



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

aa/bb/cc/dd-TDI

**ESTIMATIVA DE EXPOSIÇÃO HUMANA À POLUIÇÃO  
SONORA AO REDOR DOS AEROPORTOS  
BRASILEIROS**

Marcelo Saraiva Peres

Trabalho Final para a Disciplina de  
População, Espaço e Ambiente

URL do documento original:

<<http://urlib.net/xx/yy>>

INPE  
São José dos Campos  
AAAA





MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

aa/bb/cc/dd-TDI

**ESTIMATIVA DE EXPOSIÇÃO HUMANA À POLUIÇÃO  
SONORA AO REDOR DOS AEROPORTOS  
BRASILEIROS**

Marcelo Saraiva Peres

Trabalho Final para a Disciplina de  
População, Espaço e Ambiente

URL do documento original:

<<http://urlib.net/xx/yy>>

INPE  
São José dos Campos  
AAAA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

---

Peres, Marcelo.

Cutter ESTIMATIVA DE EXPOSIÇÃO HUMANA À POLUIÇÃO SONORA AO REDOR DOS AEROPORTOS BRASILEIROS / Marcelo Saraiva Peres. – São José dos Campos : INPE, AAAA.

xiii + 33 p. ; (aa/bb/cc/dd-TDI)

Dissertação ou Tese (Mestrado ou Doutorado em Nome do Curso) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2021.

Orientador : José da Silva.

1. Palavra chave. 2. Palavra chave 3. Palavra chave. 4. Palavra chave. 5. Palavra chave I. Título.

CDU 000.000

---



Esta obra foi licenciada sob uma Licença [Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](#).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](#).

Informar aqui sobre marca registrada (a modificação desta linha deve ser feita no arquivo publicacao.tex).

**ATENÇÃO! A FOLHA DE  
APROVAÇÃO SERÁ IN-  
CLUIDA POSTERIORMENTE.**

Mestrado ou Doutorado em Nome do  
Curso



## RESUMO

O mapeamento do ruído nas áreas adjacentes aos sítios aeroportuários é feito a para identificar possíveis áreas de impacto. O gestor do aeroporto é responsável pela geração das curvas de ruído, que depende prioritariamente do tipo de tráfego, motorização, tipo de aproximação da aeronave na pista. Neste estudo foi utilizado as curvas de ruído do aeroporto de Aracaju-SE para estimar o impacto do ruído na população. Foram utilizados dados demográficos disponíveis e calculou-se a incidência do ruído para duas faixas de ruído, 65-70 dB e 70-75 db. Observou-se um número crescente, através das estimativas, na população atingida principalmente na faixa de ruído mais externa do aeroporto. Foi verificado também que a incidência do ruído, naquela região, é maior em moradores com idade menor que 5 anos e que também existe um aumento na infraestrutura urbana que pode vir a impactar mais pessoas com o passar dos anos. Entendeu-se que existe um número potencial de pessoas expostas a altos níveis de ruídos ameaçadas por diferentes tipos de doenças relacionadas ao distúrbio do sono, hipertensão e ataque vascular cerebral. Os operadores aeroportuários em conjunto com as autoridades locais deveriam gerenciar prováveis áreas no entorno do aeroporto para controlar melhor a incidência a altos níveis de ruído.

Palavras-chave: Curvas de Ruído. Censo. Ruído aeronáutico. População. Sistema de Informação Geográfico.





# ESTIMATE OF HUMAN EXPOSURE TO NOISE POLLUTION AROUND BRAZILIAN AIRPORTS

## ABSTRACT

Noise mapping in areas adjacent to airport sites is done to identify areas of potential impact. The airport manager is responsible for generating the noise curves, which mainly depend on the type of traffic, engine, type of aircraft approaching the runway. In this study, the noise curves from the airport of Aracaju-SE were used to estimate the impact of noise on the population. Available demographic data were used and the noise incidence was calculated for two noise bands, 65-70 dB and 70-75 dB. The number was growing, through people, in the affected population, mainly in the noise strip outside the airport. It was also found that the increase in noise in that region is greater among residents under 5 years of age and that there is also an increase in urban infrastructure that can impact more people over the years. It was understood that there is a potential number of people exposed to high levels of noise threatened by different types of diseases related to sleep disorders, hypertension and stroke. Airport operators, together with local authorities, managed likely areas around the airport to better control noise levels.

Keywords: Noise Map. Census. Aeronautical Noise. Population. Geographic Information System.



## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1.1 Curvas de Ruído do Aeroporto de Aracaju - SE . . . . .	3
2.1 População e setores Censitários dos municípios de Aracaju e São Cristóvão	6
2.2 Cobertura da Terra, infraestrutura Urbana do MapBiomas . . . . .	9
2.3 Curvas de ruído INFRAERO, aeroporto SBAR, Fonte: Autor . . . . .	10
2.4 Ferramenta estatísticas zonais aplicada na camada de população com o polígono do setor censitário, Fonte: Autor . . . . .	11
2.5 População do WorldPop, ponderado para as áreas do setor censitário . .	12
3.1 População afetada pelo ruído ao longo dos anos . . . . .	14
3.2 Urbano . . . . .	16
3.3 Densidade populacional ao longo dos anos . . . . .	18
3.4 População maiores de 60 anos . . . . .	19
3.5 População menores de 5 anos . . . . .	20
3.6 População Sensível 2010 com dado WorldPop . . . . .	22
3.7 População Sensível 2015 com dado WorldPop . . . . .	23
3.8 População Sensível 2020 com dado WorldPop . . . . .	24
3.9 Indicação do provável aumento da Infraestrutura urbana . . . . .	25



## LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
2.1 Informações Municípios Área de Busca . . . . .	5
2.2 Informações gerais do Aeroporto de Aracaju . . . . .	6
2.3 . . . . .	7
3.1 Dado demográfico censo do ano de 2010 . . . . .	13
3.2 Dado demográfico WorlPop resolução espacial 100m para o ano de 2010 .	13
3.3 Dado demográfico WorldPop resolução espacial 100m para o ano de 2015	13
3.4 Dado demográfico WorldPop resolução espacial 100m para o ano de 2020	14
3.5 Estimativas de população dos dados demográficos - Resumo . . . . .	15
3.6 Áreas Urbanas para diferentes anos do MapBiomas . . . . .	15
3.7 Densidade Populacional Urbana nas Faixas de Ruído . . . . .	17
3.8 Estimativa de população,ponderada pela área, menores de 5 anos atin- gida pelo ruído durante os anos . . . . .	17
3.9 Estimativa de população,ponderada pela área, maior de 60 anos atingida pelo ruído durante os anos . . . . .	17
3.10 HAP para diferentes faixas de ruído em 2010 . . . . .	21
3.11 HAP para diferentes faixas de ruído em 2015 . . . . .	21
3.12 HAP para diferentes faixas de ruído em 2020 . . . . .	21



## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> . . . . .	<b>1</b>
1.1 Curvas de Ruído . . . . .	2
1.2 Incidência do Ruído . . . . .	2
<b>2 Materiais e Métodos</b> . . . . .	<b>5</b>
2.1 Área de estudo . . . . .	5
2.2 Dados Populacionais . . . . .	7
2.3 Cobertura da Terra . . . . .	8
2.3.1 Dado de exposição . . . . .	8
<b>3 ANÁLISE E RESULTADOS</b> . . . . .	<b>13</b>
<b>4 CONCLUSÕES</b> . . . . .	<b>27</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> . . . . .	<b>29</b>





# 1 INTRODUÇÃO

O ruído no entorno dos aeroportos é um dos principais impactos na população causado pelas operações aeronáuticas. Com o crescimento do transporte aéreo cada vez maior, os conflitos entre as comunidades vizinhas aos aeroportos tendem a aumentar e indicam algum tipo de abordagem de mitigação deve ser adotada. Com isto, a Organização Internacional da Aviação Civil (ICAO) propõem um gerenciamento de ruído de aeronaves para aeroportos apoiado em quatro elementos: redução do ruído da fonte, ordenamento do território, procedimentos operacionais e restrições operacionais (SILVA et al., 2020; ICAO, 2008).

O uso do solo regularizado ao entorno do aeroporto permite mitigar os impactos como também possibilita a evolução da Aviação Civil. As curvas de ruído definem as restrições do uso dos solo no entorno das instalações aeroportuárias fundamentado nos contornos por faixas de intensidade sonora. Curvas de ruído implementadas corretamente evitam conflitos relacionados ao ruído, no entanto, relacionadas a custos e falta de coordenação, muitas vezes, não são aplicadas na prática (PEREIRA, 2013) .

A intensidade do ruído produzido pelas aeronaves é utilizado para calcular as curvas de ruído de um aeroporto. As curvas variam em função do tipo de aeronave, da motorização, do tráfego aéreo e do tipo de aproximação. A Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (INFRAERO), através das definições do RBAC 161, estabelece que os operadores dos aeródromos brasileiros devem elaborar o Plano Específico de Zoneamento de Ruído (PZER) para aeródromos públicos com média anual de movimento superior a 7.000 (sete mil) para os últimos 3 (três) anos considerando para o cálculo das curvas de ruído as características operacionais e físicas do aeroporto (ANAC, 2021; SILVA et al., 2020; PEREIRA, 2013).

O operador em conjunto com a cooperação dos município(s) deve desenvolver o estudo, que deve conter principalmente 5 (cinco) curvas de ruído, representadas em planta e em escala indicada, apontando as coordenadas das cabeceiras das pistas de pouso e decolagem. Por meio do uso do Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas (SIG) em conjunto com processamento de dados espaciais e informações demográficas (ANAC, 2021).

A estimativa de exposição sonora é um instrumento para tomada de decisões relevantes no planejamento e no ordenamento territorial urbano (JOSIMOVIĆ et al., 2016). Este artigo estima a quantidade de população afetada pelo ruído aeronáutico

utilizando dados demográficos do ano de 2020. Concentramos também na quantificação do tipo de população, como crianças com idade menor que 5 anos e adultos maiores de 60 anos quantificando também as populações altamente incomodadas (*highly annoyed populations* - HAP) (BENTES et al., 2013).

Dada a importância do ruído, neste caso, para o Aeroporto de Aracaju, exploramos a literatura atual relacionada ao ruído, sua incidência e danos à saúde, tendo como objetivos específicos a apresentação de uma metodologia de transformação de dados geográficos para obtenção da população total exposta ao ruído aeronáutico. Identificamos e quantificamos o tipo de população estratificada afetada pelo ruído e a população altamente incomodada.

### 1.1 Curvas de Ruído

Por meio de programas computacionais as cinco (5) curvas de ruídos compõem o PEZR delimitando as áreas compatibilizadas e incompatibilizadas delimitadas por estas curvas. Estas curvas são representadas graficamente para níveis iguais de exposição ao ruído aeronáutico ao redor do aeroporto usando métrica de nível sonoro diurno-noturno (*Day-Night Sound Level* - DNL) (SCHULTZ, 1978; REVOREDO; SLAMA, 2008). A métrica é baseada na energia sonora produzida pelos eventos aeronáuticos ao longo de 24h, gerando curvas para cada aeroporto considerando as operações de voo, o movimento das aeronaves, o tipo de motorização da aeronave considerando o nível de ruído para diferentes faixas de intensidade medidas em decibéis, como ilustrada na Figura 1.1

Para processos ambientais o CONAMA determina que para processos ambientais seja usada a norma NBR 10.151 de 2000 para avaliar o impacto sonoro. Em 2011 a ANAC desenvolve seu próprio regulamento, o RBAC 161 (Regulamento Brasileiro da Aviação Civil). Este regulamento determina que o impacto sonoro em aeródromos seja medido através da métrica DNL com valor de referência de 65 dB aceitável para o uso do solo nas áreas adjacentes (SILVA et al., 2020).

### 1.2 Incidência do Ruído

A incidência do ruído aeronáutico sobre as áreas urbanas está relacionada à diversos riscos de saúde para as populações adjacentes ao sítio aeroportuário exigem medidas mitigadoras onde efetivamente o ruído incide. Além de medidas mitigadoras relacionadas a incidência do ruído na população, a operação aeroportuária podem afetar áreas inadequadas para vários usos do solo, como exemplo hospitais e escolas.



Figura 1.1 - Curvas de Ruído do Aeroporto de Aracaju - SE

O aumento da taxa de crescimento prevista para o transporte aéreo indica futuros conflitos e maiores exposição populacional à poluição sonora, destacando desta forma a importância do planejamento do uso do solo ao redor dos aeroportos (CLARK et al., 2006; SILVA et al., 2020).

O incômodo com o ruído é principalmente criado pela interferência das atividades aeronáuticas e tende a aumentar quando o nível de ruído aumenta. Os efeitos do incômodo sonoro são normalmente considerados como subprodutos e podem causar danos fisiológicos e psicológicos aos seres humanos, como perdas auditivas, aumento da frequência respiratória e cardíaca, liberação dos hormônios do estresse e tensão muscular (CLARK et al., 2006; THAKUR et al., 2016).

Atualmente o planejamento do uso do solo ao redor do aeroporto baseia-se na restrição de área onde os usos são incompatíveis para altos níveis de ruídos, mesmo assim estas restrições podem se mostrar insuficientes para evitar a incidência do ruído nas comunidades ao redor (ANAC, 2021).

O ruído ambiental tem efeito também e principalmente no desempenho das crianças em sala de aula. Crianças possuem menor capacidade de concentração e são naturalmente distraídas em relação aos adultos (SMITH; JONES, 1992). Levantaremos o impacto do ruído aeronáutico em crianças com idade escolar. O alto ruído de aeronaves causa distúrbios dentro de salas de aula no desenvolvimento da leitura, discussões, desenvolvimentos de atividades mentais além da distração dos alunos e reforço de professor para manter e sustentar a voz e o andamento da aula. Este cenário retarda e prejudica alunos e professores, além de afetar o desempenho e desenvolvimento cognitivo das crianças (ISSARAYANGYUN, 2005).

## 2 Materiais e Métodos

### 2.1 Área de estudo

A área de estudo foi definida baseada nas curvas de ruído do Aeroporto de Aracaju (ver, 2.1), incluindo os setores censitários e as respectivas populações para o ano de 2010. O Aeroporto de Santa Maria possui estimativas de população de acordo com IBGE (2020b) para 2020 de 664.908 pessoas e uma densidade demográfica de 3.140 hab/km<sup>2</sup>. Para São Cristóvão as estimativas são de 91.093 pessoas com uma densidade demográfica de 180 hab/km<sup>2</sup>. A área física do aeroporto está contido nos limites municipais de Aracaju, com 764 setores censitários, e a área de análise para o ruído compreende também o município de São Cristóvão, com 132 setores censitários como ilustrado na Figura 2.1, por isso a área de busca do estudo contém os dois municípios sergipanos.

Tabela 2.1 - Informações Municípios Área de Busca

Informações	Aracaju	São Cristóvão
População (hab.)	672.614	87.047
Área (km <sup>2</sup> )	181	437
Densidade (hab./km <sup>2</sup> )	3.698	199

O aeroporto de Santa Maria é um dos 6 aeroportos regionais que compõem o Bloco Nordeste juntamente com Recife, Maceió, Campina Grande, João Pessoa e Juazeiro do Norte, em 2019 foi concedido à iniciativa privada por um tempo de 30 anos. Os dados do Anuário Estatístico Operacional da INFRAERO (2018) mostram que para o ano de 2018 o Aeroporto de Aracaju (SBAR) é o 27<sup>o</sup> com maior movimentação de Aeronaves do país com um total de 12.115 aeronaves por ano, movimentando mais de 1.191.893 passageiros. Alguns informações gerais do aeroporto estão detalhados na Tabela 2.2

As curvas de ruído geradas pela INFRAERO para o aeroporto de Aracaju possui curvas da métrica DNL que são disponibilizadas para os maiores aeroportos brasileiros INFRAERO (2014) e indicam os limites de ruído aeronáutico no entorno dos Aeroportos. O Aeroporto de Aracaju-SE possui o Plano Específico de Zoneamento de Ruído (PEZR) da INFRAERO (2014), elaborado em 2014. O mapa disponibilizado pela empresa pública possui áreas de 4 diferentes níveis de ruídos, (60, 65, 70, 75 e 80 ). Para este estudo foi selecionado as áreas entre as curvas 65-70, 70-75

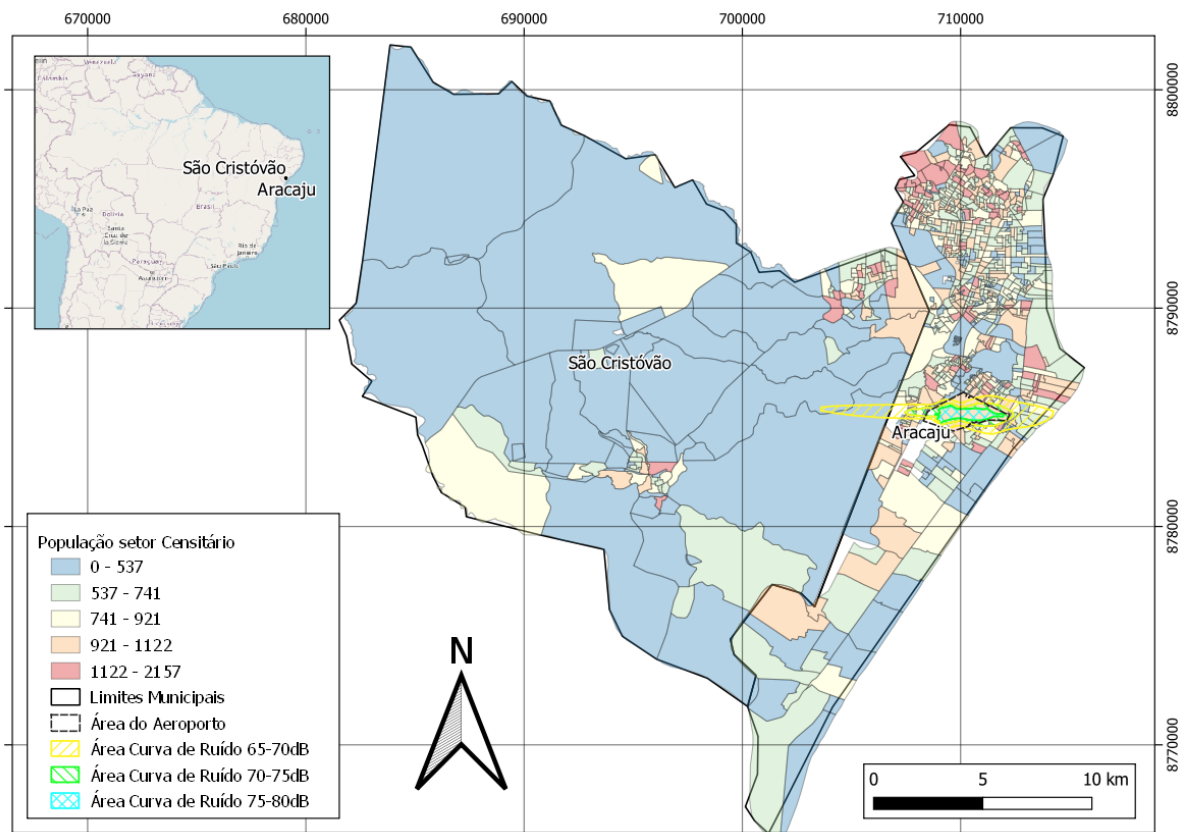


Figura 2.1 - População e setores Censitários dos municípios de Aracaju e São Cristóvão

Tabela 2.2 - Informações gerais do Aeroporto de Aracaju

Aeroporto de Aracaju-SE	
Código ICAO	SBAR
Tipo	Público
Área do sítio (km <sup>2</sup> )	3,66
Comprimento de pista	2.200m
Capacidade passageiros por ano	4.300.000
Passageiros em 2020	300.943
Decolagens	2.3734

e 75-80 dB onde foram reprojctadas geograficamente levando em consideração as coordenadas das cabeceiras das pistas e informações do sítio aeroportuário. A partir destas áreas será estimado a exposição populacional à poluição sonora do Aeroporto.

Neste trabalho concentramos a estimativa de população exposta à poluição sonora ao redor do Aeroporto de Aracaju usando ferramenta de Sistema de Informação Geográfica (SIG). Inicialmente o arquivo das curvas de ruído foi importando para

dentro da ferramenta SIG e reprojeto de acordo com as coordenadas geográficas das cabeceiras da pista. Foi possível quantificar a população exposta através dos 3 diferentes conjuntos de dados disponíveis:

## 2.2 Dados Populacionais

A constituição da população brasileira e suas características sócio-econômicas em extensão e profundidade foi realizada em 2010 pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) no Censo demográfico, onde mais de 67,6 milhões de domicílios nos 5.565 municípios brasileiros foram visitados. Em dezembro do mesmo ano os resultados foram publicados (IBGE, ). Os dados demográficos são distribuídos dentro dos setores censitários, que é a menor unidade territorial no qual o IBGE divulga os resultados, são nestas unidades que também o controle de coleta dos dados do censo é feita, a Figura 2.1 ilustra o setor censitários para a área de busca deste estudo.

Além de dado demográfico do Censo de 2010, o dado [WORLDPOP](#) é outro dado utilizado no estudo, possui estimativas censitárias oficiais dos mais recentes dos conjuntos de dados disponíveis, ou seja, para o caso brasileiro, usam estimativas do próprio censo de 2010. Através das metodologias descritas em [STEVENS et al.](#), [ALEGANA et al.](#), [DEVILLE et al.](#), [GAUGHAN et al.](#) e [TATEM et al.](#) o projeto [WORLDPOP](#) combina os dados censitários oficiais por países realocando a contagem populacional através de árvores de decisão e os mapas populacionais produzidos possuem resolução espacial de 100m. A Tabela 2.3 resume as informações demográficas utilizadas no estudo.

Tabela 2.3 -

Nome	Ano	Tipo	Resolução
Censo	2010	Vetorial	Setores censitários
WorldPop	2010, 2015 e 2020	Celular	Célula de 100x100 m

Analisando 3 períodos de tempo diferente (2010, 2015 e 2020) através do conjuntos de dados demográficos do [WORLDPOP](#) e do CENSO (IBGE, 2020a) , foram determinadas a quantidade de pessoas expostas aos diferentes níveis de ruído em conjunto com a fração da população altamente afetada (*Highly Annoyed Populations* - HAP) dada por (SCHULTZ, 1978; FIDELL et al., 1988; MIEDEMA; VOS, 1998) respectivamente:

$$\%HAP = 0.8533 - 0.0401DNL^2 + 0.00047DNL^3 \quad (2.1)$$

$$\%HAP = 78.9181 - 3.2645DNL + 0.036DNL^2 \quad (2.2)$$

$$\%HAP = 1.395 \cdot 10^{-4}(DNL - 42)^3 + 4.081 \cdot 10^{-2}(DNL - 42)^2 + 0.342(DNL - 42) \quad (2.3)$$

## 2.3 Cobertura da Terra

Atualmente os estudos para o entendimento da dinâmica da cobertura têm avançado. O projeto denominado MapBiomass, principal responsável pela geração de produtos para o entendimento da dinâmica de cobertura do solo no Brasil, oferece mapas como um dos produtos do seu projeto, incluindo classes de cobertura do solo para os biomas brasileiros entre os anos de 1985 até 2020 (BRASIL, 2021).

### 2.3.1 Dado de exposição

As faixas de ruído da INFRAERO são modeladas usando software desenvolvido pela Administração Federal de Aviação (Federal Aviation Administration - FAA), entidade governamental norte-americana e aprovadas pela ANAC. O modelo leva em consideração informações dos padrões de voo, decolagens e aterrissagens, velocidade, motorização, bem como altura do solo. Os dados da INFRAERO estão disponíveis em curvas de contornos categorizados: <65, 65-70, 71-75, 76-80, 81-85, e > 85 dB. Foram consideradas para o estudo as curvas 65, 70 dB já que a partir da curva 75dB as curvas de ruído estão localizadas dentro do sítio aeroportuário, a Figura 2.3 ilustra isto. O intervalo entre as curvas de ruído consequentes representa as faixas de ruídos.

Foi utilizado a ferramenta do QGIS denominado "estatísticas zonais". A ferramenta permite analisar os valores de uma camada raster, com o auxílio de uma camada vetorial, calculando soma, média, e outras estatísticas dentro de um polígono. Desta forma, as camadas raster, contendo os dados populacionais, foram analisados para os polígonos das faixas de ruídos do sítio aeroportuário resultando no somatório das populações atingidas. A Figura 2.4 ilustra o dado populacional do WORLDPOP analisado pela ferramenta utilizando a camada vetorial do setor censitário da área



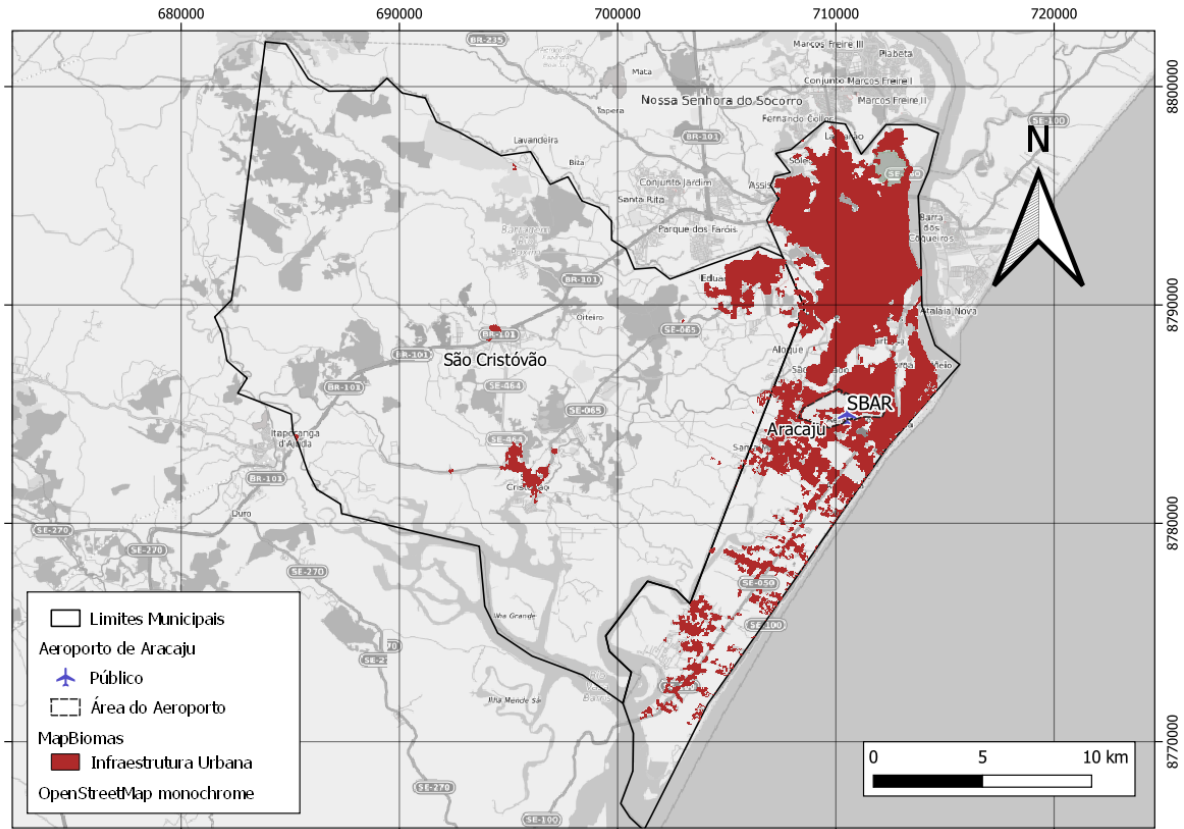


Figura 2.2 - Cobertura da Terra, infraestrutura Urbana do MapBiomias

de busca.

O dado populacional através dos setores censitários foi utilizado com a abordagem de ponderação pela área, onde a faixa de ruído contabiliza ponderadamente a quantidade de população para cada setor censitário de acordo com a equação a seguir:

$$P_{ruído} = \sum \frac{area_j}{area_i} * Pop \quad (2.4)$$

Onde  $area_i$  é a área total do setor censitário,  $area_j$  é a área coincidente da faixa de ruído com o dado censitário e  $Pop$  é o dado de população. Cruzando os dados do censo com a camada da faixa de ruído aeronáutico foi estimado a área de intersecção em cada contorno. Proporcionalmente a área que cruza o dado censitário se tem o dado populacional. Os dados populacionais do [WORLDPOP](#) foram agregados para cada setor censitário ilustrado na Figura 2.5 para a faixa 65-70 dB como exemplo. Similar ao apresentado anteriormente, a ferramenta "Análise de Sobreposição" faz este processamento no QGIS.

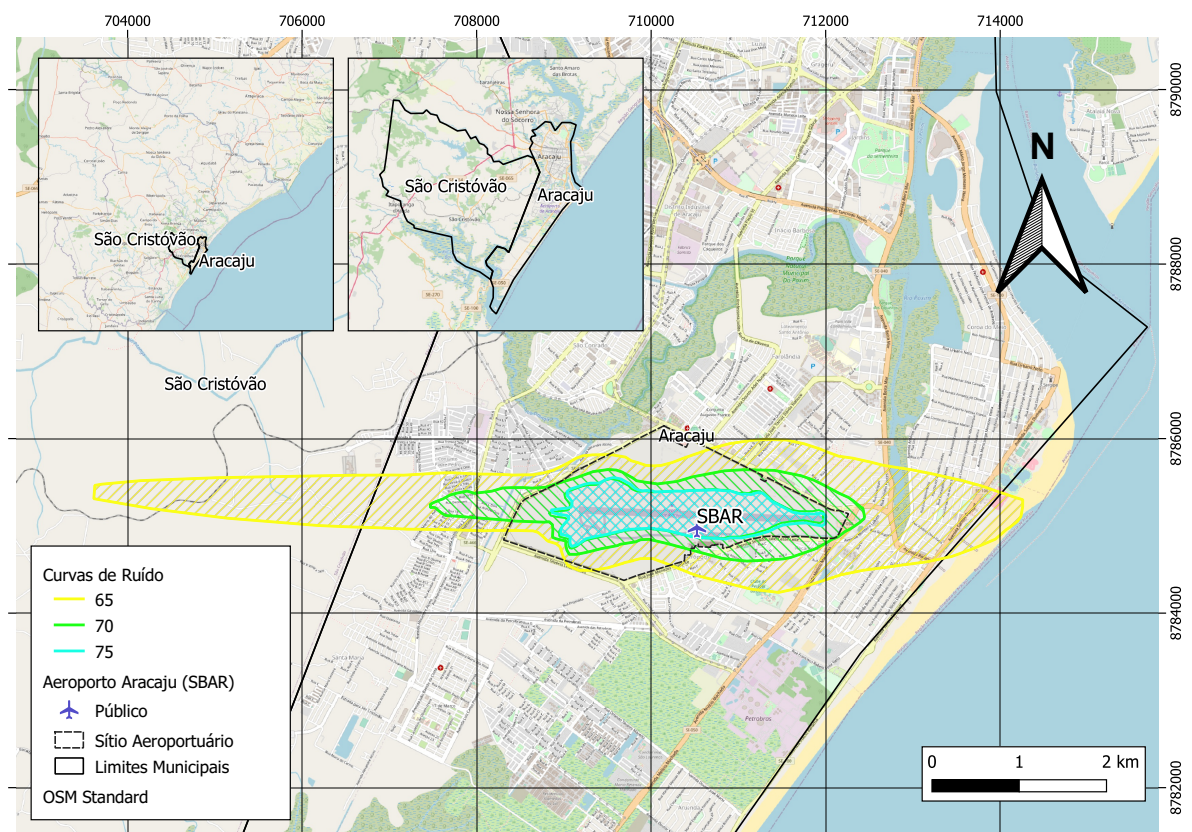


Figura 2.3 - Curvas de ruído INFRAERO, aeroporto SBAR, Fonte: Autor

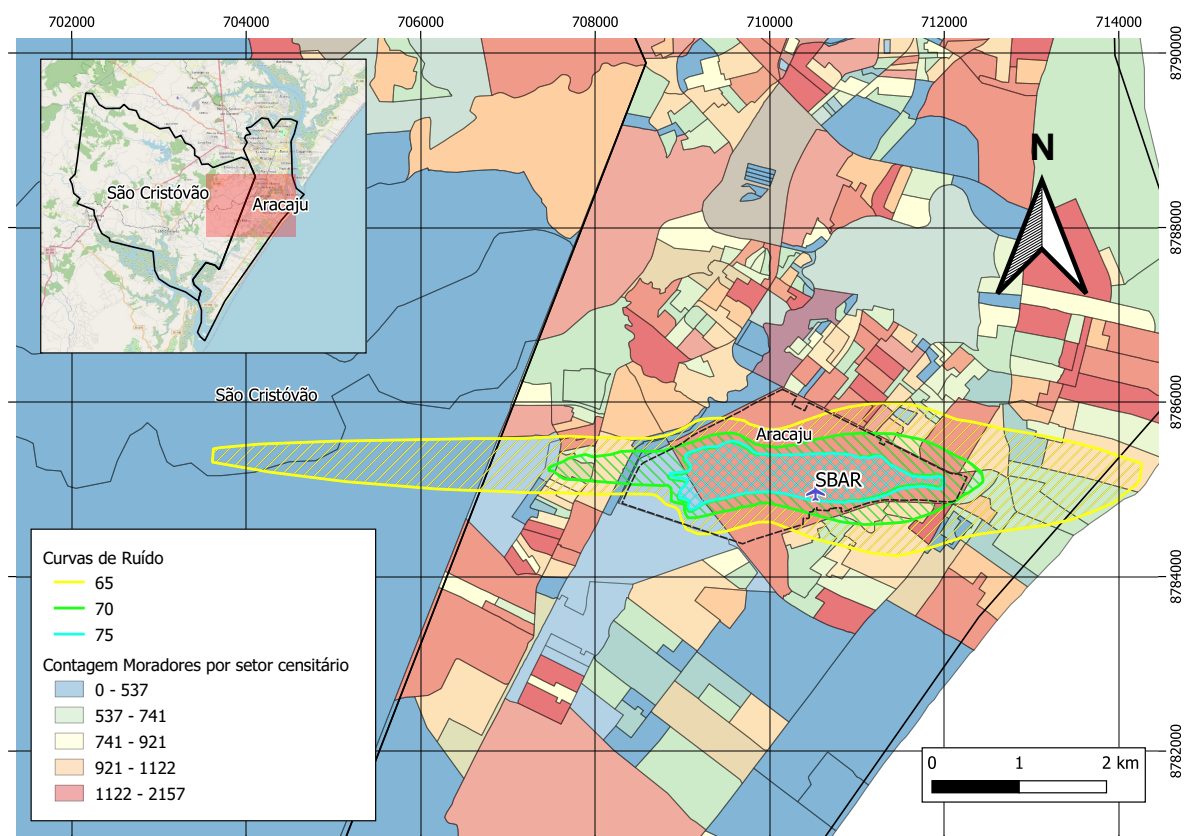


Figura 2.4 - Ferramenta estatísticas zonais aplicada na camada de população com o polígono do setor censitário, Fonte: Autor

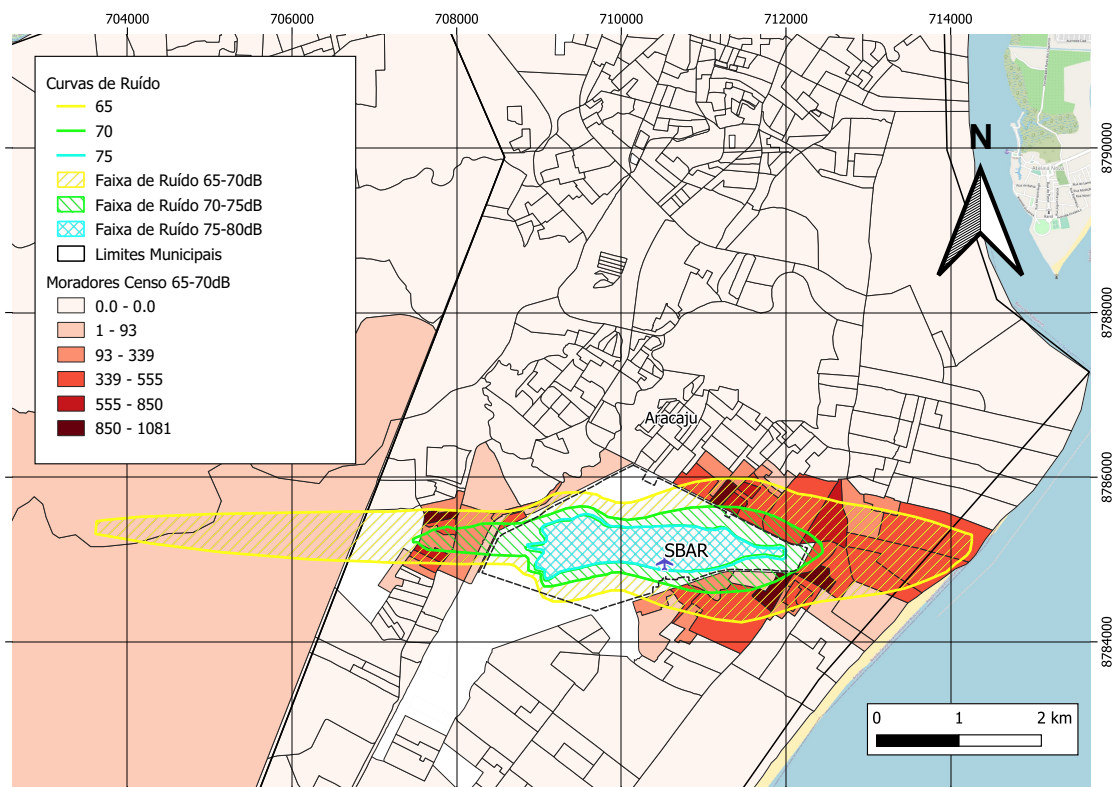


Figura 2.5 - População do WorldPop, ponderado para as áreas do setor censitário

### 3 ANÁLISE E RESULTADOS

Os dados do censo 2010 da área de busca possui 895 setores censitários dos municípios de Aracaju e São Cristóvão, com aproximadamente 610 km<sup>2</sup> de área. Foi encontrado um total de 78.488 habitantes para o município de São Cristóvão, e 569.487 habitantes para o município de Aracaju, resultando em um total de 647.975 habitantes para a área de busca.

A Tabela 3.1 mostra a estimativa de moradores atingidos pelas faixa de ruído para o ano de 2010 através dos dados do setor censitário.

Tabela 3.1 - Dado demográfico censo do ano de 2010

Faixa de Ruído	Moradores Censo 2010
65-70	<b>18.242</b>
70-75	<b>4.386</b>

O total de **22.628** moradores foi calculado incluindo as duas faixas de ruído.

As Tabelas 3.2, 3.3 e 3.4 informam os valores do dado WorldPop para as estimativas dos anos de 2010, 2015 e 2020 respectivamente. Pode ser notado na Figura 3.1 uma crescente maior de população afetada na curva da faixa 65 - 70 dB em comparação com curva da faixa 70 - 75 dB.

Tabela 3.2 - Dado demográfico WorlPop resolução espacial 100m para o ano de 2010

Faixa de Ruído	Moradores WorlPop 2010
65-70	<b>19.174</b>
70-75	<b>3.786</b>

Tabela 3.3 - Dado demográfico WorldPop resolução espacial 100m para o ano de 2015

Faixa de Ruído	Moradores WorlPop 2015
65-70	<b>21.289</b>
70-75	<b>4.203</b>

Tabela 3.4 - Dado demográfico WorldPop resolução espacial 100m para o ano de 2020

Faixa de Ruído	Moradores WorlPop 2020
65-70	<b>23.183</b>
70-75	<b>5.355</b>

Na figura 3.1 foi calculado através da Regressão linear das curvas das faixa de ruído um aumento na população de 453 habitantes por ano para a curva 65-70 e um aumento de 61 habitantes por ano para a curva 70-75.

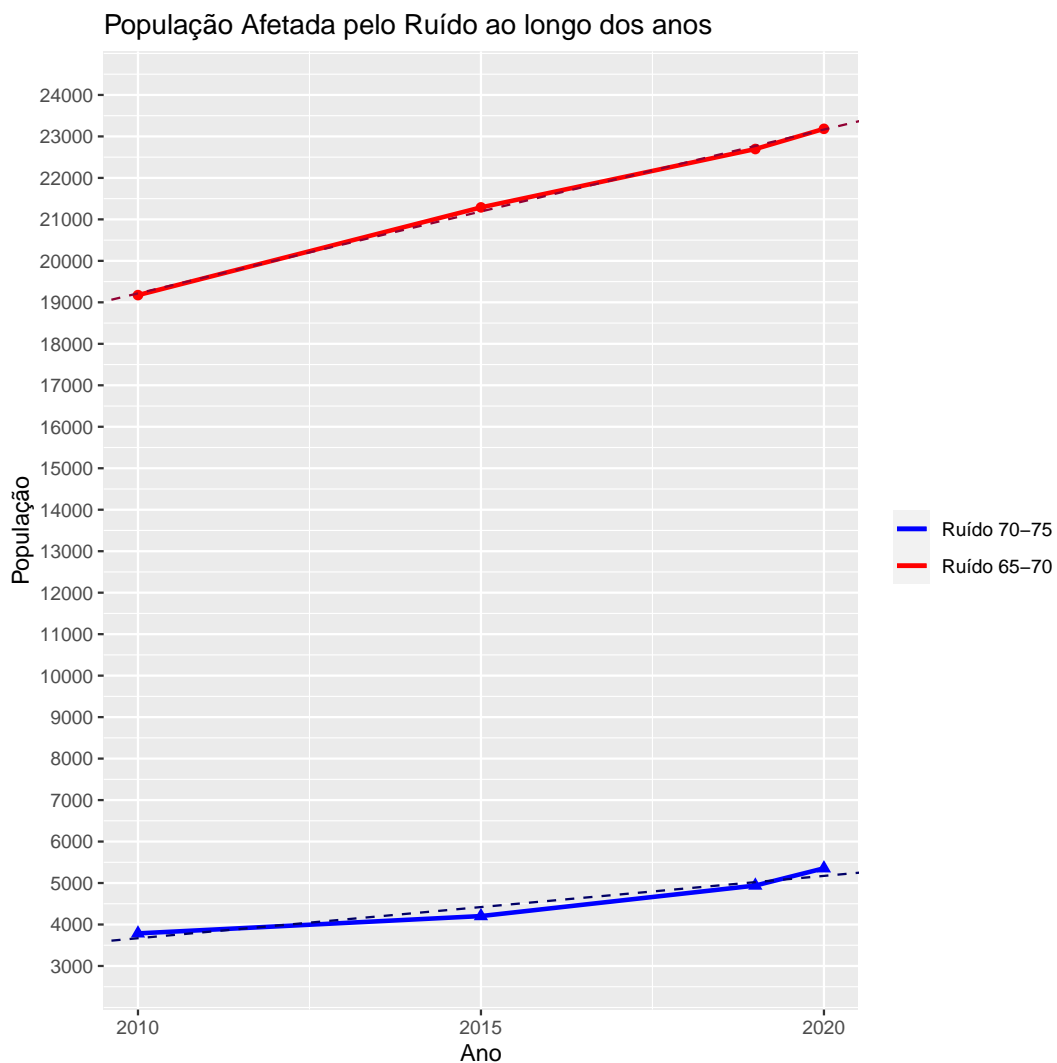


Figura 3.1 - População afetada pelo ruído ao longo dos anos

A seguir na Tabela 3.5 temos um resumo dos valores de população para os dados

demográficos. Inicialmente para o ano de 2010 os dados do WorldPop diferem dos dados do censo para as faixa de ruído. Os dados de 2109 foram projetados a partir da regressão linear observada no gráfico.

Tabela 3.5 - Estimativas de população dos dados demográficos - Resumo

Informação		CENSO	WorldPop			
Ano		2010	2010	2015	2019 <sup>1</sup>	2020
Faixa de Ruído	65-70	18.242	19.174	21.289	22.508	23.183
	70-75	4.386	3.786	4.203	4.730	5.355
<b>Total</b>		22.628	22.960	25.492	27.238	28.538

Utilizando dos dados do MapBiomias foram calculados os totais de áreas que foram classificadas como Infraestrutura Urbana. O Total de área das faixas de ruído também foram calculadas. A faixa 65-70 é a maior faixa de ruído, cobrindo 5.256.326 m<sup>2</sup>, com 831.165 da faixa 70-75. Foi observado uma porcentagem maior de cobertura por infraestrutura urbana na faixa 70-75, faixa mais perto do sítio portuário.

Tabela 3.6

Tabela 3.6 - Áreas Urbanas para diferentes anos do MapBiomias

Faixa Ruído	Ano	Área Total (m <sup>2</sup> )	Área Urbana(m <sup>2</sup> )	%Urbano
65-70	2010	5.256.326	2.561.400	48,73
70-75		831.165	529.200	63,67
65-70	2015	5.256.326	2.855.700	54,33
70-75		831.165	595.800	71,68
65-70	2019	5.256.326	2.824.200	53,70
70-75		831.165	603.900	72,70
65-70	2020 <sup>2</sup>	5.256.326	2.878.901	54,77
70-75		831.165	613.158	73,77

Os dados para o ano de 2020 foram projetados a partir da Regressão Linear contida na Figura 3.6, onde podemos notar uma redução da área urbana entre 2015 e 2019,

<sup>1</sup>Projeção por Regressão Linear para População

<sup>2</sup>Projeção por Regressão Linear para Área Urbana

podendo indicar uma imprecisão no dado. Através do cálculo da regressão linear para as duas faixas de ruído, observou-se um aumento da infraestrutura para a faixa 65-70 em torno de 30.000 m<sup>2</sup>/ano, enquanto o crescimento para a faixa 70-75 constatou-se menos com valores aproximados de 8.000 m<sup>2</sup>/ano.

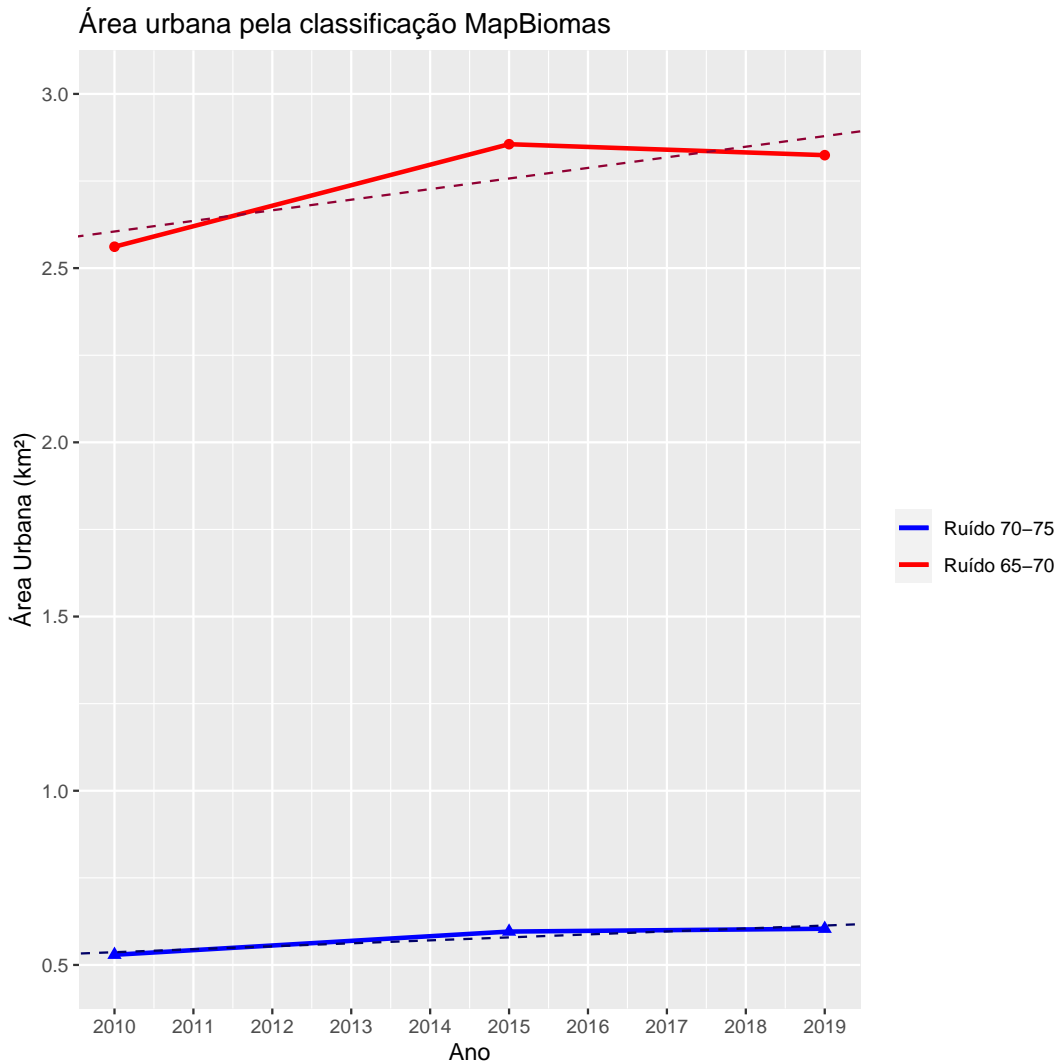


Figura 3.2 - Urbano

Com a junção dos dados de população estimada para o dado demográfico do World-Pop da Tabela 3.5 com os dados de Área urbana da Tabela 3.6, foi calculado a densidade populacional urbana para as faixas de ruído. A tabela 3.7 mostra que a densidade de população urbana (Dens. Urbana) está aproximada entre as faixas de ruído. A densidade populacional urbana entre faixas se inverte a partir do ano de 2018, quando a faixa de ruído 65-70 ultrapassa a faixa 70-75. A partir de 2018 esta



Tabela 3.7 - Densidade Populacional Urbana nas Faixas de Ruído

Faixa Ruído	Ano	Pop. Estimada	Área Urbana (m <sup>2</sup> )	Dens. Urbana (hab./km <sup>2</sup> )
65-70	2010	19.174	2.561.400	7486
70-75		3.786	529.200	7154
65-70	2015	21.289	2.855.700	7455
70-75		4.203	595.800	7054
65-70	2019*	22.696	2.824.200	8036
70-75		4.939	603.900	8179
65-70	2020	23.183	2.878.901	8050
70-75		5.355	613158	8733

densidade continua crescendo. A Figura 3.3 ilustra esta observação.

De acordo com a proporção calculada para cada setor censitário, foi projetado a população de 5 anos afetada pelo ruído ao longo dos anos a partir de 2010 com os dados do WorldPop. Os valores calculados estão na Tabela 3.8

Tabela 3.8 - Estimativa de população,ponderada pela área, menores de 5 anos atingida pelo ruído durante os anos

Faixa	2010	2015	2020
65-70	1.333 (7.0 %)	1.484 (7.0 %)	1.655 (7.1 %)
70-75	417 (11.0 %)	466 (11.1 %)	551 (10.3 %)

Tabela 3.9 - Estimativa de população,ponderada pela área, maior de 60 anos atingida pelo ruído durante os anos

Faixa	2010	2015	2020
65-70	1.273 (6.6 %)	1.415 (6.6 %)	1582 (6.8 %)
70-75	190 (5.0 %)	214 (5.1 %)	249 (4.6 %)

Na Figura 3.4 é ilustrado o crescimento da população para os moradores maiores de 60 anos nos setores censitários nos anos 2010, 2015 e 2020.

a Figura 3.5 apresenta o crescimento da população dos moradores menores de 5 anos nos setores censitários.

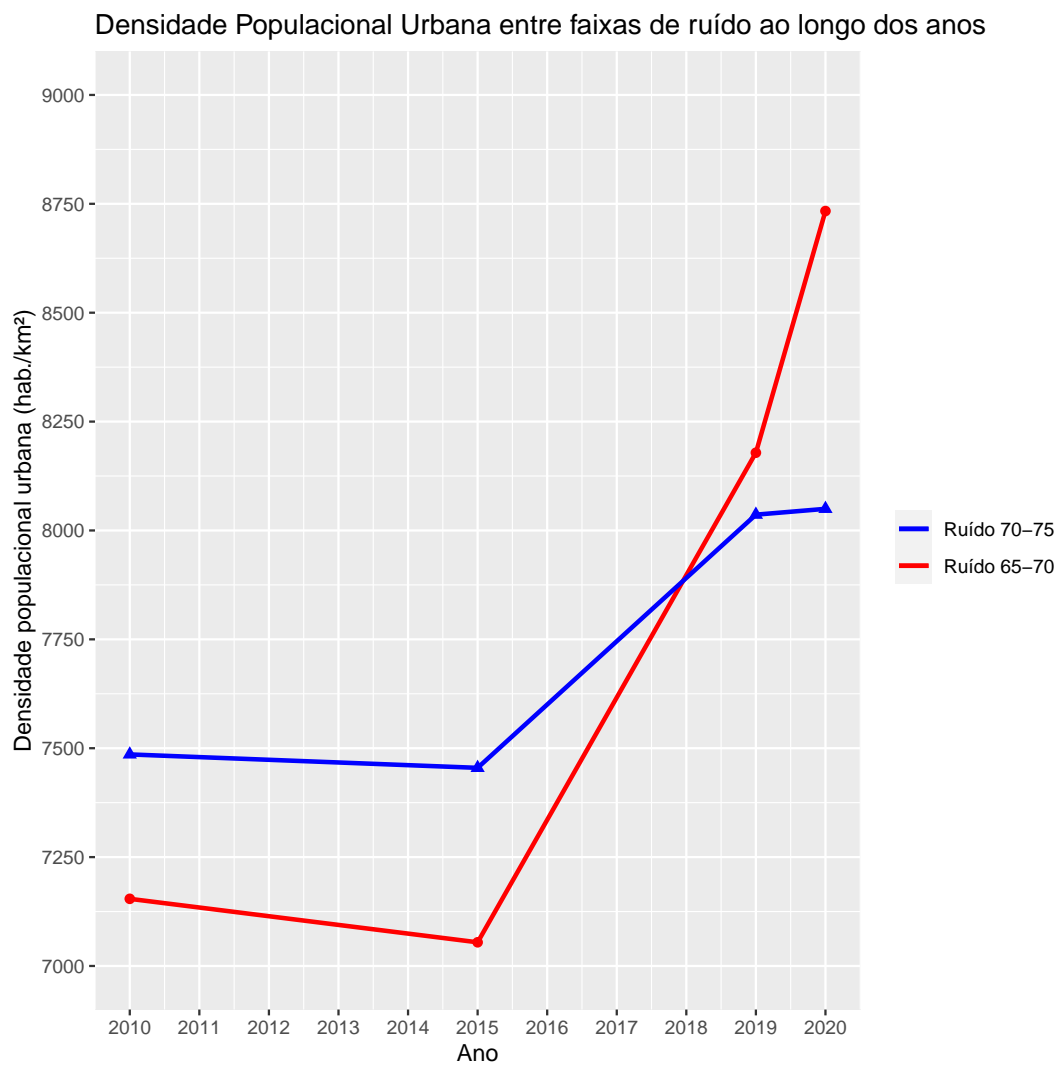


Figura 3.3 - Densidade populacional ao longo dos anos

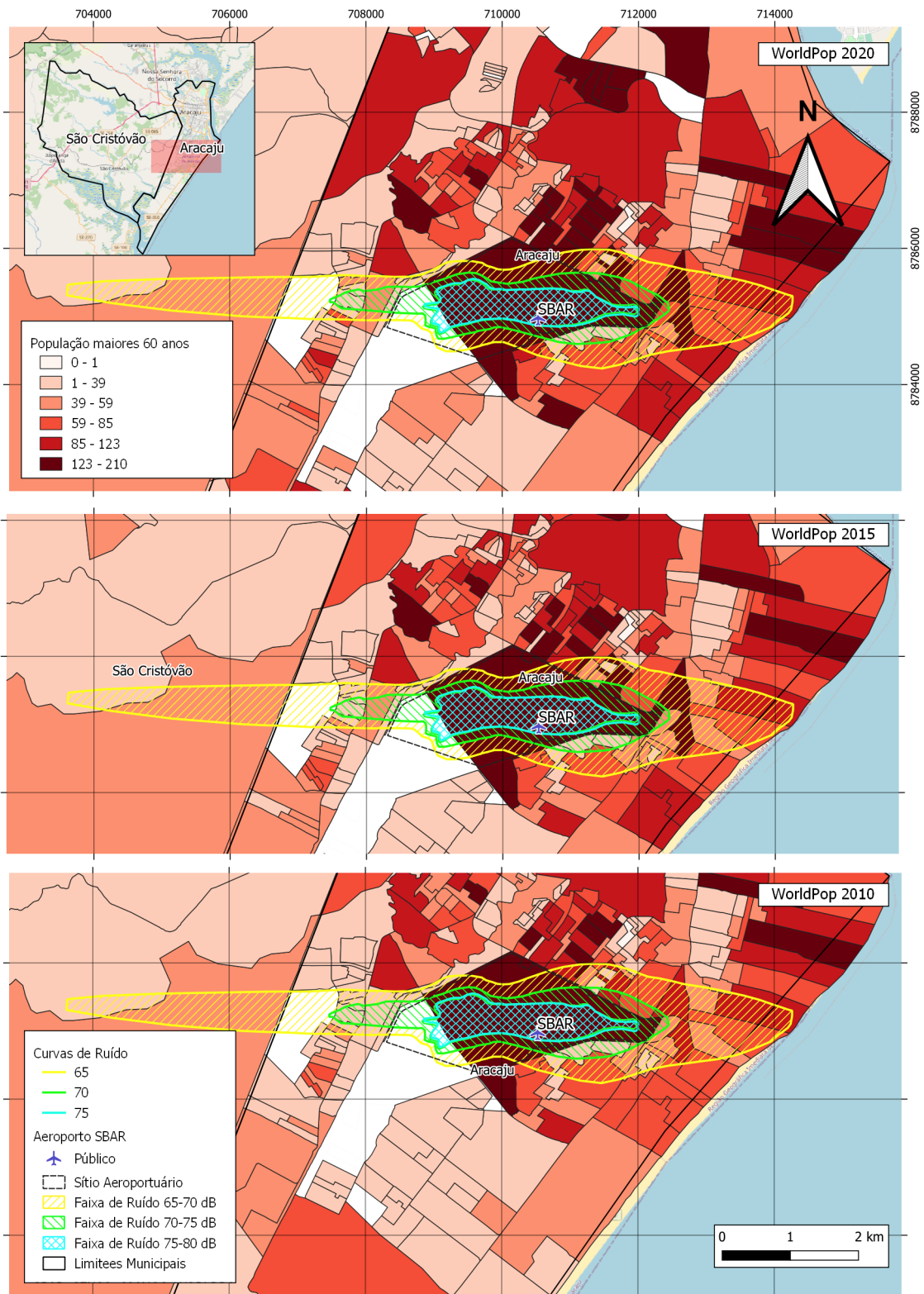


Figura 3.4 - População maiores de 60 anos

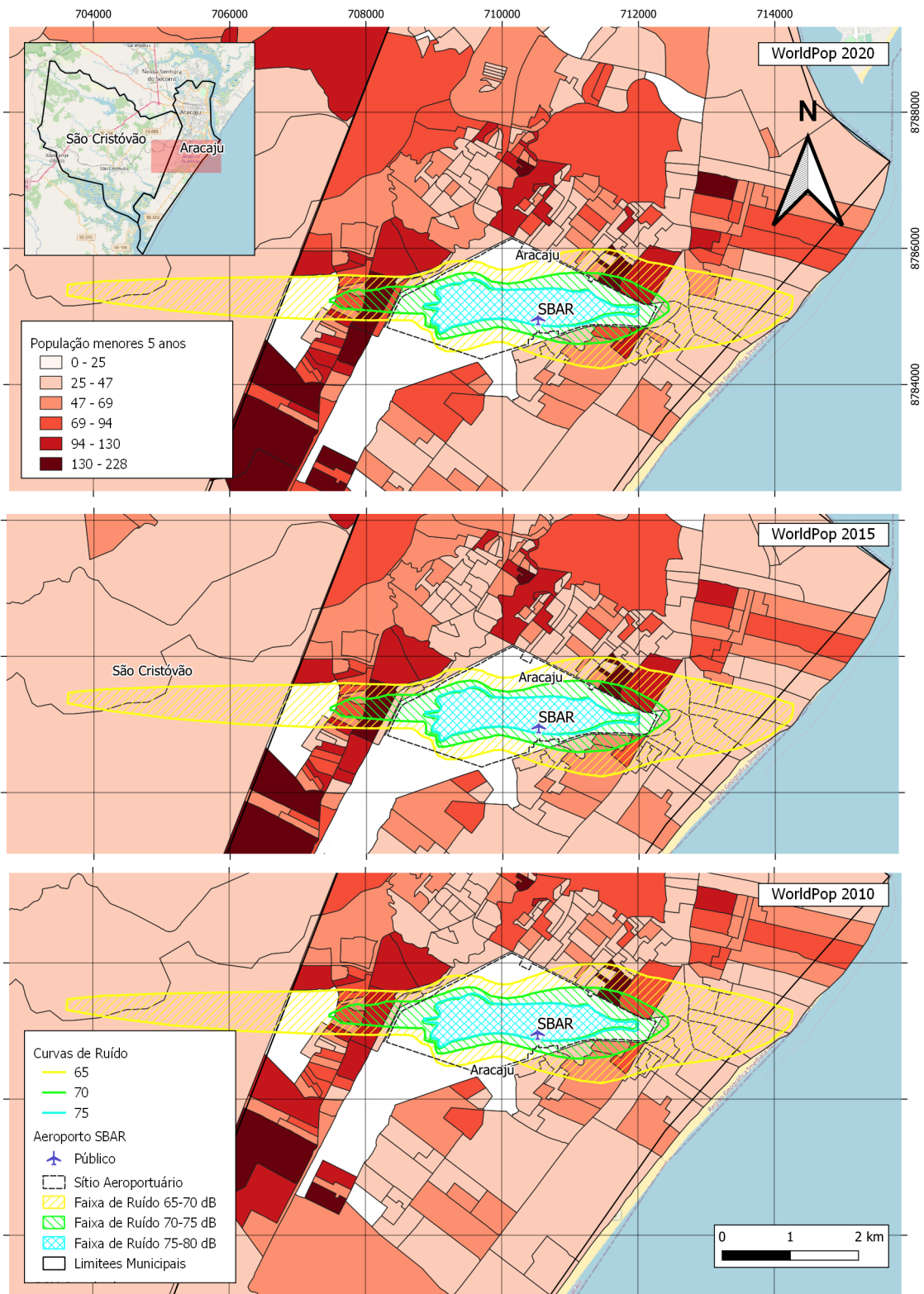


Figura 3.5 - População menores de 5 anos

Tabela 3.10 - HAP para diferentes faixas de ruído em 2010

DNL (dB)	População	HAP		
		SCHULTZ	FIDELL et al.	MIEDEMA; VOS
65-70	19.174	2.192	3006	4509
70-75	3.786	696	832	1228

Tabela 3.11 - HAP para diferentes faixas de ruído em 2015

DNL (dB)	População	HAP		
		SCHULTZ	FIDELL et al.	MIEDEMA; VOS
65-70	21.289	2.434	3.338	5.006
70-75	4.203	773	924	1.364

Tabela 3.12 - HAP para diferentes faixas de ruído em 2020

DNL (dB)	População	HAP		
		SCHULTZ	FIDELL et al.	MIEDEMA; VOS
65-70	23.183	2.434	3.338	5.006
70-75	5.355	773	924	1.364

Em relação à população altamente afetadas ao ruído, o cálculo HAP quantifica em 3 abordagens o número de população afetada. Em todos os cálculos (Ver tabela 3.10, 3.11 e 3.12) a abordagem de MIEDEMA; VOS produziu maiores valores, já a abordagem de SCHULTZ produziu as menores estimativas de população.

Para as populações altamente afetadas as 3 abordagens foram calculadas, indicando a quantidade de possível população atingida dentro das faixas de ruído do aeroporto. A Tabela 3.10 exibe um valor total de 4.509 moradores afetados na faixa 65-70 dB, utilizando a abordagem de MIEDEMA; VOS. Para faixa de 70-75 dB foi verificado um valor menor 1.228 moradores.

A Figura 3.6 ilustra o que foi mostrado anteriormente na Tabela 3.10:

Verifica-se as estimativas de população afetadas pelas abordagens HAP nas Tabelas 3.11 e 3.12, ilustrado também nas Figuras 3.7 e 3.8

Para as diferentes faixas de ruído observou-se uma estimativa de população alta-

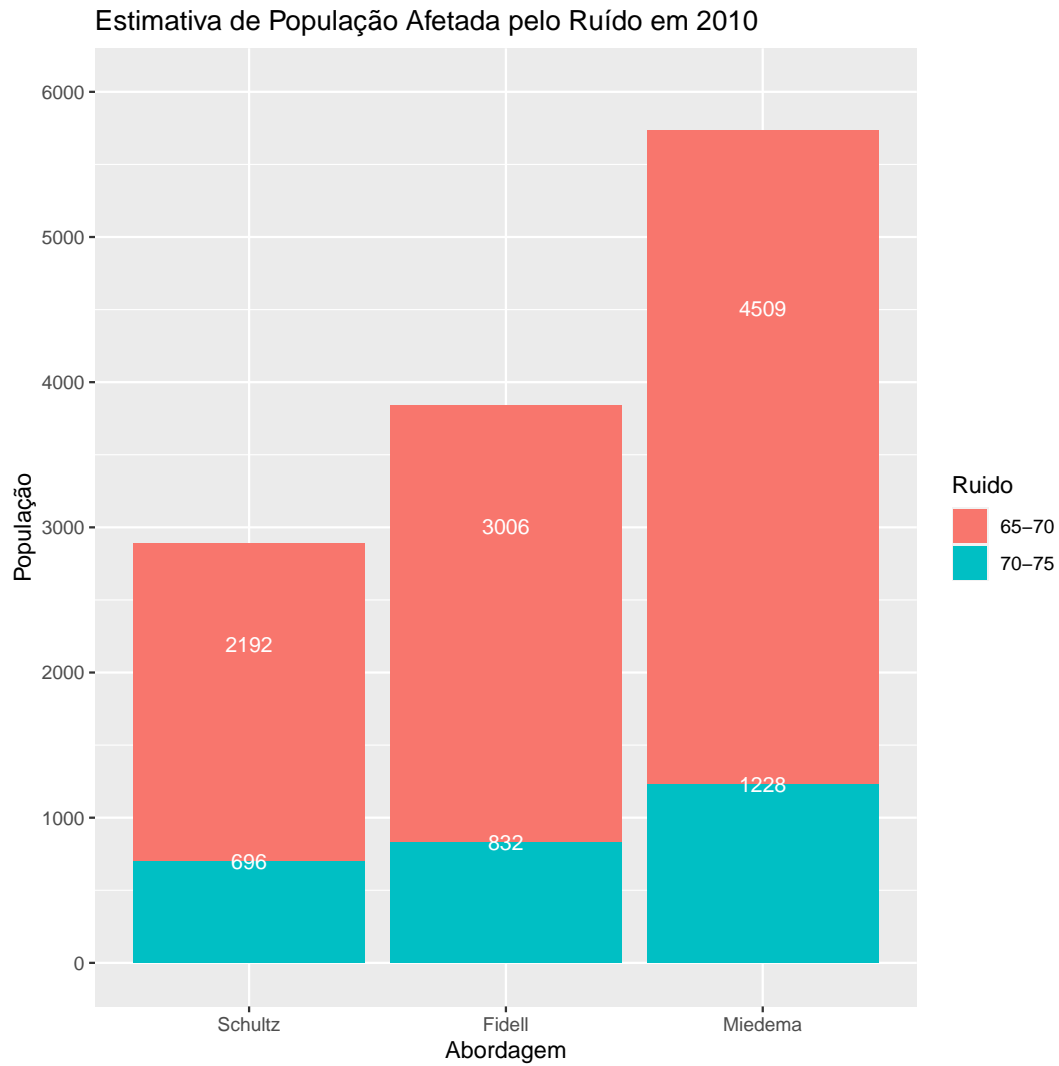


Figura 3.6 - População Sensível 2010 com dado WorldPop

mente afetada de  $\approx 11\%$  para SCHULTZ,  $\approx 14\%$  para FIDELL et al. e  $12.5\%$  na abordagem de MIEDEMA; VOS.

Os dados da infraestrutura urbana indicaram crescimento destas zonas. Observando a Figura ??, o enquadramento A. indica um aumento nos lotes localizados, principalmente, na faixa de ruído 65-70, mostrando possível crescimento na população afetadas para os próximos anos.

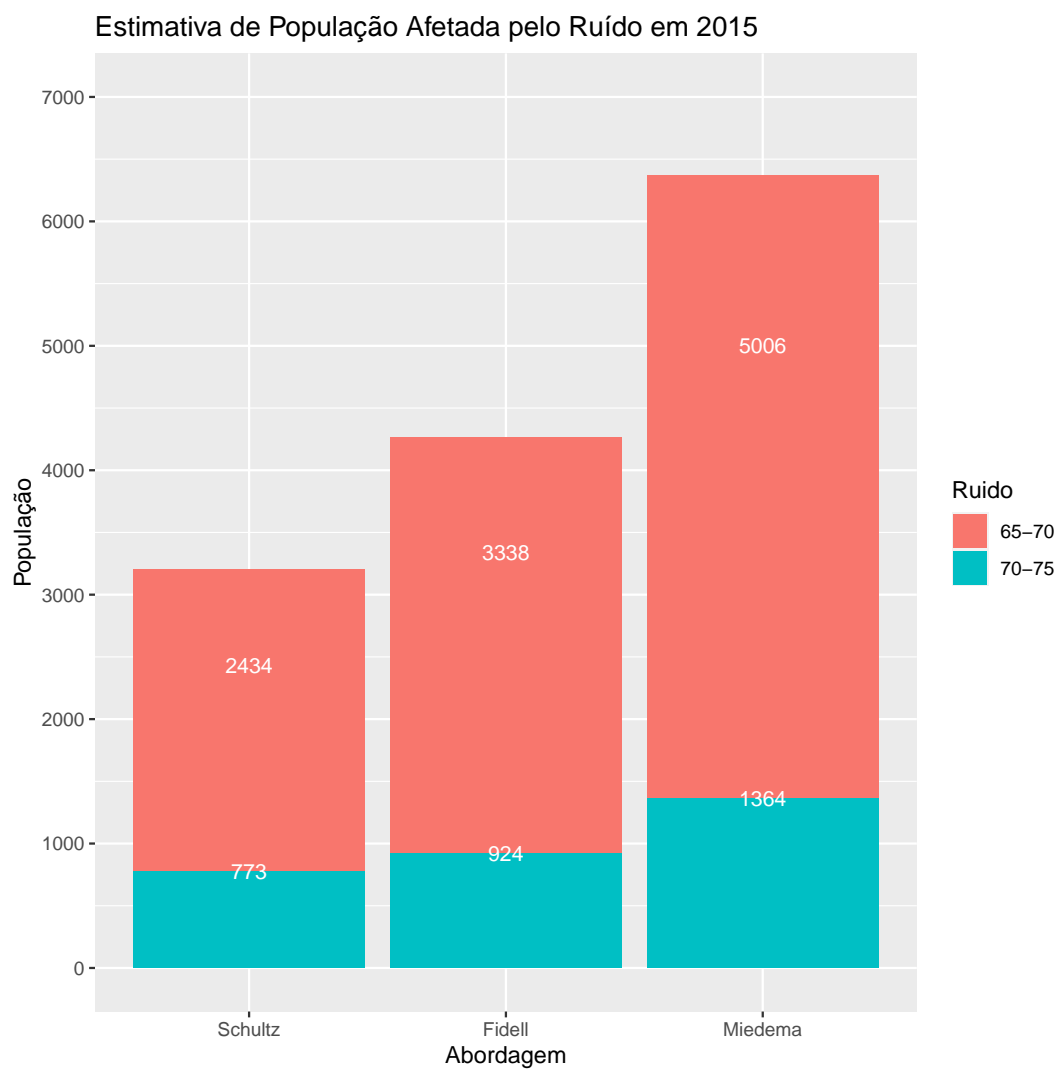


Figura 3.7 - População Sensível 2015 com dado WorldPop

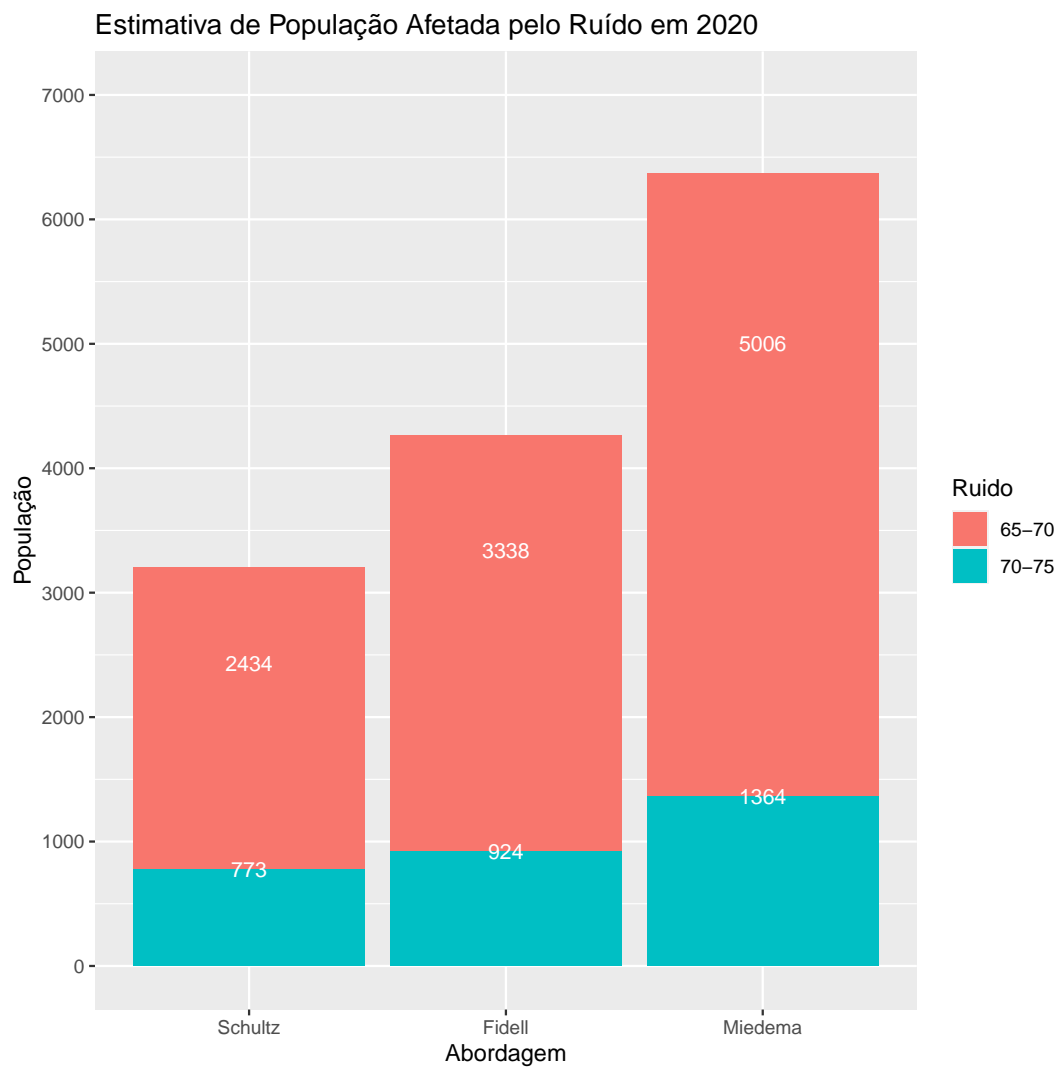


Figura 3.8 - População Sensível 2020 com dado WorldPop



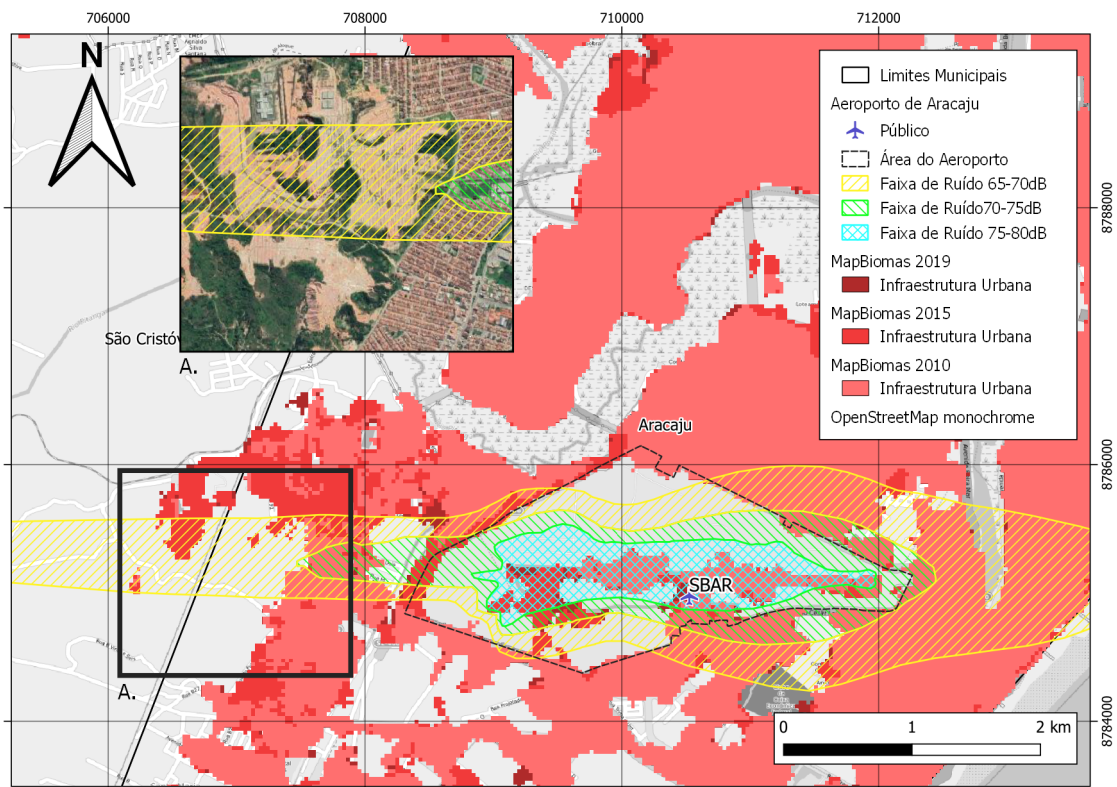


Figura 3.9 - Indicação do provável aumento da Infraestrutura urbana



## 4 CONCLUSÕES

Para os anos de 2010, 2015 e 2020 observado no estudo verificou-se um crescimento da população afetada pelo ruído maior para as faixas de ruído de 65-70 em relação à faixa 70-75, este crescimento está ligado ao aumento da infraestrutura urbana nesta faixa. A faixa de ruído mais próxima ao aeródromo, 70-75, mostrou-se mais densificada em relação a faixa mais exterior.

Verificou-se também uma maior incidência de moradores menores de 5 anos atingidos nas faixas de ruído. Aproximadamente 7 % da população total era de moradores abaixo de 5 anos na faixa 65-70 dB e 11% para a faixa 70-75. Já para a população maior de 60 anos, aproximadamente 6% para a faixa 65-70 e 5% para a faixa 70-75. Mostrando uma incidência maior de moradores menores que 5 anos nas faixas mais próximas do aeroporto se comparada com a população maior de 60 anos.

O estudo mostrou também uma densificação da faixa 65-70 maior que para a faixa 70-75, devido ao espaço urbano em expansão para a faixa mais externa de ruído, também foi apontado possível expansão urbana confirmando a hipótese levantada. Este hipótese mostrou que existem loteamentos que possibilitam a expansão da infraestrutura urbana principalmente na faixa mais externa, indicando que a população afetada nesta faixa irá aumentar ainda mais, além do que já foi relatado no estudo.

Os dados utilizados pelo WorldPop são estimativas para os anos de 2015 e 2020 através do censo de 2010, provavelmente para resultados mais precisos seriam necessários dados censitários mais atuais, estas estimativas se mostraram em crescente para as faixas 65-75, mostrando que é a área adjacente do aeroporto que precisa de mais atenção pelos órgãos competentes, principalmente onde se mostra em elevada expansão da infraestrutura urbana. A produção de estimativas melhores de população podem vir a auxiliar novas políticas para o ruído aeronáutico.

Estudos futuros a partir de novas projeções de tráfego aéreo, podem produzir novas faixas de ruído, além as dispostas no RBAC 161, e como mostrou a literatura abordada, outras faixas de ruídos também são prejudiciais para população. Além da análise para outros aeroportos brasileiros. O aeroporto de Aracaju se mostrou eficiente na proteção do ruído aeronáutico em faixas de maior ruído, a partir de 75 dB, em especial porque seu sítio aeroportuário encobria estas áreas.

Por fim, o estudo se mostrou capaz de estimar os diferentes tipos de exposição ao ruído da população adjacente ao aeroporto de Aracaju no Sergipe, também foi

capaz de determinar o número de população sensivelmente exposta, além do tipo de população, moradores menores de 5 anos e moradores maiores de 60 anos. Como os dados demográficos atualmente são profundamente difundidos, restaria para novos estudos, a aplicação contendo as curvas de ruído, ou então novas abordagens (fora as modelagens com softwares pagos ) utilizando ferramentas SIG para difundir esta estimativa de população para outros aeroportos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEGANA, V. A.; ATKINSON, P. M.; PEZZULO, C.; SORICHETTA, A.; WEISS, D.; BIRD, T.; ERBACH-SCHOENBERG, E.; TATEM, A. J. Fine resolution mapping of population age-structures for health and development applications. **Journal of The Royal Society Interface**, The Royal Society, v. 12, n. 105, p. 20150073, 2015. 7
- ANAC. **Planos de Zoneamento de Ruído de Aeródromos - PZR**. 2021. <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-161>. 1, 3
- BENTES, F. M.; HELENO, T. A.; SLAMA, J. G. Analysis of airport noise exposure around viracopos international airport using geographic information systems. **Journal of Air Transport Management**, Elsevier, v. 31, p. 15–17, 2013. 2
- BRASIL, U. d. S. do. Disponível em: <https://mapbiomas.org>. **Acesso em**, v. 05, 2021. 8
- CLARK, C.; MARTIN, R.; KEMPEN, E. V.; ALFRED, T.; HEAD, J.; DAVIES, H. W.; HAINES, M. M.; BARRIO, I. L.; MATHESON, M.; STANSFELD, S. A. Exposure-effect relations between aircraft and road traffic noise exposure at school and reading comprehension: the ranch project. **American journal of epidemiology**, Oxford University Press, v. 163, n. 1, p. 27–37, 2006. 3
- DEVILLE, P.; LINARD, C.; MARTIN, S.; GILBERT, M.; STEVENS, F. R.; GAUGHAN, A. E.; BLONDEL, V. D.; TATEM, A. J. Dynamic population mapping using mobile phone data. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, National Acad Sciences, v. 111, n. 45, p. 15888–15893, 2014. 7
- FIDELL, S.; SCHULTZ, T.; GREEN, D. M. A theoretical interpretation of the prevalence rate of noise-induced annoyance in residential populations. **The Journal of the Acoustical Society of America**, Acoustical Society of America, v. 84, n. 6, p. 2109–2113, 1988. 7, 21, 22
- GAUGHAN, A. E.; STEVENS, F. R.; LINARD, C.; JIA, P.; TATEM, A. J. High resolution population distribution maps for southeast asia in 2010 and 2015. **PloS one**, Public Library of Science San Francisco, USA, v. 8, n. 2, p. e55882, 2013. 7
- IBGE. **Censo demográfico 2010**. 7

\_\_\_\_\_. **Malha de Setores Censitários**. 2020. <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/26565-malhas-de-setores-censitarios-divisoes-intramunicipais.html?=&t=o-que-e>. 7

\_\_\_\_\_. **Panorama Cidades**. 2020. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/se/aracaju/panorama>. 5

ICAO, D. **9829 AN/451 Guidance on the Balanced Approach to Aircraft Noise Management**. [S.l.]: Canada, Montreal: ICAO, 2008. 1

INFRAERO. **Plano Específico de Zoneamento de Ruído - PEZR**. 2014. <https://www4.infraero.gov.br/media/674706/sbar-pezr-planta.pdf>. 5

\_\_\_\_\_. **Anuário estatístico operacional - 2018. Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária**, 2018. 5

ISSARAYANGYUN, T. **Aircraft Noise and Public Health: Acoustical Measurement and Social Survey Around Sydney, Kingsford Smith Airport**. [S.l.]: University of New South Wales, 2005. 4

JOSIMOVIĆ, B.; KRUNIC, N.; NENKOVIĆ-RIZNIC, M. The impact of airport noise as part of a strategic environmental assessment, case study: The tivat (montenegro) airport expansion plan. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, Elsevier, v. 49, p. 271–279, 2016. 1

MIEDEMA, H. M.; VOS, H. Exposure-response relationships for transportation noise. **The Journal of the Acoustical Society of America**, Acoustical Society of America, v. 104, n. 6, p. 3432–3445, 1998. 7, 21, 22

PEREIRA, M. R. de M. **Elaboração de novas curvas para o zoneamento de ruído segundo RBAC 161 e análise do uso e ocupação do solo do entorno do aeroporto internacional de Aracaju-SE**. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013. 1

REVOREDO, T. C.; SLAMA, J. G. Noise metrics comparison and its use on urban zoning in airport surveys: A brazilian case study. **Journal of Air Transport Management**, Elsevier, v. 14, n. 6, p. 304–307, 2008. 2

SCHULTZ, T. J. Synthesis of social surveys on noise annoyance. **The journal of the acoustical society of America**, Acoustical Society of America, v. 64, n. 2, p. 377–405, 1978. 2, 7, 21, 22

SILVA, B. A. C. da; SANTOS, G. S.; GOMES, R. de A. Land use policy in the vicinity of airports: Analysis and lessons learned from the brazilian situation. **Land Use Policy**, Elsevier, v. 90, p. 104314, 2020. 1, 2, 3

SMITH, A. P.; JONES, D. M. Noise and performance. **Handbook of human performance**, The physical environment, v. 1, p. 1–28, 1992. 4

STEVENS, F. R.; GAUGHAN, A. E.; LINARD, C.; TATEM, A. J. Disaggregating census data for population mapping using random forests with remotely-sensed and ancillary data. **PloS one**, Public Library of Science San Francisco, CA USA, v. 10, n. 2, p. e0107042, 2015. 7

TATEM, A. J.; NOOR, A. M.; HAGEN, C. V.; GREGORIO, A. D.; HAY, S. I. High resolution population maps for low income nations: combining land cover and census in east africa. **PloS one**, Public Library of Science San Francisco, USA, v. 2, n. 12, p. e1298, 2007. 7

THAKUR, N.; BATRA, P.; GUPTA, P. Noise as a health hazard for children: Time to make a noise about it. **Indian pediatrics**, Springer, v. 53, n. 2, p. 111–114, 2016. 3

WORLDPOP. **WorldPop, Open Spatial Demographic Data and Research**. 2015. <https://www.worldpop.org/>. 7, 8, 9





## **PUBLICAÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS EDITADAS PELO INPE**

### **Teses e Dissertações (TDI)**

Teses e Dissertações apresentadas nos Cursos de Pós-Graduação do INPE.

### **Manuais Técnicos (MAN)**

São publicações de caráter técnico que incluem normas, procedimentos, instruções e orientações.

### **Notas Técnico-Científicas (NTC)**

Incluem resultados preliminares de pesquisa, descrição de equipamentos, descrição e ou documentação de programas de computador, descrição de sistemas e experimentos, apresentação de testes, dados, atlas, e documentação de projetos de engenharia.

### **Relatórios de Pesquisa (RPQ)**

Reportam resultados ou progressos de pesquisas tanto de natureza técnica quanto científica, cujo nível seja compatível com o de uma publicação em periódico nacional ou internacional.

### **Propostas e Relatórios de Projetos (PRP)**

São propostas de projetos técnico-científicos e relatórios de acompanhamento de projetos, atividades e convênios.

### **Publicações Didáticas (PUD)**

Incluem apostilas, notas de aula e manuais didáticos.

### **Publicações Seriadas**

São os seriados técnico-científicos: boletins, periódicos, anuários e anais de eventos (simpósios e congressos). Contam destas publicações o Internacional Standard Serial Number (ISSN), que é um código único e definitivo para identificação de títulos de seriados.

### **Programas de Computador (PDC)**

São a seqüência de instruções ou códigos, expressos em uma linguagem de programação compilada ou interpretada, a ser executada por um computador para alcançar um determinado objetivo. Aceitam-se tanto programas fonte quanto os executáveis.

### **Pré-publicações (PRE)**

Todos os artigos publicados em periódicos, anais e como capítulos de livros.