Dracena foram registrados 145 casos de LV humana, sendo 5 óbitos e Tupi Paulista 36 casos de LV humana com 3, resultando em óbito.

A burocracia ao reles do chão representa diretamente a linha de frente dos programas de controle e são implementadores de políticas. O conhecimento da linha de frente é importante para entender a disseminação e a transmissão de doenças urbanas, bem como implementar métodos para evitá-lo. No Brasil, o programa de vigilância e controle da LV é estruturado em nível nacional. No entanto, a tomada de decisões é realizada em nível local, e é importante gerenciar as várias decisões conflitantes tomadas pelos municípios.

Os nove sistemas diferentes utilizados destacaram a importância de fatores ambientais e sociais na transmissão de doenças. Isso fornece uma visão geral importante do Pontal do Paranapanema e permitirá, no futuro, projetar um plano de desenvolvimento regional.

Fatores de risco para LV são entendidos como variáveis mapeadas que aumentam a probabilidade de ocorrência da doença no espaço. Com base na epidemiologia, esse risco está associado à ocorrência da doença.

A distribuição dos casos de LV analisados parece espelhar a presença de *L. longipalpis*, uma espécie de vetor de LV em São Paulo. Espacialmente no Brasil, existe uma grande área onde esta sobreposição ocorre, passando de Mato Grosso do Sul, passando

por Araçatuba, e terminando em Bauru (Cardim et al., 2013). A expansão da doença para o Pontal do Paranapanema também foi confirmada (D'Andrea 2015). A área onde os casos foram encontrados é muito extensa e degradada, abrangendo quatro mesorregiões (Bauru, Marília, Presidente Prudente e Araçatuba). No estado de São Paulo, *Lu. longipalpis* foi encontrado no planalto central da bacia do rio Paraná e no planalto de Paranapiacaba, onde as temperaturas sobem acima de 23°C. Municípios com maior vulnerabilidade social estão no oeste, as maiores concentrações de LV e *Lu. longipalpis*.

Alguns estudos têm apoiado a hipótese de que mudanças no clima alteram a distribuição espacial das espécies de insetos, levando a mudanças nas doenças transmitidas por vetores, incluindo a leishmaniose (Bhunia, Kesari, Jeyaram, Kumar, & Das, 2010; Peterson et al., 2017). O estado de São Paulo possui considerável variabilidade climática, resultante das variações no relevo e topografia, bem como sua localização no Trópico de Capricórnio. A Serra do Mar e a Mantiqueira são as regiões mais frias e altas, enquanto as áreas mais quentes, como o Pontal do Paranapanema, são encontradas no noroeste, na bacia do rio Paraná.

A relação entre a leishmaniose e a presença de florestas não é bem compreendida (Alessi, Galati, Alves e Corbett, 2009; Bhunia et al., 2010; Camargo-Neves et al., 2001; Cross, Newcomb e Compton Tucker, 1996). No Pontal do Paranapanema, a LV foi encontrada nas áreas urbanas, com baixa densidade de vegetação (fig. 3D e 3E combinadas). O que foi encontrado para ser mais impactante na sobrevivência de flebotomos foi a presença de material orgânico e microfoco como jardas de expansão de conjuntos habitacionais na periferia das cidades (Pigott et al, 2014). Isso aponta para uma limitação nos estudos em grandes áreas, na medida em que eles não conseguem capturar todo o impacto da vegetação no ciclo de vida dos flebotomíneos, e isso deve ser levado em consideração ao planejar futuros estudos que examinem o ciclo de vida dos flebotomíneos no contexto da LV.

Estudiosos também observaram uma associação entre o relevo e topografia e a presença de leishmaniose em estudos que previam a distribuição de vetores *Lutzomyia spp.* (*L. whitmani*, *L. intermedia*

e L. migonei) na América do Sul (Anderson, Lew & Peterson, 2003). Essa mesma abordagem tem sido utilizada no estado de São Paulo para analisar a presença de *Lutzomyia* no que se refere à topografia (Bhunia, Dikhit, Kesari, Sahoo, & Das, 2011).

6. CONCLUSÃO

Este estudo identificou fatores de risco para leishmaniose visceral no Pontal do Paranapanema utilizando um framework do Geodesign. A análise em Geodesign permite o pareamento das características de uma área em função da ação humana, com variáveis ambientais para avaliar ocorrências de casos de LV. Trata-se de uma abordagem inovadora que permite, com o apoio da tecnologia, a construção coletiva de modelos espaço-temporais em que ocorrem mudanças dinâmicas de determinantes epidemiológicos.

A incorporação de dados socioeconômicos na estrutura do Geodesign fornece aos interessados em Saúde Pública, ferramentas adicionais para resolver o desafio da VL. Historicamente, as organizações de SP têm trabalhado dentro do contexto das demandas da sociedade, e com essa nova iniciativa de pesquisa em Geodesign, elas terão a capacidade de responder mais precisamente às necessidades da sociedade.

Os resultados práticos da proposta permitiram a construção de modelos de paisagem que ajudarão a vincular dados de doenças com as práticas diárias das populações e otimizar a capacidade de resposta da vigilância regional baseada na paisagem. Há problemas em depender apenas de uma abordagem somente tecnológica para decisões regionais, e é por isso que nossa abordagem inovadora de Geodesign combina abordagens tecnológicas com dissensões de partes interessadas locais para criar decisões de desenvolvimento regional mais abrangentes para combater a LV.

AGRADECIMENTOS:

Disseminação de conhecimentos geo-epidemiológicos para o aprimoramento de políticas públicas de vigilância e controle da leishmaniose no Pontal do Paranapanema, estado de São Paulo, Brasil. Ajuda financeira. Número: 2014 / 12494-0, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).