

**Renato César Ferreira de Souza**

Professor of Architectural and Urban Design at School of Architecture of UFMG-Brazil. Ph.D. in Architecture by The University of Sheffield. Main interests on creation and representation of Architectural Space supported by computing resources, new information technologies in the project process and urban places in Brazil, investigating the deployment of IT to cope with problems that the lack of development brings up.

## Urban Network Analysis in Health

### *Análise da rede urbana para a saúde*

The definition of spatial units of data aggregation is a challenge for research in Urban Health, aiming help visualizing inequities and build an analytical chain that also integrates demographic, socioeconomic, cultural and environmental data. We present a case study comparing the administrative and the spatial divisions obtained by the test of the influence of access to the Primary Health Units (PHU) on the city of Belo Horizonte, elucidating algorithms and concepts used. It is demonstrated the potential of future research on the city's territory, its correlation with Health, regarding the possible the control of spatial conditions to locate and access PHU, waving to the enrichment of the debate on the directions of Urban Health in Brazil and the early stages of a Geodesign.

*A definição de unidades espaciais como locus preferencial na prestação do cuidado em saúde é desafiadora quando se buscam modelos assistenciais que reduzam as iniquidades de acesso aos serviços de saúde e os humanize, integrando dados demográficos, socioeconômicos, culturais e ambientais, configurando localmente os determinantes sociais da saúde. Esse estudo introduz uma análise da localização das Unidades Básicas de Saúde (UBS) nos Distritos Sanitários de Belo Horizonte, comparando as divisões administrativas adotadas com as obtidas pelo teste cartográfico de influência de acesso às UBS. Demonstra-se a potencialidade de investigações futuras sobre o território da cidade na busca de melhores localizações e acesso às UBS, acenando para o enriquecimento do debate sobre os rumos da Saúde Urbana no Brasil.*

#### Keywords:

Urban Network Analysis, Urban space, Urban Health, Access to health services, Brazilian Unified Health System

#### Palavras-chave:

*Análise Espacial, Espaço urbano, Saúde Urbana, Acesso aos serviços de saúde, Sistema Único de Saúde*

## 1. INTRODUCTION

The article aims to compare spatial units of healthcare designed by governance with those calculated considering natural and walkable accessibility to them. For this, a concept of proximity to the PUH is considered, justifying its advantages to solve territorial inequalities that reflects on poor neighbor.

Baum (2005) regrets the retreat from focusing on health with the technological apparatus developed in the millennium, which demonstrated troubled by many scenarios related with politics, economics, wars, sectarianism in the culture countries, leading the world to one of the greatest humanitarian crises in the history. That author points out that the, despite this, some countries keep trying cross that crises with pragmatic solutions. This article describes an attempt to corroborate the health system in Brazil using GIS.

The Brazilian Unified Health System (SUS) is considered one of the largest health system in the world, characterized by its proposal of universality, equity and gratuity to assist people. Since its foundation by 1988, one of the greatest challenges was to ensure that the population will have free access to quality health services. However, there is still an unequal and exclusionary reality given by the territorial distribution of these services within the country. Some attempts have been made to alleviate this problem, prioritizing a Primary Health Care (PHC) network at the city's neighborhood, delimiting health regions by considering it as a gate to access the SUS. Thus, the rearrange of the territory to the organize SUS services were defined by Decree 7508 (2011) and it was also reinforced the importance of PHC as recommended by the World Health Report 2008 (World Health Organization, 2008). In Belo Horizonte, the distribution of human resources, actions and health services offered by SUS was made, dividing the structure of the public space and its physical dimensions as integrators, together with other environmental aspects, as health indicators to guide the prioritization of implementation of actions (Pitchon, 2013). Therefore, PHC's programming policy focused on providing quality services, with fairness, easy access and adequate time to meet the needs of the population. At the same time, it began to strengthen attention to life cycles, with different

themes, emphasizing the areas and populations most vulnerable. These aspects gave extreme importance to the discussion of the location of the PHC units and services in urban space, searching a best methodology for their location, evaluation and implementation.

## 2. PROBLEMATIZATION

Primary Health Care (PHC) units are considered coordinators of healthcare and the communicator with other SUS networks, to be present in the urban space through their location in delimited areas named "coverage areas". Two objectives that integrate its purposes explicitly establish relationships with urban space: firstly, it must offer people health care integrally and, secondly, it must offer conditions to be integrated functionally with the other units of the network allocated through the city to quickly be accessed by ambulances. Thus, the PUH now take care of the promotion, prevention and assistance to collective health, going beyond the eradication of diseases (Farias & Buchalla, 2005). This also emphasizes the importance of its location, considering characteristics of the communities where they are. The objective of integrating with other health units (Temporão, 2010) aims that they must balance the necessary resources, once the technological densities of the PUH network are different and the sharing of resources avoids underutilization and waste, optimizing management. In this way, being responsible for their users through a horizontal, continuous and integrated relationship, the PUH are managed as a community shared management, in harmony with the neighborhoods where they are. Therefore, they demand a territorial integration through the flows of people and things. The importance of health centers to neighborhoods, considering their proximity and insertion, may have been used for the first time in the "Peckham experiment" (Pearce & Cricker, 2013). Between the years 1926 and 1950, George Scott Williamson and Innes Hope Pearse created the Pioneer Health Center in the Peckham neighborhood in south-east London. The objectives of this pioneering and radical proposal were to included residents of a socially vulnerable population, aiming the valuation of health care through the routine use of facilities and services of the accessible center, which included swimming pools, exercise equipment and socialization sites (Figures 1, 2 and 3).



Figure 1 and 2: Interior of the Peckham Health Center building, London. Today it was transformed into private leisure area for housing. <https://poulsomiddlehurst.com/blog/2016/9/23/peckhamexperiment> access 2016.

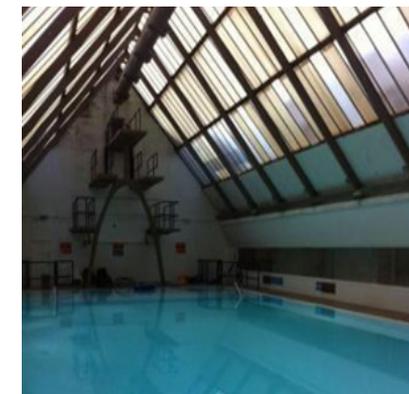


Figure 3: Interior of the Peckham Health Center building, now transformed into a private leisure area for housing. <https://www.architectsjournal.co.uk/news/culture/london-throws-open-its-doors/8652823>.article access 2016.

It is well known that one of the first theoretical reflections space to public health was created by John Snow, London, in 1854, because the cholera epidemic episode. Since then, according to the location, it has been an object of interest (Silva, 1997) and more and more the approaches covered fields conjugated the knowledge to the understand the phenomena. Seeking to deal with the totality of the built environment and health, Alexander (Alexander, Ishikawa & Sylvester, 1977) argued the need to build cities where the life cycle, the age of the people and proximity to healthcare were considered. That author pointed out that the Peckham's experiment as an example. He suggests that the development of small health centers for communities of up to 7,000 people must be scattered around the city in such a way that they provide healthcare but are organized essentially close to other places of recreational function and physical activity, which help people stay healthy, such as swimming, dancing, and other activities.

In the last 15 years, spatial analysis has been used with an emphasis on Health to support the concept of risk, due to the multiple possibilities given by the correlation of variables such as population location, resources and flows, through geographic information systems. To analyze the health situation of an urban region mapping its socioeconomic, health and environmental spaces, a revealing approach to urban space is possible, bringing a great contribution to Urban Health (Gondim et al., 2008). The use of this concept considers the territory occupied by a neighborhood that, over time, confers to space their local culture, on its territorial limits, resulting from an accumulation of historical, environmental and social situations. These aspects may be related to particular conditions for the production of diseases (Barcellos et al., 2002), especially in the urban context, where the majority of the population currently resides.

Likewise, in order to assess the impact of the location of primary healthcare services, it is necessary to recognize these territories as the delimiters of the surrounding space units. However, these spatial units should cover much more than simple political-operational cuts and should be understood as the spatial unit where the interaction between the population and the care services begins. In

addition to a geometric extension, it includes the demographic, epidemiological, administrative, technological, political, social and cultural profile that characterizes its inhabitants and expresses itself as an urban place in permanent construction (Monken et al., 2008). Brazilian geographer Milton Santos is considered one of the great influencers of the movement aiming to understand the health-disease process in the city as a social manifestation, pointing out, in its vast bibliography, the need to study this process through spatial and territorial issues (Faria & Bortolozzi, 2009). Today, powerful tools are available to investigate the correlations between Health Related Events (ERS) and urban space.

Meantime, despite the exponential growth of interest in the subject worldwide, most research remains “non-spatial” (Auchincloss et al., 2012). Spatial data are underutilized and so are the analytical tools available. The definition of spatial units has led institutions to search the same data, but with other units and bases, without intersectoral integration and without concerns about interoperability. In Brazil, this process has also proved to be a growing field (Barcellos & Ramalho, 2002) and its consolidation has occurred with the availability of quality georeferenced data, with the increase of the available computational capacity and the professional qualification in GIS applied on Health. One of the contemporary challenges is the research of new methodological possibilities

to understanding urban dynamics and location of healthcare actions (Perez, 2006), comprising a dynamic database with real-time collections and consultations.

As mentioned, the definition of the spatial unit of the territory is still controversial in the studies of the health conditions in the Brazilian urban space. One of the main problems refers to the data of the events related to health are collected according to the territorial logic of the SUS, which establishes its spatial unit through administrative objectives. This logic commands the visualization of health data in the territory, constituting an administrative imposition from information system adopted. Thus, the possibility of using different spatial units becomes relevant to overcoming the invisibility of some correlations between health, space and society. That is, it is expected today that a single data can be analyzed as being contained in different types of spatial units, whether an identifiable neighborhood, a watershed or a sanitary district. The results can be superimposed on demographic, socioeconomic, cultural and environmental issues. This will allow visualizing the data according to the interest of the study, incorporating the precepts of analytical simultaneity and interaction between different scales

### 3. MATERIALS AND METHODS

The methods can be summarized in Table 01:

Stages	Description
1. Collecting data of official coverage areas defined by SMSA-BH	Collecting secondary data showing the limits of attendance define by SMSA-BH (fig. 4)
2. Creating a Framework to define comprehensiveness of PHU in the neighbourhood by pedestrians	Theoretical research about accessibility and healthcare promoting equality and well being.
3. Collecting secondary data about city	preparing those data to create informative layers over the new area units to be calculated
4. Analysing Network of centerline of streets	creating network dataset including impedance to vehicles and pedestrian, the former with velocity based in median slope of each street segment
5. Applying Network Analysis in the 6669 streets segments	considering impedance to ambulances as maximum velocity of streets (ideal), and impedance to pedestrians as a table from BOVI (1973)
6. Applying Service Area technique using the new network, determining the areas of influence to vehicles and pedestrian and comparing it with the official delimited area	Discussing the differences and inferring reasons to it. Overlaying data of census tract adapted to new units' area. Concluding the validation of the method and its refutations

The official statistical aggregation unit to evaluate the impact of preventive actions in the urban space seems to be the area around the Health Centers (Barcellos & Ramalho, 2002) being a well characterized criteria. The Municipal Health Department of the city of Belo Horizonte (SMSA-BH) defines the areas of coverage by socioeconomic-sanitary homogeneity, e.g., areas that congregate spaces where internally homogenous population groups are concentrated, called PUH, taking into account to "objective conditions of existence". According to SMSA-BH:

"... these areas allow to conduct health surveillance through interdisciplinary and intersectoral actions according to the characteristics of the resident population. The micro-area has internal units of analysis that is used to monitoring the dwelling; living space of a micro-social unit, the nuclear family or extended. The house is the locus for triggering health interventions, seeking to promote the well-being of the population. ("Areas of Health Center Coverage | Shared Management", [n.d.]).

A case study was carried out, comparing the unit area defined by SMSA-BH and a spatial unit calculated by the importance of ease access to pedestrian and motorized access to the 147 PUH administered by SMSA-BH (Figure 4). These centers are distributed in 9 health districts and carry out more than 2.5 million medical consultations per year. In the case of any need for treatment, information or basic healthcare, one should go to the center closest to her/his home and their schedule routine or specialized consultations, perform examinations, follow up on chronic diseases, obtain vaccines and medicines, among other services. As mentioned before, each PUH has a defined coverage area. This area is delimited according to the population density of the Sanitary District where it is located, and it is supported by teams of health professionals, based on the size of the population and vulnerability criteria of each area (Op. Cit. "Areas of HealthCare Coverage | Shared Management", [n.d.]).

However, the concept of comprehensiveness is complex, based on the concept of pedestrian access to the health service, which has been discussed since the 1950s (Travassos & Martins, 2004), and which it is a fruitful field of debate on the evaluation

of health services. The problem is the technique related to planning and organizing the service network, and it must be combined with other explanatory dimensions such as those of politics, economics and culture, in an attempt to articulate the theoretical framework and the definition of the diversity of available data about the problem.

Through the city's road network were calculated the most economical routes for the delimitation

of areas covered by each PUH. To summarize this process, the following steps are detailed below, with the use of ArcGIS Software®, version 13.

### 3.1 PUBLIC STREET MAP

The centerline map representing the BH municipality street network was obtained through the OpenStreetMap website (OSM), a collaborative project



Figure 4: Localization of the Primary Health Unities (PUH) and coverage areas within the municipality of Belo Horizonte. Source: the author. IBGE 2010 / PBH 2014 Data.

site for creating a free and editable mapping of all urban spaces. The data is updated to each mapping collaboration, with quality compatible with Network Analyst. It is necessary to download the mapping of streets in the "shp" extension and separate the area of interest with the geoprocessing> clip command using a shape over the area. It is necessary to pay attention on the tables of OSM and the versions of GIS software, as they continuously change the interface to input data and algorithm to calculate impedances and other variables.

A triangulated irregular network (TIN surface) was created and from the territory, which derived in a raster representing altimetry. The raster map was produced, with the sequence :

a) *arctoolbox> 3D analyst Tools> raster surface> slope.*

The slope value was obtained from 3 points of each street segment, calculated in the sequence

b) *arctoolbox> spatial analyst tools> extraction> extract values to points using the layers of the points and the raster as inputs.*

Finally, the values of the tables were joined (join) and produced as output a map of the streets of all municipality of Belo Horizonte containing the value of slope for the 3 points of each segment. Figure 5 and Figure 8 show the process described, in three different moments.

The output was a layer with all the segments divided into its intersections. This layer preserved all data of the centerline map table.

The calculation of the mean slope for each street segment used the calculation model (Figure 7). The already adjusted centerline map was divided (49,885

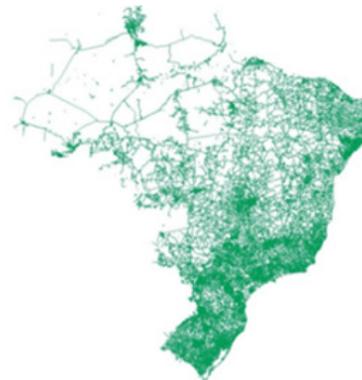


Figure 5: All segments of road in Brazil, OSM 2014 Data.

segments) into 3 points (Start, Middle and End). From there, it was the input to the following sequence  
*arctoolbox> data management tools> features> features vertices to points.*

That generated three layers, each with the start, middle, and end points of the segments.

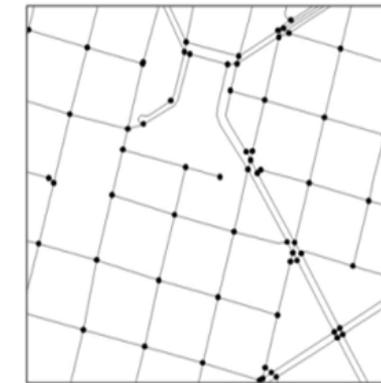


Figure 6: Split of road segments. Source: the author.

### 3.2 DATABASE CREATION FOR THE ANALYSIS OF THE STREET NETWORK

Next, this map received some additional information to compose a database for the Network Analyst, indicating the type of each segment (streets, highways, alleys, etc.), the maximum speed allowed for cars, and segment slope road network.

To the Network Analyst module work correctly, the network was divided into vertex-connected polylines representing the corners and other junctions (Figure 5 and Figure 6). For this division, the centerline map was used as the input for the sequence of commands

*arctoolbox> data management tools> features> feature to line.*

<http://disegnarecon.univaq.it>

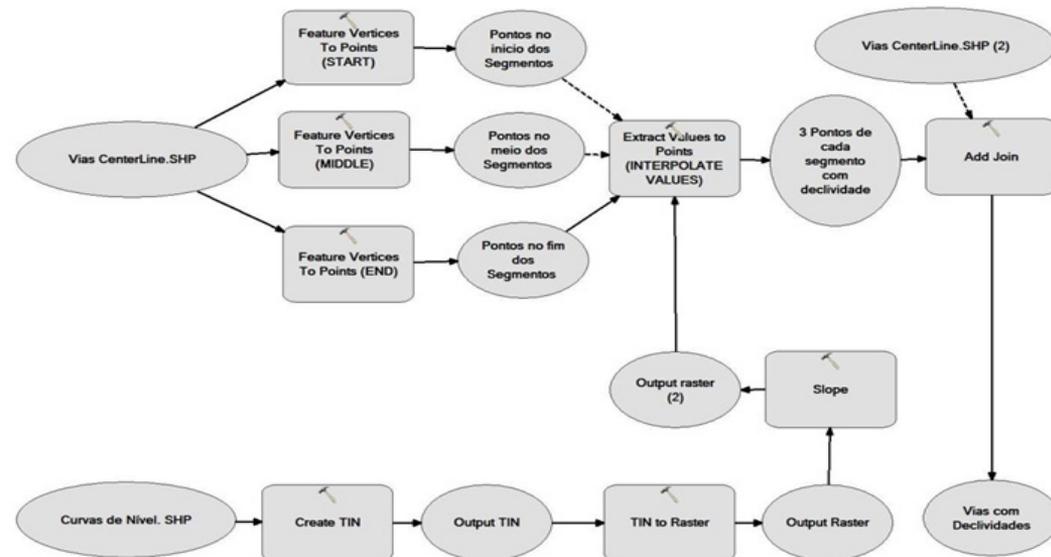


Figure 7: Model Builder ArcGis for determining the mean slope of the tracks. Source: the author.

Next, using the map with the contour features of the municipality level, a triangulated irregular Network (TIN surface) was made and from it, a raster representing altimetry. The raster map of slope was produced with the sequence:

a) *arctoolbox> 3D analyst Tools> raster surface> slope.*

The slope value of the 3 points of each segment was calculated in the sequence

b) *arctoolbox> spatial analyst tools> extraction> extract values to points,* using the layers of the points and the raster as inputs.

Finally, the values of the tables were joined (>join) and it was obtained as output a map of the streets of Belo Horizonte containing the value of slope for the 3 points for each segment (Figure 8).

Once the information of the three points in the layer table with the network street segments was included, another column was implemented, with the calculation of the mean of the 3 points for each streets segment.

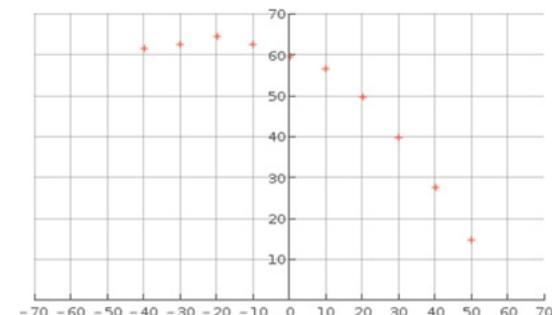
### 3.3. IMPLEMENTATION OF IMPEDANCE DATA

The analysis of street networks may consider pedestrians and vehicles. For the first case, it takes into account the average speed of people walking, and different speeds according to the slope of the

direction of the walk (if uphill or down), the age of the pedestrian, climate conditions and so on. For the second case, it takes into account the information about the route hierarchy, traffic volume and direction, direction of conversions and maximum speeds allowed. The pedestrian movement was considered a priority, focusing on the characteristics of the evaluation of access to the BHU by the residents. Likewise, considering the need to facilitate the movement of elements of logistics, and considering the principle of sharing technological resources and specialized services, the values for the calculation of motor traffic (ambulances) were also calculated. The elements for calculating these two types of movements are explained below.

The resistance offered to pedestrians and cars on their route is called "Impedance". As mentioned, average values should be considered for the speed of walking under different influences, from the slope and the age of the pedestrians, to the temperature and density of people on the sidewalks. There are many researches related to this subject (Daamen, Hoogendoorn & Bovy, 2005; Hoogendoorn & Bovy, 2002; Hoogendoorn; Bovy & Daamen, 2002).

Chart 1 and Table 2, that corresponds to the graphic, relate slope (x) and velocity of the walk. The negative values refer to the downward slope, and positive slope (Bovy, 1973).



Graph 1: Velocity and slope in the movement of pedestrians. Source: Bovy, 1973.

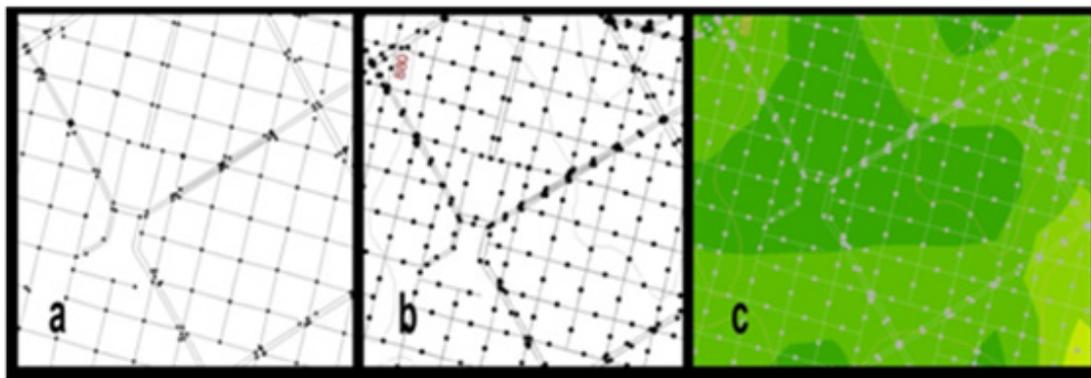


Figure 8: regularization of a) segments, b) creation of the 3 points, c) overlapping the slope map. Source: the author.

Slope (%)	Velocity (m/min)
-40	62
-30	63
-20	65
-10	63
0	60
10	60
20	50
30	40
40	28
50	15

Table 2: Declivity and Speed determined empirically by Bovy, 1973.

Concerning vehicles, the street segment table received data that stores information about the direction of the cars and others. ArcGIS 10.2 considers the direction of the design process of the street segments, e.g., whether they are drawn with the same direction or not from the actual pathways. Considering the two digitized drawings of the tracks of figure 9, where the red arrows indicate how the tracks were drawn and the green arrows indicate the direction of the actual tracks, in both scans there is a need to create a variable (called OneWay) to store the directions of paths in the table of the respective layer.

Figure 9a shows the direction of design of one of the tracks that does not corresponds to the direction of the actual traffic. When this happens, that means, when scanning was not done concerning the record of the direction of the traffic, the FT (From-To), TF (To-From) and B (Both) signals are included in the column as the variable OneWay, and the street that do not correspond the actual will be marked as OneWay = TF, which indicates the direction of the green arrow, real direction. Figure 9a, therefore, show the two-way path that is annotated with OneWay = B. In Figure 9b, the streets were scanned in the directions of the veritable direction of traffic, marked by the green arrows. In this way, the OneWay variable can be annotated with values 0 and 1, indicating double hand or single direction, respectively. A Visual Basic script is required, in both cases, to parameterize the study of movements through the OneWay variable. The advantage of adopting the roadmap from the OSM is that, in the time of this research, the OneWay variable is already drawn as in Figure 9b and is always updated with the real sense of the way, simplifying the script, as will be seen

The information about the street direction was sufficient to finalize the road segment map data set, and it was possible to proceed with the network analysis through the ArcGIS application. This software uses mathematical algorithms available in the Network Analyst geoprocessing module, which are based on the classic Dijkstra algorithm (Skiena, 1990), allowing the calculation of the route impedance (cost) between one point and another within the network. It is necessary to mention that the new versions of OSM and the software are changing this method, and it requires attention to introduce the inputs.

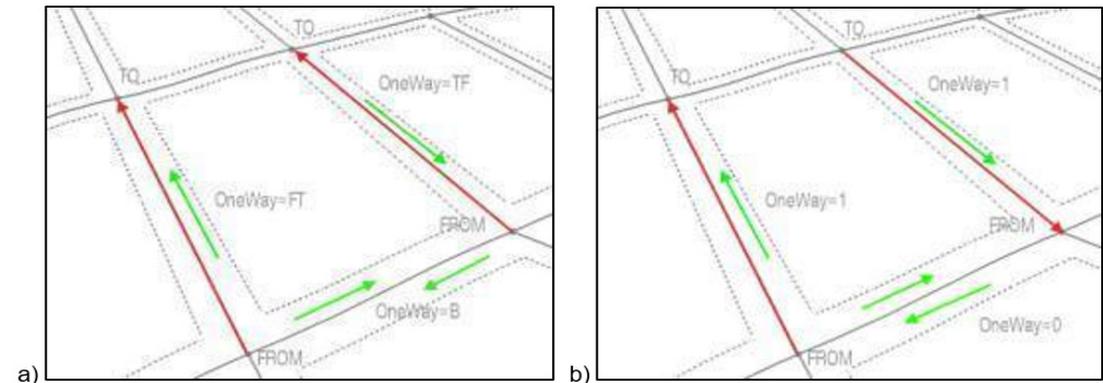


Figure 9, a and b: OneWay variable in different notations.

The information about the street direction was sufficient to finalize the road segment map data set, and it was possible to proceed with the network analysis through the ArcGIS application. This software uses mathematical algorithms available in the Network Analyst geoprocessing module, which are based on the classic Dijkstra algorithm (Skiena, 1990), allowing the calculation of the route impedance (cost) between one point and another within the network. It is necessary to mention that the new versions of OSM and the software are changing this method, and it requires attention to introduce the inputs.

### 3.4 CREATION OF VEHICLES NETWORK

The final step consisted in the creation of two networks, from the layer of streets implemented with the previous information, permitting to analyze the movements of automobiles and pedestrians. As explained above, a script was written to recognize the direction signaling of the city's streets, in the case of network analysis for automobiles. Also, the network for analysis of the movement of pedestrians needed a script relating the velocity data and the slope of the rides, as mentioned previously. The insertion of this script was done in the creation of the Dataset Network (Figure 10).

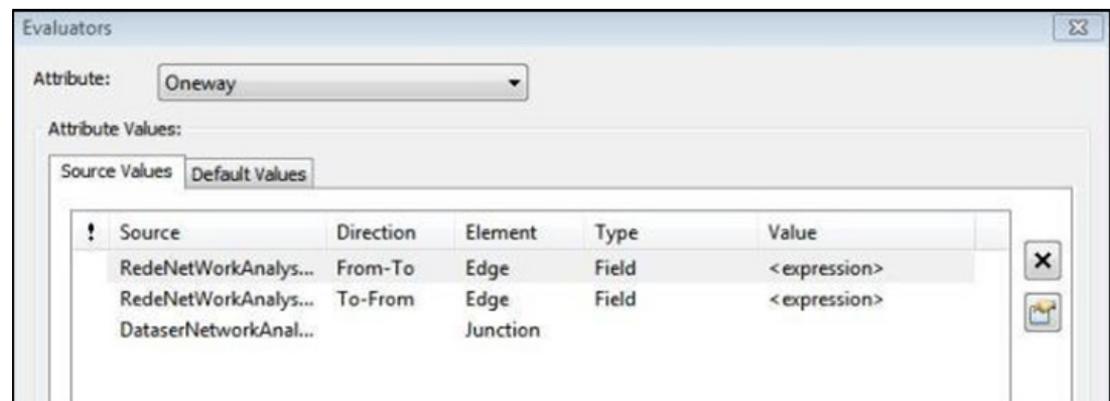


Figure 10: Attributes to evaluate the rules of the mathematical model built for automobiles.

Scripts created for the Oneway attribute: In the direction From-To

```

1 restricted=false
2 If [type]="footway" or [type]="construction" or [type]="cycleway" or [type]="living_street" or [type]="motorway" or [type]="motorway_link" or [type]="path" or [type]="pedestrian" or [type]="planned" or [type]="proposed" or [type]="raceway" or [type]="service" or [type]="steps" then
3 restricted=true
4 end if
Value=restricted

```

By adopting the path map of OpenStreetMap, it is not necessary to restrict movement in the sense of typing the segments, that is, the From-To direction will always be unrestricted. The same occurs for the double-hand annotated condition in the OneWay variable as zero. The If-Then condition on line 2 restricts the test to tracks other than car tracks.

Scripts created for the Oneway attribute: In the To-From direction

```

1 restricted=false
2 If [oneway]=1 then
3 restricted=true
4 end if
5 If [type]="footway" or [type]="construction" or [type]="cycleway" or [type]="living_street" or [type]="motorway" or [type]="motorway_link" or [type]="path" or [type]="pedestrian" or [type]="planned" or [type]="proposed" or [type]="raceway" or [type]="service" or [type]="steps" then
6 restricted=true
7 end if
Value=restricted

```

## 2.5 CREATING THE NETWORK FOR PEDESTRIANS

Scripts adopted were From-To:

```

If [Inicio]<[Fim] Then
sentido="sobe"
If [Declividade]>0 then
t=[Shape_Length]/60
End If
If [Declividade]>0<=10 then
t=[Shape_Length]/60
End If
If [Declividade]>10<=20 then
t=[Shape_Length]/50
End If
If [Declividade]>20<=30 then
t=[Shape_Length]/40
End If
If [Declividade]>30<=40 then
t=[Shape_Length]/28
End If
If [Declividade]>40<=50 then
t=[Shape_Length]/15
End If
Else
sentido="desce"
If [Declividade]>0<=10 then
t=[Shape_Length]/60
End If
If [Declividade]>10<=20 then
t=[Shape_Length]/65
End If
If [Declividade]>20<=30 then
t=[Shape_Length]/63
End If
If [Declividade]>30<=40 then
t=[Shape_Length]/61
End If
End If
Value=t

```

Scripts adopted were To-From:

```

If [Inicio]<[Fim] Then
sentido="desce"
If [Declividade]>0<=10 then
t=[Shape_Length]/63
End If
If [Declividade]>10<=20 then
t=[Shape_Length]/65
End If
If [Declividade]>20<=30 then
t=[Shape_Length]/63
End If
If [Declividade]>30<=40 then
t=[Shape_Length]/61
End If
Else
sentido="sobe"
If [Declividade]=0 then
t=[Shape_Length]/60
End If
If [Declividade]>0<=10 then
t=[Shape_Length]/60
End If
If [Declividade]>10<=20 then
t=[Shape_Length]/50
End If
If [Declividade]>20<=30 then
t=[Shape_Length]/40
End If
If [Declividade]>30<=40 then
t=[Shape_Length]/28
End If
If [Declividade]>40<=50 then
t=[Shape_Length]/15
End If
End If
Value=t

```

By using the OneWay variable obtained from OpenStreetMap, it will restrict access by the thread when it takes a value of 1 (Figure 11).



Figure 11: OneWay variable on the red centerlines indicating with red arrows the direction of the scan. Black arrows indicate the actual direction of the streets.

These scripts regulate the speed of pedestrians and calculate the time they spend to cycle through the walking segments. The variable [Shape\_Length] is the length of each walk segment, stored in the associated table. The velocity is chosen according to the slope of the stretch, in the Table 2. From this, the direction of the movement of the pedestrian is evaluated: ascent (slope) or descent (slope properly speaking).

## 4. RESULTS AND ANALYSIS

Considering the set of information reported for the construction of the database, we will describe some of results derived from the analytical procedure, namely Pedestrian Influence, Motorized Influence (both Service Area Method) and Location-Distribution analysis.

### 4.1 SERVICE AREA

In this analysis, pedestrian and car data were considered to visualize the domains of each PHU. It was mapped the reach area of the PUH to pedestrians walking times of up to 15 minutes (Figure 12).

It should be noted that the parameters for this calculation were the speeds, comprised according to the slope, as explained above. In this way, figure 12 shows a limited access by footpath, according to the parameters adopted. This situation is even more critical in the PUH of the Regional Barreiro, which have the smallest areas marked by the isochronic curves. Considering the walking time of 30 minutes (Figure 13).

The comparison of these two mappings indicates a reduction of the area of influence of the PUH, and simultaneously does not correspond to the areas of coverage determined officially. It can also be concluded the need for research on concepts related to "walking distances" in Belo Horizonte city (Leslie et al., 2007; Murekatete & Bizimana, [n.d.]) These concepts have many references in the health literature oriented for cardiac and respiratory diseases, but in the meantime, there is few data about in Brazil. The junction of the polygons in figure 13 suggests the existence of isochronic rings that communicate the PUH in 30-minute walks. The area of the rings can be an indicator of strong impedance and a hard walking to the PHU, probably decreasing the familiarity of it among dwellers. Some PUH of Barreiro, such as PUH named Olhos D'água has the smallest area of influence, characterizing the slope interference.

Another possible future discussion concerns the age of pedestrians, which establishes different speeds for reaching the facility. In the case under study, the speed pattern was generalized to be inclusive, considering people over 65 years.

#### 4.2 INFLUENCE OF MOTORIZED (SERVICE AREA)

The areas of influence of the PUH through automobiles were calculated (Figure 14). A problem related to the technological stage of the Brazilian scenario is the lack of data of automobile and pedestrian traffic volume, since traffic volume and pedestrian density are empirical data that need to be updated every day of the year to reach some predictability. In this case, the maximum speeds of the road segments have been considered, ideal but reliable for ambulances. This indicates that instruments based on temporal impedance will fail in this context.

#### 4.3. LOCATION-ALLOCATION

It allows to visualize the optimal areas of demand for them to be attended by PUH. This analysis results in a set of lines that synthesize the path through the geometric road segments from the PUH to the point of demand, that is, address points of buildings and houses that have the least time impedance. The lines that go from each Regional Barreiro building to the closest PUH (less impedance of walking time) were established (Figure 15). Differing from the Service Area analysis, this study allows to list which numbers of household are on the influence of PUH. If it is considered an indicator, it will be possible to determine how many home connections will be supported for the capacity of each PUH at time intervals, supporting economic decisions. The overlapping data is also mapped, with the example of the Health Vulnerability Index (HVI) and the population over 65 in each census tract (Figure 16). The continent polygon of all time lines could be the aggregation of data for elderly population, helping to relocate census tracts in a different way, producing areas of aggregation with indicators that in fact would allow a spatial homogeneity. This last observation expresses the need for analyzes to reconstruct significant new aggregation units.

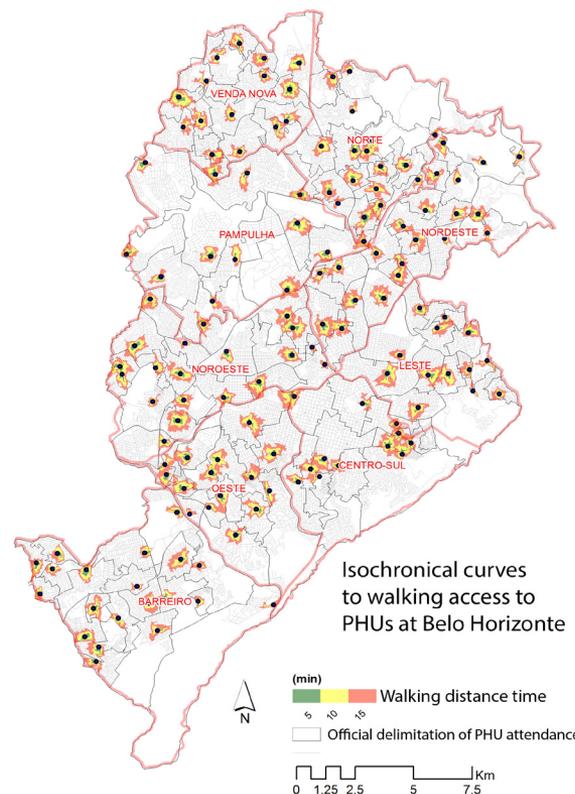


Figure 12: Service Areas for pedestrian. Source: the author.

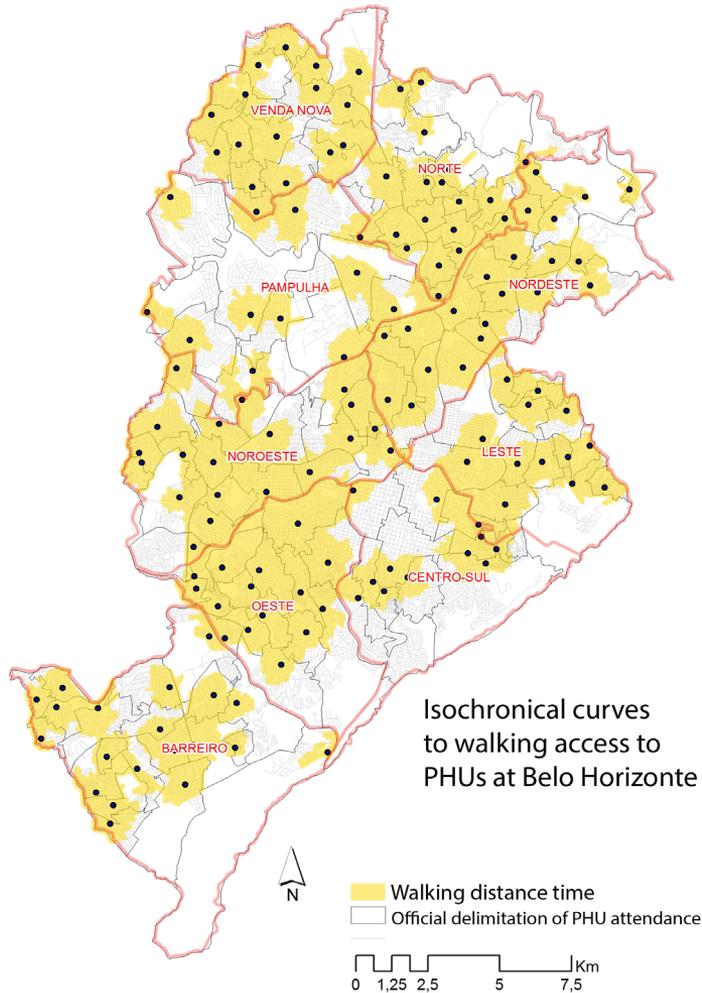


Figure 13: Service Areas for pedestrian considering speed impedance depending on slope. Source: the author.

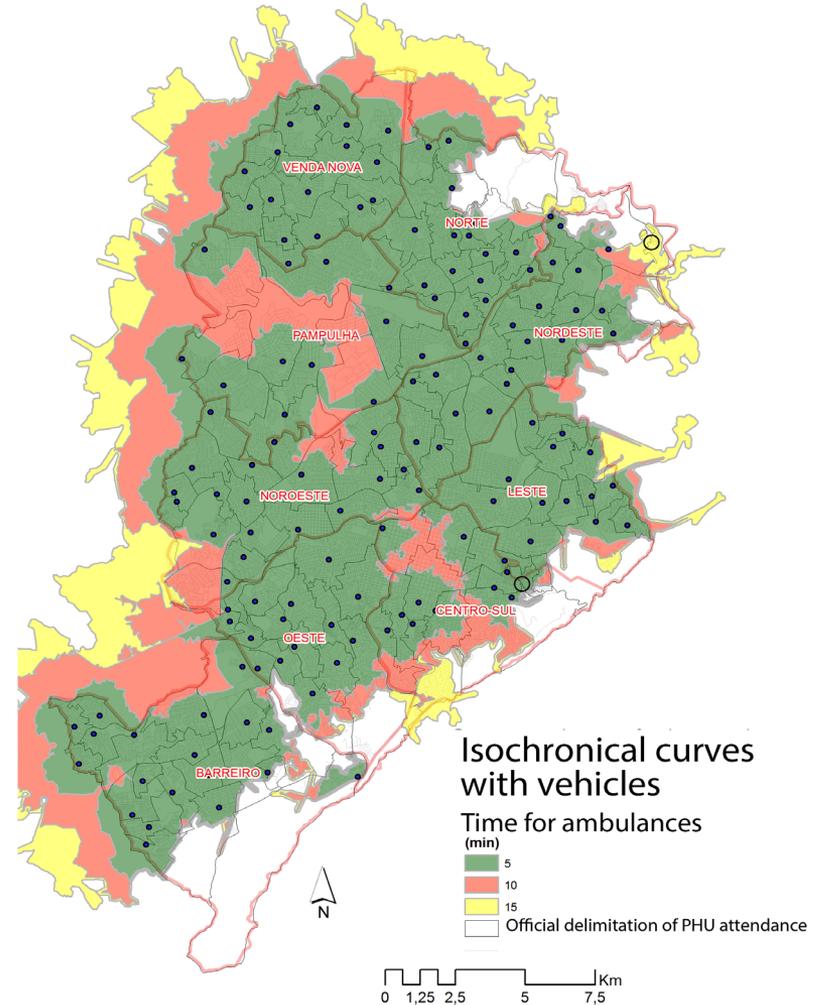


Figure 14: Service area with vehicles. Source: the author.

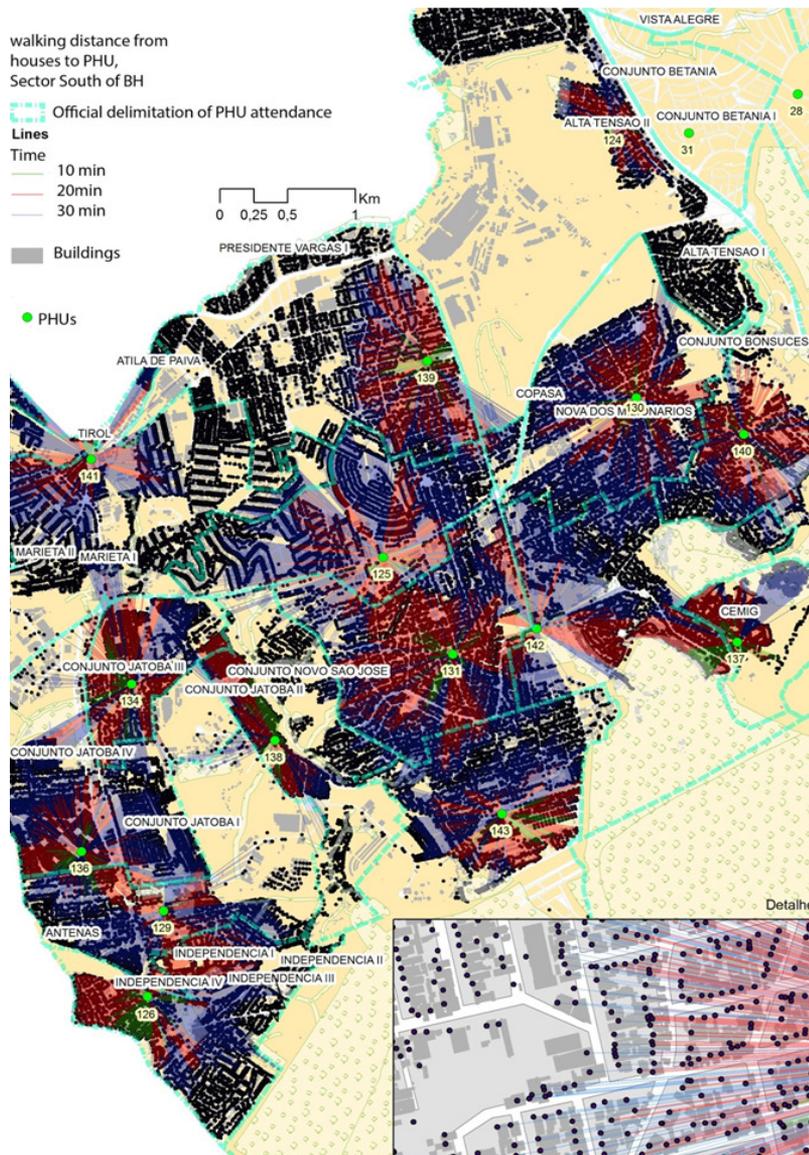


Figure 15: Location-Allocation with lower impedance to pedestrian from their houses to PHUs. Source: the author.

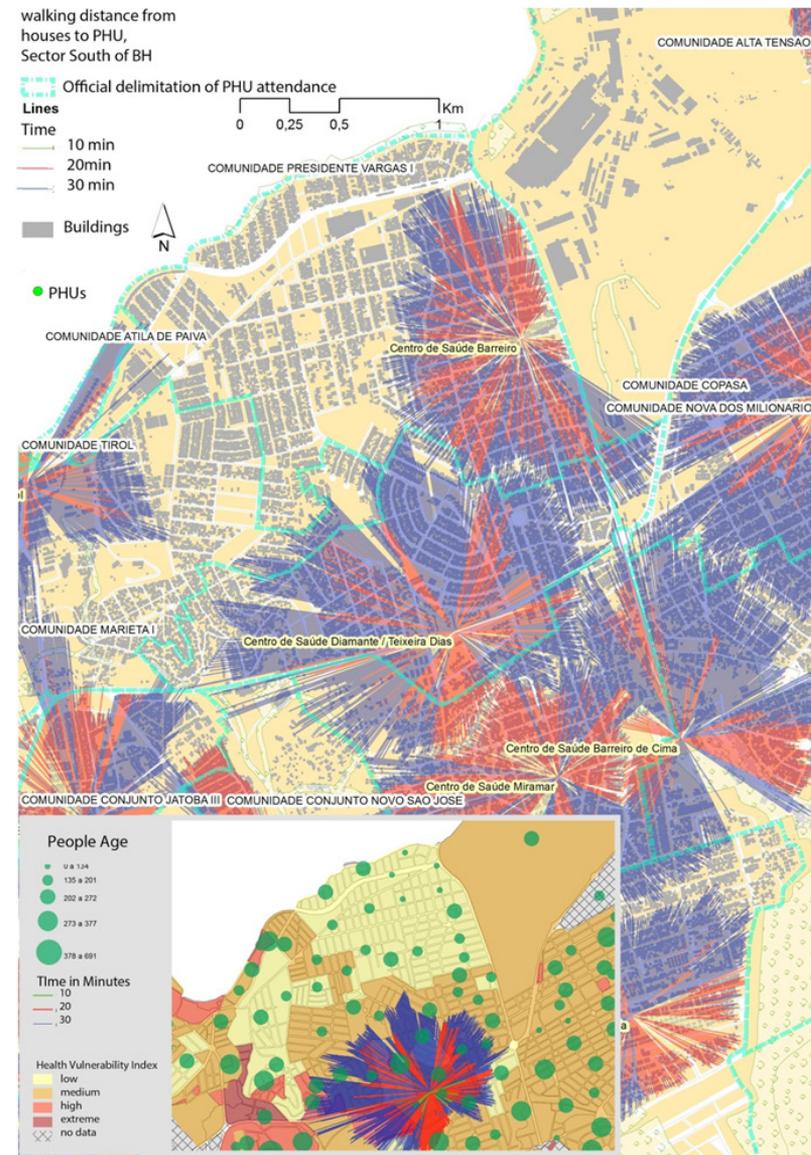


Figure 16: Location-Allocation. Aged people and vulnerability. Source: the author.

## 5. FINAL CONSIDERATIONS

This case study aimed to demonstrate the potential of territorial analysis and health investigations regarding the possible spatial constraints of greater or lesser access to PHU in an urban context, wishing to enrich the debate on the direction of Health in the Brazil.

Preliminarily, the study verifies the concept of the health center in a positive and integrated way to the neighborhood. Then, according to the parameters adopted, it presents a smaller access by the footpath, besides describing some PUH with restricted areas of coverage, suggesting a small area of influence and insignificant correspondence with the respective administrative area. This lack of overlap tends to suggest limitations between the areas (of influence and administrative) which compromises the effectiveness of policies planned for a particular cut. Such a mismatch may conceal singularities from areas closer to what occurs to reduce travel time and service delivery.

The study of the obstacles of the territory is a subject that needs a long research and can be treated with the same operational bases described here, stopping in important verifications as the models of environmental perception, cognition and geography (Wood, Kitchin & Blades, 2002) and health. Finally, I believe that approach adopted could figure in the earlier stages of urban projects in consolidates countries (with strong and correct databases) for the developing a very useful tool to support Geodesign applied in the public gestion.

## REFERENCES

Alexander, C., Ishikawa, S., & Silverstein, M. (1977). *A Pattern Language: Towns, Buildings, Construction*. New York: Oxford University Press.

Áreas de Abrangência dos Centros de Saúde | *Gestão Compartilhada*. (n.d.). Retrieved 4 January 2016, from <http://gestaocompartilhada.ph.gov.br/estrutura-territorial/areas-de-abrangencia-dos-centros-de-saude>

Auchincloss, A. H., Gebreab, S. Y., Mair, C., & Roux, A. V. D. (2012). A Review of Spatial Methods in Epidemiology, 2000–2010. *Annual Review of Public Health*, 33(1), 107–122.

Barcellos, C. C., & Ramalho, W. M. (2002). Situação atual do geoprocessamento e da análise de dados espaciais em saúde no Brasil. *Informática Pública*, 221–230.

Barcellos, C. C., Sabroza, P. C., Peiter, P., & Rojas, L. I. (2002). Organização espacial, saúde e qualidade de vida: análise espacial e uso de indicadores na avaliação de situações de saúde. *Informe Epidemiológico do SUS*, 11(3), 129–138.

Bovy. (1973). *Reseaux et Espaces Piétonniers*. Institut de Technique des Transports.

Daamen, W., Hoogendoorn, S., & Bovy, P. (2005). First-Order Pedestrian Traffic Flow Theory. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1934, 43–52.

da República, P. (2011). *Decreto n.*

7508. Retrieved 2 January 2016, from [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2011/decreto/D7508.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2011/decreto/D7508.htm)

Faria, R. M., & Bortolozzi, A. (2009). *Espaço, território e saúde: contribuições de Milton Santos para o tema da geografia da saúde no Brasil*. Editora UFPR, 17, 31–41. Retrieved from [http://www.rets.epsjv.fiocruz.br/sites/default/files/espaco\\_territorio\\_e\\_saude.pdf](http://www.rets.epsjv.fiocruz.br/sites/default/files/espaco_territorio_e_saude.pdf)

Farias, N., & Buchalla, C. M. (2005). The international classification of functioning, disability and health: concepts, uses and perspectives. *Revista Brasileira de Epidemiologia = Brazilian Journal of Epidemiology*, 8(2), 187–193.

Gondim, G. M. de M., Monken, M., Rojas, L. I., Barcellos, C., Peiter, P., Navarro, M., & Gracie, R. (2008). O território da saúde: a organização do sistema de saúde e a territorialização. Miranda AC, Barcellos C, Moreira J, Monken M. (Org.). *Território, Ambiente e Saúde*. Rio de Janeiro: Fiocruz, 237–255.

Hoogendoorn, S., & Bovy, P. (2002). Normative pedestrian behaviour theory and modelling. *Transportation and Traffic Theory*. Retrieved from [http://www.safetylit.org/citations/index.php?fuseaction=citations.vie\\_wdetails&citationids%5B%5D=citjo\\_urnalarticle\\_241769\\_38](http://www.safetylit.org/citations/index.php?fuseaction=citations.vie_wdetails&citationids%5B%5D=citjo_urnalarticle_241769_38)

Hoogendoorn, S. P., Bovy, P. H. L., & Daamen, W. (2002). Microscopic pedestrian wayfinding and dynamics modelling. *Pedestrian and Evacuation Dynamics*, 123, 154.

Leslie, E., Coffee, N., Frank, L., Owen,

N., Bauman, A., & Hugo, G. (2007). Walkability of local communities: using geographic information systems to objectively assess relevant environmental attributes. *Health & Place*, 13(1), 111–122.

Lynch, K. (1997). *A imagem da cidade*. Tradução Jefferson Luiz Camargo. São Paulo: Martins.

Monken, M., Peiter, P., Barcellos, C., Rojas, L. I., Navarro, M., Gondim, G. M. M. (2008). O território na saúde: construindo referências para análises em saúde e ambiente. Miranda AC, Barcellos C, Moreira JC, Monken M. (Org.). *Território, Ambiente e Saúde*. Rio de Janeiro: Fiocruz, 23–41.

Murekatete, R. M., & Bizimana, J. P. (n.d.). A GIS-based Approach for Developing Urban Walkability Indices: *The Case of Kigali City, Rwanda*. Retrieved from [https://www.geotechrwanda2015.com/wp-content/uploads/2015/12/185\\_Rachel-Murekatete.pdf](https://www.geotechrwanda2015.com/wp-content/uploads/2015/12/185_Rachel-Murekatete.pdf)

Pearse, I. H., & Crocker, L. H. (2013). *The Peckham Experiment: A study of the living structure of society*. Retrieved from <https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=oWGAAAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&ots=DDJcQJnWT&sig=bASXv-E6vldYKD-eZdc4F8Ms2Wo>

Perez, G. (2006). *Adoção de inovações tecnológicas: Um estudo sobre o uso de sistemas de informação na área de saúde*. Universidade de São Paulo. Retrieved from <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/12/12139/tde-15042007-165611/>

Pitchon, A. (2013). *Índice de*

*Vulnerabilidade da Saúde 2012*. Belo Horizonte: Prefeitura de Belo Horizonte.

Silva, L. J. da. (1997). The concept of space in infectious disease epidemiology. *Cadernos de Saúde Pública*, 13(4), 585–593.

Skiena, S. (1990). *Dijkstra's Algorithm*. Implementing Discrete Mathematics: Combinatorics and Graph Theory with Mathematics. Reading, MA: Addison-Wesley, 225–227.

Steinitz, C. (2012). *A Framework for Geodesign: Changing Geography by Design*. Esri Press.

Temporão, J. G. (2010). *Portaria n. 4.279 de 30 de dezembro de 2010*. Retrieved 1 March 2016, from [http://conselho.saude.gov.br/ultimas\\_noticias/2011/img/07\\_jan\\_portaria4279\\_301210.pdf](http://conselho.saude.gov.br/ultimas_noticias/2011/img/07_jan_portaria4279_301210.pdf)

Travassos, C., & Martins, M. (2004). Uma revisão sobre os conceitos de acesso e utilização de serviços de saúde. *Cadernos de Saúde Pública*, 20. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2004000800014>

Weil, S. (2001). *O enraizamento*: Tradução Maria Leonor Loureiro. Editora Da Universidade Do Sagrado Coração, Bauru.

Wood, D., Kitchin, R., & Blades, M. (2002). *The cognition of geographic space*. (S. M. Press, Ed.). I. B. Tauris & Co.

World Health Organization. (2008). *Relatório Mundial de Saúde 2008 - Cuidados de Saúde Primários. Agora Mais Que Nunca*. (World Health Organization, Ed.). World Health Organization.

## ***Análise da rede urbana para a saúde***

### 1. INTRODUÇÃO

O Sistema Único de Saúde do Brasil (SUS) é o maior sistema de saúde do mundo com características de universalidade, equidade e gratuidade. Desde sua criação, em 1988, um de seus maiores desafios é o de garantir o acesso de toda população aos serviços de saúde com qualidade. Entretanto, ainda há uma realidade desigual e excludente significativa na distribuição desses serviços no país. Tenta-se então amenizar esse problema priorizando uma rede de Atenção Primária à Saúde (APS) em nível territorial, seja municipal ou por regiões de saúde, considerando-a como uma melhor porta de entrada para o SUS. As relações do território com vistas à organização dos serviços do SUS foram definidas pelo Decreto 7508 (2011) no qual também se renova a importância da APS conforme as recomendações do Relatório Mundial de Saúde 2008 (OMS 2008).

Em Belo Horizonte, o mapeamento da distribuição de recursos humanos, de ações e de serviços de saúde ofertados pelo SUS passou a ser feito, colocando a estrutura do espaço público e suas dimensões físicas como integradoras, juntamente com outros aspectos ambientais e de indicadores de saúde para nortear a priorização das implementações (Pitchon, 2013). Por essa razão apresenta-se como cidade de interesse na avaliação da configuração de sua estrutura espacial de UBS. O critério do número de pessoas residentes numa determinada localidade foi utilizado na especificação da menor unidade espacial de atuação das equipes de saúde da família. Na década de 1990, a Secretaria Municipal de Saúde de Belo Horizonte inovou ao implementar um modelo de APS que conjugava o critério estabelecido pelo SUS com balizamento do Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) na definição das áreas prioritárias de atuação e do número de equipes

de saúde da família para cada UBS. A cidade foi dividida em 9 Regiões Administrativas, os Distritos Sanitários, onde estão localizados um número diferenciado de UBS. Esses esforços direcionaram-se à oferta de serviços de qualidade, com maior equidade, fácil acesso e em tempo adequado ao atendimento das necessidades de uma porção maior da população. Simultaneamente, visavam fortalecer a atenção aos ciclos da vida, com temáticas diversas, enfatizando-se por exemplo, as áreas e populações de maior vulnerabilidade. Esses aspectos conferiram extrema importância à discussão da localização das unidades e serviços da APS no espaço urbano, exigindo a problematização de metodologias para a sua avaliação e implementação.

### 2. PROBLEMATIZAÇÃO

As unidades da APS são consideradas coordenadoras do cuidado e da comunicação com as demais redes

do SUS e concretizam sua presença no espaço urbano por meio de sua localização em áreas limitadas denominadas “áreas de abrangência”. Dois objetivos que integram as suas finalidades estabelecem relações com o espaço urbano de modo explícito: em primeiro lugar ela deve oferecer atenção à saúde de forma completa; e, em segundo, deve favorecer as condições de integrar-se funcionalmente às outras unidades da rede. Quanto à primeira, as UBS cuidam hoje da promoção, prevenção e assistência à saúde coletiva, ultrapassando apenas a erradicação de doenças (Farias & Buchalla, 2005). Seu sucesso depende, portanto, da sua localização e tentando considerar as singularidades das comunidades onde se inserem, uma vez que a receptividade dos cidadãos é que as transformam em um elemento da vida urbana local. Ao se integrarem às outras unidades de saúde (Temporão, 2010), as UBS tendem a equilibrar a distribuição dos recursos necessários para uma atuação mais profícua, principalmente considerando que as densidades tecnológicas das redes de APS diferem, e esse compartilhamento evita a subutilização e o desperdício.

Dessa maneira, busca-se congrega uma relação horizontal, contínua e integrada em uma gestão compartilhada em consonância com as vizinhanças onde se localizam as UBS. A apropriação delas pela vizinhança parece ser capaz de proporcionar uma relação mais eficaz, promovendo o enraizamento da população, o uso espontâneo e participativo do ambiente urbano (Weil, 2001) integrado ao ato de residir. Simultaneamente, as UBS demandam uma integração territorial através dos fluxos de pessoas e de coisas, criando uma hinterlândia (zona de influência), que fortalece a rede e disponibiliza a tecnologia e os serviços.

A importância dos centros de saúde para as vizinhanças, considerando sua proximidade e inserção como enraizamento, talvez tenha sido registrada pela primeira vez quando do chamado “Peckham experiment” (Pearse & Crocker, 2013). Entre os anos de 1926 e 1950, George Scott Williamson e Innes Hope Pearse criaram o Pioneer Health Centre, na vizinhança de Peckham, sudeste de Londres (Figuras 1 e 2). Os objetivos dessa proposta pioneira e radical incluíam despertar nos moradores da região, população socialmente vulnerável, a valorização do cuidado à sua saúde por meio do uso rotineiro das

instalações e dos serviços do centro. Esse incluía piscinas, equipamentos para exercício físico e locais para a socialização. A proposta visava preservar a assiduidade ao centro e com ela, a prevenção evitando o agravamento de diversas doenças.

Uma das primeiras reflexões teóricas sobre o conceito de espaço aplicado à saúde pública foi a de John Snow, em Londres, 1854, por ocasião da epidemia do cólera. Desde então, o diferencial de saúde, conforme a localização no espaço urbano, vem sendo objeto de pesquisas (Silva, 1997) e, cada vez mais, as abordagens abrangem campos conjugados para a melhor compreensão dos fenômenos territoriais. Em se tratando da busca de uma totalidade entre o ambiente construído e a saúde das pessoas, Alexander e colegas (Alexander, Ishikawa, & Silverstein, 1977, p. 236) argumentaram sobre a necessidade de se construir as cidades em maior consonância com o ciclo vital e a idade das pessoas. Vizinhanças poderiam mesclar mais e melhor seus indivíduos e reconhecer os ritmos de passagem de um ciclo etário ao outro, com espaços mais apropriados às limitações individuais, como por exemplo, a de movimentos. Aqueles autores também consideram que um sistema de saúde que consiga manter a saúde física e mental das pessoas deve-se enfatizar ações relacionadas à manutenção da saúde e não somente ao tratamento de enfermidades. Consequentemente, o espaço deve ser fisicamente descentralizado para situar-se o mais próximo possível às atividades cotidianas, criando estímulos para práticas diárias que promovam a saúde, tal como a simples sociabilidade, a natação, a dança, esportes ao ar livre e tratamento médico incidental para estas atividades. Os autores terminam comentando que tais espaços sucumbem à percepção geral de que tratam somente de doenças e casos de enfermidades, e não de saúde (Figura 1 e Figura 2).

Figuras 1, 2 e 3: Interior do edifício do Centro de Saúde de Peckham, Londres, hoje transformado em área de lazer privativa para um condomínio de apartamentos. Fonte: Internet acesso 2016.

Nos últimos 15 anos, a Análise Espacial vem sendo utilizada com ênfase na Saúde para dar suporte ao conceito de risco, em função das múltiplas possibilidades advindas da correlação de variáveis como a localização

da população, recursos e fluxos através de sistemas de informação geográfica (GIS). A espacialização da situação de saúde de uma região urbana sobreposta, em seu mapeamento, às especializações socioeconômicas, sanitárias e ambientais, possibilita uma aproximação mais reveladora do que realmente acontece no espaço urbano, revelando-se uma grande contribuição (Gondim et al., 2008). Entretanto, o uso desses procedimentos considera que o território ocupado por uma vizinhança, ao longo do tempo, confere-lhe limites territoriais e físicos resultantes da acumulação de situações históricas, ambientais e sociais. A ênfase a estas variáveis do enraizamento, entretanto, dá-se na consideração de que tais fatores constituem informação sobre a capacidade de suas características ativarem condições particulares para a produção de doenças (Barcellos, et al., 2002; Gondim et al., 2008; Barcellos & Ramalho 2002).

Igualmente, para que se possa avaliar mais precisamente o impacto da localização dos serviços de atenção primária à saúde, é necessário o reconhecimento de tais territórios como os delimitadores das unidades espaciais das vizinhanças. A extensão geométrica merece abarcar uma multiplicidade de dados para identificar mais e melhor o perfil demográfico, epidemiológico, administrativo, tecnológico, político, social e cultural que caracteriza seus habitantes e se expressa em um espaço urbano em permanente construção (Monken et al., 2008). O geógrafo brasileiro Milton Santos, considerado um dos grandes influenciadores do movimento que compreendeu o processo saúde-doença na cidade como manifestação social atenta, em sua vasta bibliografia, para a necessidade de estudar tal processo através de questões espaciais e territoriais (Faria & Bortolozzi, 2009). Para auxiliar a estabelecer tais análises, nos últimos anos, possantes ferramentas estão disponíveis para investigar as correlações entre Eventos Relacionados à Saúde (ERS) e o espaço urbano.

Entretanto, apesar do crescimento exponencial do interesse pelo assunto em todo o mundo, a maioria das pesquisas continua “não espacial” (Auchincloss et al., 2012). Os dados espaciais são subutilizados assim como os instrumentos analíticos disponíveis. A definição de unidades espaciais tem gerado inúmeras bases, posto que várias instituições

ao pesquisarem os mesmos dados criam novos recortes desconectados intersetorialmente e, por vezes, negligentes quanto à interoperabilidade. Esse descompasso compromete recursos financeiros, técnicos, pessoais e retarda a elaboração de políticas mais eficazes ou efetivas, negligenciando certas unidades não cobertas e, portanto, não atendidas.

No Brasil, o uso do ferramental contemporâneo também tem se revelado um campo em crescimento (Barcellos & Ramalho, 2002) cuja consolidação tem ocorrido com a disponibilização de dados de qualidade, a ampliação da capacidade computacional disponível e a capacitação profissional em GIS aplicado à Saúde. Um dos desafios contemporâneos é a pesquisa de novas possibilidades metodológicas para a compreensão da dinâmica urbana e subsídio às ações de atenção à saúde (Perez, 2006), possibilitando uma base de dados dinâmica com coletas e consultas em tempo real.

Como mencionado, a definição da unidade espacial do território é ainda controversa nos estudos das condições de saúde no espaço urbano. Um dos principais desafios refere-se ao fato de que os dados dos ERS são coletados segundo a lógica territorial do SUS, que estabelece sua unidade espacial com objetivos administrativos. Essa lógica comanda a referência espacial na visualização dos dados sobre saúde no território, constituindo-se em uma imposição administrativa ao sistema de informação privilegiado, cujo custo pode mascarar singularidades das unidades.

Adotar unidades espaciais diferentes abre o caminho para a superação da invisibilidade de algumas correlações entre saúde e espaço. Este artigo se propõe a apresentar uma análise de um mesmo ERS, contido em distintos tipos de unidades espaciais, seja uma vizinhança identificável, uma bacia hidrográfica ou um distrito sanitário, e que possa ser sobreposto aos dados demográficos, socioeconômicos, culturais e ambientais. Este exercício permitirá visualizar a espacialização dos dados de acordo com o interesse do estudo, incorporando os preceitos de simultaneidade analítica e interação entre escalas diferentes.

A unidade de agregação mais adequada para avaliar o impacto de ações preventivas no espaço urbano

parece ser a área delimitada ao redor dos Centros de Saúde (Barcellos & Ramalho, 2002) - sua hinterlândia, por critérios de abrangência bem caracterizados. A Secretaria Municipal de Saúde da cidade de Belo Horizonte (SMSA-BH) define as áreas de abrangência por homogeneidade socioeconômico-sanitária, isto é, áreas que reúnem espaços onde se concentram grupos populacionais internamente homogêneos, tendo em conta as “condições objetivas de existência”.

Segundo a SMSA-BH: “...essas áreas permitem a condução da vigilância à saúde mediante ações interdisciplinares e intersetoriais conforme as características do grupo populacional residente. A micro área tem como unidades internas de análise e acompanhamento a moradia; espaço de vida de uma microunidade social, a família nuclear ou estendida. A moradia é o locus para o desencadeamento de intervenções de saúde, buscando a promoção do bem-estar da população.” (‘Áreas de Abrangência dos Centros de Saúde | Gestão Compartilhada’, s.d.)

Este estudo de caso foi realizado, confrontando a unidade de abrangência definida pela SMSA-BH e uma unidade espacial calculada pela facilidade e importância no acesso peatonal e motorizado aos 147 UBS administrados pela SMSA-BH (Figura 4) .

Figura 4: Localização dos Centros de saúde. Fonte: o autor. Dados IBGE 2010/PBH 2014.

Esses centros encontram-se distribuídos em 9 distritos sanitários e realizam mais de 2,5 milhões de consultas médicas por ano. No caso de alguma necessidade de tratamento, informações ou cuidados básicos de saúde, a população deve se dirigir ao centro mais próximo de sua residência e nele, agendar consultas rotineiras e/ou especializadas, fazer exames, acompanhar doenças crônicas, obter vacinas e medicamentos, dentre outros serviços. Cada UBS tem que cobrir uma área de abrangência definida. Essa área é delimitada segundo a densidade populacional do Distrito Sanitário onde se situa e é atendida por equipes de profissionais de saúde, com base no seu tamanho de população e em critérios de vulnerabilidade de cada área (‘Áreas de Abrangência dos Centros de Saúde | Gestão Compartilhada’, s.d.).

Entretanto, o conceito de abrangência é complexo, baseado no conceito de acesso ao serviço de saúde. Sua discussão, desde a década de 1950 (Travassos & Martins, 2004), constitui ainda hoje um campo fecundo de debate concernente a avaliação dos serviços de saúde. A dimensão tratada aqui é a técnica, relativa à planificação e organização da rede de serviços, e merece ser incorporada às outras dimensões explicativas tais como as da política, da economia e da cultura. A tentativa visa articular o referencial teórico e a definição conceitual aproveitando a diversidade de dados disponíveis sobre o tema em termos espaciais, escalares e temporais.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os métodos podem ser resumidos na Tabela 01.

Tabela 01 – Estágios e suas descrições.

Através da rede viária da cidade foram calculadas as rotas mais econômicas na delimitação das áreas de abrangência de cada UBS. Para sumarizar esse processo, foram detalhadas as etapas a seguir, com a indicação dos comandos para o aplicativo ArcGIS Pro [1], extensão Network Analyst. Tais comandos têm correspondentes bem similares em outros aplicativos, tais como o QGIS e o MapInfo, e o detalhamento nesse artigo sumariza o método e permite sua adaptação para outras plataformas.

#### 3.1. MAPA DAS VIAS PÚBLICAS

O mapa com a linha central (Centerline map) representando a rede viária do município de Belo Horizonte foi obtido do site OpenStreetMap [2] (OSM), site do projeto colaborativo para a criação de um mapeamento gratuito e editável de todos os espaços urbanos do mundo (Figura 5). A vantagem do material oferecido por esse site gratuito é que as informações disponibilizadas estão em contínua atualização pelos colaboradores, com qualidade compatível ao Network Analyst ArcMap.

### 3.2. COMPOSIÇÃO DO BANCO DE DADOS PARA A ANÁLISE DA REDE DE VIAS PÚBLICAS

A seguir, esse mapa recebeu algumas informações adicionais para compor uma base de dados para o Network Analyst. Foram indicados o tipo de cada segmento (ruas, rodovias, becos, etc.), a velocidade máxima permitida para os automóveis e a declividade do segmento viário. Para que o módulo do Network Analyst funcionasse corretamente, a rede foi dividida em segmentos conectados por vértices, que representam as esquinas e demais junções (Figura 6).

Figura 5: Todos os segmentos viários do Brasil

Figura 6: Split dos segmentos de vias. Fonte: o autor. Dados OSM 2014

O cálculo da declividade média de cada segmento das vias usou o modelo de cálculo através do modelador matemático das operações, e pode ser compreendido por especialistas, por se tratar de algoritmo com uso de ferramentas no software utilizado (Figura 7). O mapa da centerline já ajustado teve cada um dos 49.885 segmentos de via divididos em 3 pontos para garantir uma melhor estimativa da declividade dos setores de via. A seguir, utilizando o mapa com as feições das curvas de nível do município, foi criado um mapa clinográfico e, a seguir, a declividade de cada ponto dos segmentos foi capturada numa nova tabela. Produziu-se, com isso, um mapa das vias de todo o município de Belo Horizonte, contendo o valor da declividade para os 3 pontos, dos quais se calculou a declividade média e sentido active/declive (Figura 8).

Figura 7: Model Builder ArcGis para determinação da declividade média das vias. Fonte: o autor.

Figura 8: regularização de a) segmentos, b) criação de 3 pontos, c) sobreposição do mapa de declividades. Fonte: o autor.

### 3.3. IMPLEMENTAÇÃO DOS DADOS DE IMPEDÂNCIA

A análise de redes viárias pode considerar pedestres e veículos. Para o primeiro caso, leva em conta a velocidade média da caminhada das pessoas e a variação de velocidades conforme a declividade

das vias, o sentido da caminhada (se subida ou descida) e a idade do pedestre. Para o segundo caso consideram-se as informações sobre a hierarquia das vias, o volume e o sentido do tráfego, o sentido das conversões e as velocidades máximas permitidas.

No nosso caso, o movimento peatonal foi prioritário, devido às características da avaliação do acesso às UBS pelos moradores. Já a pesquisa das condições de facilidade de movimentação em função dos elementos da logística e do princípio de compartilhamento de recursos tecnológicos e de serviços especializados foram avaliados para os valores do cálculo de tráfego motorizado. A seguir, sumarizam-se os elementos presentes no cálculo desses dois tipos de movimentos.

A resistência oferecida aos pedestres e carros em seus trajetos é denominada “Impedância” nos estudos de GIS. Conforme se mencionou, devem ser considerados valores médios para as velocidades das caminhadas sob influências diversas, desde a declividade e a idade dos pedestres, até a temperatura e densidade de pessoas nos passeios. Existem hoje muitas pesquisas dirigidas ao assunto (Daamen, Hoogendoorn, & Bovy, 2005; S. Hoogendoorn & Bovy, 2002; S. P. Hoogendoorn, Bovy, & Daamen, 2002). Aqui priorizamos o Gráfico 1, que relaciona a declividade em % (x) e a velocidade da caminhada em metros por minuto (y). Os valores negativos referem-se à declividade em sentido descendente, e positivos, em sentido ascendente (Bovy, 1973) (Gráfico 1).

Gráfico 1: Velocidade e declividade no movimento de pedestres. Fonte: BOVY, 1973.

Tabela 2: Declividade e velocidade determinadas empiricamente por Bovy, 1973.

Para o estudo de impedância dos automóveis, a tabela dos segmentos viários recebeu dados que armazenam a informação acerca do sentido das vias para circulação dos veículos, declividade e sentido, largura da via, velocidade e tipologia. Todos esses dados, como se disse anteriormente, foram retirados do OSM, mas vale comentar que o software ArcGIS 10.14 (2016) já permite a conexão do aplicativo em tempo real com os Bancos de Dados atualizados das instituições responsáveis pelo controle do trânsito, como já acontece em cidades como Londres e Paris, onde até o volume de

tráfego é disponibilizado nos sites das prefeituras. Entretanto, as informações sobre o sentido das vias foram suficientes para finalizar o conjunto de dados do mapa de segmentos de vias e possibilitou avançar com a análise de rede através do aplicativo ArcGIS (Figura 9).

Figura 9: Representações das variáveis de mão única.

O software utiliza algoritmos matemáticos disponíveis no módulo de geoprocessamento Network Analyst [3], os quais são baseados no algoritmo clássico de Dijkstra (Skiena, 1990) que permite o cálculo da rota de menor impedância (custo, esforço) entre um ponto e outro, no interior de uma rede – o que pode gerar uma análise intrasetorial. Limitamos a indicar a existência de uma vasta bibliografia sobre o algoritmo de Dijkstra, que pode servir aos interessados. Tal algoritmo foi aplicado a um grande número de problemas a partir de 1956, quando foi concebido e revelou-se uma formulação lógica e inovadora em diversos campos. No Desenho Urbano, ele tornou possível várias análises sobre a acessibilidade, sendo incorporado em aplicativos contemporâneos (Steinitz, 2012), como o ArcGis.

### 3.4 CRIAÇÃO DA REDE DE VEÍCULOS

A etapa final consistiu na criação de duas redes, a partir da camada das vias implementadas com as informações anteriores, uma para análise dos movimentos de automóveis e outra para movimento de pedestres. Foi necessária a programação de um roteiro na linguagem Python [4] para reconhecer a sinalização de sentido das ruas da cidade, no caso da análise da rede para automóveis (Figura 11).

### 3.5 CRIAÇÃO DA REDE DE PEDESTRES

Igualmente a rede para análise do movimento de pedestres demandou um roteiro associando os dados de velocidade e a declividade dos passeios, como anteriormente dito. A inserção desses roteiros foi feita na etapa do que se chama DataSetNetwork (Figura 10).

Figura 10: Atributos para a avaliação das regras do modelo matemático construído para os automóveis.

Figura 11: Variável de mão única nas linhas centrais vermelhas indicando com as setas vermelhas a direção da varredura. Setas pretas indicam a direção real das ruas.

Esses scripts regulam a velocidade dos pedestres e calculam o tempo que eles gastariam para percorrer os segmentos de passeio. A velocidade é determinada segundo a declividade do trecho, de acordo com a Tabela 2. A partir disso, avaliaram-se os sentidos dos movimentos dos pedestres, se subida (active) ou descida (declive propriamente dito).

#### 4. RESULTADOS E ANÁLISES

O conjunto de dados trabalhados e relatados para a construção da base nos facultaram descrever alguns dos resultados para melhor compreender a: influência peatonal, a influência de motorizado e a análise da localização - distribuição. Então, vejamos.

##### 4.1. INFLUÊNCIA PEATONAL (SERVICE AREA [5])

Nesta análise foram considerados os dados de pedestres e de automóveis para observar o comportamento no acesso às UBS. Foi realizado o cálculo da área de abrangência das UBS, com tempos de caminhadas dos pedestres de até 15 minutos (Figura 12). Ressalte-se que os parâmetros para esse cálculo foram as velocidades compreendidas em acordo com a declividade, como explicitado anteriormente. Dessa maneira, o mapa mostra um acesso bastante reduzido pelo trajeto a pé, segundo os parâmetros aqui adotados. Essa situação fica ainda mais crítica nas UBS da Regional Barreiro, que possuem as menores áreas sob as curvas isocrônicas. Foi realizado o mapa considerando o tempo de caminhada de 30 minutos (Figura 13). A comparação desses dois mapeamentos indica uma redução da área de influência da UBS e, simultaneamente, pouca correspondência às áreas de abrangência determinadas pelo SUS/PBH. Também dela pode-se concluir a necessidade de pesquisar conceitos relativos às “distâncias caminháveis” na cidade - walking distance, walkability (Leslie et al., 2007; Murekatete & Bizimana, n.d.). Tais conceitos possuem muitas referências na literatura sobre saúde orientadas para doenças cardíacas e respiratórias. Entretanto, poucos dados sobre o que ocorre no Brasil.

Figura 12: Áreas de serviço para pedestres. Fonte: o autor.

Figura 13: Áreas de serviço para pedestres, considerando a impedância de velocidade, dependendo da declividade. Fonte: o autor.

A junção dos polígonos do mapa de áreas de serviços para pedestres considerando impedância de velocidade segundo declividade sugere a existência de anéis isocrônicos que comunicam as UBS em caminhadas de 30 minutos. A área dos anéis pode se constituir num indicador, mas tem pouca utilidade uma vez que as curvas são calculadas pelo tempo de percurso nas ruas e passeios. Algumas UBS do Barreiro, como por exemplo a UBS Olhos D’água (área mais a sul, porção leste da área sul) tem a menor área de influência, caracterizada pela interferência da declividade. Finalmente, outra reflexão possível se refere à caracterização dos pedestres por idade que, numa pesquisa futura, poderá indicar o estabelecimento de velocidades diferentes para a abordagem. No caso em estudo, o padrão de velocidade foi generalizado para ser inclusivo, considerando pessoas acima de 65 anos

##### 4.2. INFLUÊNCIA DE MOTORIZADO (SERVICE AREA [6])

Foi elaborado o cálculo das áreas de influência das UBS acessadas por automóveis (Figura 14). Um problema relacionado ao estágio tecnológico do cenário brasileiro é a falta de dados sobre o tráfego de automóveis e pedestres. O volume do tráfego e a densidade peatonal são dados empíricos que necessitam de medição atualizada, frequente, e livre, durante todos os dias do ano para que seja possível alcançar alguma previsibilidade. No caso, foram consideradas as velocidades máximas dos segmentos de vias, o que não é um estado ideal e de modo algum preciso. Tal precariedade indica que os instrumentos baseados na impedância temporal irão falhar nesse contexto, inviabilizando a utilização de algumas ferramentas do Network Analyst ArcGIS, que tem potencial, como se mencionou anteriormente, de conectar-se a base de dados em tempo real das instituições reguladoras do trânsito.

Figura 14: Service Area de motorizados. Fonte: o autor.

##### 4.3. LOCALIZAÇÃO-DISTRIBUIÇÃO (LOCATION-ALLOCATION)

Esse tipo de teste permite visualizar as áreas ótimas de demanda a serem atendidas pela UBS. Essa análise

resulta num conjunto de linhas que sintetiza o trajeto pelos segmentos de vias desde a UBS até o ponto de demanda, ou seja, pontos de endereços das edificações que possuem a menor impedância de tempo. São estabelecidas retas que vão de cada edifício da Regional Barreiro até a UBS mais econômica (menor impedância de tempo a pé) (Figura 15). Diferindo da análise de Service Area, esse estudo possibilita identificar e listar quais os números de domicílios e outros que estão sobre a influência da UBS. Se for considerado um indicador, será possível determinar quantas conexões com domicílios serão suportadas para a capacidade de cada UBS em intervalos temporais.

A exemplo de sobreposição de outros dados, foi trabalhado o Índice de Vulnerabilidade à Saúde (IVS) e a população com mais de 65 anos em cada setor censitário (Figura 16). O polígono continente de todas as retas de tempo poderia ser o agregador dos dados da população idosa, contribuindo para realocar setores censitários de forma distinta, produzindo áreas de agregação com indicadores que possibilitassem uma maior homogeneidade espacial. Essa última observação expressa a necessidade de análises que favoreçam a reconstrução de novas unidades de agregação significativas, concomitantemente com uma mudança conceitual das UBS na sua relação com as vizinhanças.

Figura 15: Location-Allocation com menor impedância de velocidade peatonal considerando active e declive. Fonte: o autor.

Figura 16: Location-Allocation sobreposições de dados: População idosa e IVS. Fonte: o autor.

#### 5. CONCLUSÕES

Este estudo de caso pretendeu demonstrar a potencialidade de investigações sobre o território e a saúde, no que tange aos possíveis condicionantes espaciais de maior ou menor acesso às UBS em um contexto urbano de vivência, acenando para o enriquecimento do debate sobre os rumos da Saúde no Brasil.

Preliminarmente o estudo verifica o conceito do centro de saúde de modo positivo e integrado à vizinhança. A seguir ele expõe, de acordo com os parâmetros aqui adotados, um acesso mais reduzido

pelo trajeto a pé, além de descrever algumas UBS com restritas áreas de abrangência, sugerindo uma pequena área de influência e ínfima correspondência com a respectiva área administrativa. Essa ausência de sobreposição tende a sugerir limitações entre as áreas (de influência e administrativa) o que compromete a eficácia de políticas planejadas para um recorte determinado. Tal descompasso possivelmente oculta singularidades de áreas mais próximas ao que, de fato, ocorre na realidade, em termos de obstáculos a uma redução no tempo de deslocamento e de prestação do serviço. O estudo dos obstáculos do território é assunto que carece de pesquisa longa, e pode ser tratado com as mesmas bases operacionais aqui descritas, detendo-se em verificações importantes como os modelos de percepção ambiental, cognição e geografia (Wood, Kitchin, & Blades, 2002) e a saúde.

O artigo permite concluir sobre a necessidade de uma maior multiplicidade de informações de qualidade para o estudo de indicadores de Saúde Urbana através de ferramental analítico utilizando o GIS. Recomenda-se também a realização de pesquisas sobre conceitos relacionados às “distâncias caminháveis” e os impedimentos ou barreiras constantes nos percursos, juntamente com a imagem da cidade (Lynch, 1997).

As reflexões aqui aquecem o debate no que se refere às diversas definições e possibilidades analíticas do que é um contexto urbano, seja ele originado de um ponto de vista objetivo, como os setores administrativos, seja ele de origem subjetiva, tais como a percepção/convivência da vizinhança pela população adstrita a um determinado território urbano.

#### NOTAS:

[1] “ArcGIS Platform - Esri.” 2005. 26 Dec. 2015 <<http://www.esri.com/software/arcgis>>

[2] “OpenStreetMap Foundation Wiki.” 2015. 4 Jan. 2016 <<https://wiki.osmfoundation.org/>>

[3] “ArcGIS Platform - Esri.” 2005. 26 Dec. 2015 <<http://www.esri.com/software/arcgis>>

[4] “Welcome to Python.org.” 2004. 20 Apr. 2016 <https://www.python.org/>

[5] Service Area pode ser entendida como a área de influência de um determinado serviço ou edifício. Essa análise considera a impedância para os tempos e deslocamentos de pedestres, conforme explicado.

[6] Considerando a impedância para automóveis, como explicado.