

Universidade de São Paulo
Instituto de Matemática e Estatística
Bacharelado em Ciência da Computação

Hélio Hideki Assakura Moreira

**Lungy - monitoramento da qualidade do ar para
praticantes de atividades físicas**

São Paulo
Dezembro de 2018

Lungy - monitoramento da qualidade do ar para praticantes de atividades físicas

Monografia final da disciplina
MAC0499 – Trabalho de Formatura Supervisionado.

Supervisor: Prof. Dr. Alfredo Goldman vel Lejbman
[Cosupervisor: Prof. Dr. Rômulo Cássio de Moraes Bertuzzi]

São Paulo
Dezembro de 2018

Agradecimentos

Agradeço aos meus orientadores Alfredo Goldman e Rômulo Bertuzzi pelo tempo e atenção no desenvolvimento desse trabalho e aos colegas Rodrigo Orém, Gustavo Estrela e Christian Táfula por ajudarem com sugestões tanto no desenvolvimento do projeto quanto na revisão da monografia.

Resumo

Muitos recursos tecnológicos são inventados toda hora, e pode-se usá-los para melhorar a vida de diversas pessoas. Nem todos os habitantes de centros urbanos têm consciência da qualidade do ar que respiram ou o mal que isso faz. Assim, foi desenvolvido um aplicativo Android chamado *Lungy*, que deve informar praticantes de atividades físicas, principalmente aqueles que moram em cidades poluídas, sobre a poluição local e o mal que poderá ocorrer ao se exercitar nesse tipo de ambiente. Com dados coletados por companhias especializadas no monitoramento da qualidade do ar, o usuário dispõe de medidas da concentração de material particulado e gases poluentes presentes no ar, condições climáticas e uma sugestão de quanto tempo é recomendado se exercitar no local, dependendo do tipo da atividade que está sendo praticada. Futuramente, o aplicativo poderá se integrar com outros dispositivos como Smartwatches e cintas cardíacas, para dar resultados ainda mais precisos. Com o avanço do conceito de Cidades Inteligentes, será mais frequente haver iniciativas desse tipo, tentando integrar cada vez mais as cidades e os cidadãos.

Palavras-chave: cidade, poluição, exercício, aplicativo, qualidade do ar.

Abstract

Many technological resources are invented all the time, and they can be used to improve the lives of several people. Not all city dwellers are aware of the quality of the air they breathe or the harm that pollution causes to health. Thus, the Android application called *Lungy* was developed, which should inform practitioners of physical activities, especially those living in polluted cities, about local air pollution and the harm that it could occur when exercising in this type of environment. With data collected from specialized companies that monitors the air quality, the user has measurements of air pollutants presents in the air, climatic conditions and a recommendation of how long they should exercise at the place, depending on the type of activity being practiced. In the future, the application can integrate with other devices such as Smartwatches and heart rate monitors, to give even more accurate results. With the advancement of the concept of Intelligent Cities, it will be more frequent to have initiatives of this type, trying to integrate more and more cities and citizens.

Keywords: cities, pollution, exercise, application, air quality.

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Motivação	1
1.2	Objetivo	1
1.3	Organização da monografia	2
2	Conceitos	3
2.1	AQI	3
2.2	Particulados $PM_{2.5}$ e PM_{10}	5
2.3	Gases Poluentes	6
2.4	Efeitos da umidade, temperatura e pressão no exercício físico	7
3	Estudo Teórico	9
3.1	Metabolic Equivalent of Task (MET)	9
3.2	Resting Metabolic Rate (RMR)	9
3.3	Dose-Response Functions (DRF)	10
3.4	Background Particulate Matter Concentration (BPMC)	10
3.5	Relative Risk (RR)	10
3.6	Background Contrast (BC)	11
3.7	Ventilation Rates (VR)	11
3.8	Breakeven Point (BP)	11
3.9	Cálculo do BP	11
4	Aplicativo	15
4.1	Ambiente de Desenvolvimento	15
4.2	Visão Geral	15
4.2.1	Splash Screen (tela de abertura)	16
4.2.2	Tela de informações pessoais	16
4.2.3	Tela principal	16
4.3	Obtenção dos dados	17
4.4	Dados da estação/sensor	18
4.5	Dados do exercício	20
4.6	Dados pessoais / Histórico	22

4.7 Código-fonte	22
5 Aplicativo Desejado	23
6 Conclusões	25
Referências Bibliográficas	27

Capítulo 1

Introdução

1.1 Motivação

Juntamente com o avanço da tecnologia e dos grandes centros urbanos, os níveis de poluentes no ar crescem. Segundo o tabloide *The Guardian* (2016), a poluição do ar cresceu cerca de 8% nos últimos 5 anos. Em países como China e Índia, a qualidade do ar é extremamente baixa em áreas industriais. *Lelieveld et al. (2015)* mostram que a poluição externa, primariamente por $PM_{2.5}$, causa cerca de 3.3 milhões de mortes prematuras por ano, em todo o mundo, principalmente na região da Ásia.

A prática de atividades físicas ao ar livre também cresce, e isso vem sendo usado para promover a integração entre a população e a cidade. Muitos programas foram desenvolvidos com esse tema, como o Ruas Abertas¹, a ampliação da estrutura cicloviária de São Paulo², e de forma geral, a Lei de Incentivo ao Esporte³. Porém, não há uma conscientização quanto ao níveis de poluentes respirados durante a prática do exercício e o risco que eles causam à saúde.

Ao juntar esses dois fatores (crescimento tecnológico e prática de atividades físicas), podemos nos precaver de diversos danos à saúde causados pela poluição, sabendo se é recomendável se exercitar em determinado lugar e horário, quanto de poluentes estamos inalando, e se isso irá afetar nossa saúde no futuro.

1.2 Objetivo

Para auxiliar os praticantes de atividades físicas ao ar livre nos centros urbanos, foi proposto a criação de um aplicativo Android que mostra quanto tempo a pessoa poderá se exercitar até que possa sofrer danos permanentes a saúde, a longo prazo, devido a poluição

¹<http://www.capital.sp.gov.br/noticia/prefeitura-institui-oficialmente-programa-ruas-abertas> [Acesso em 23/04/2018]

²<http://www.capital.sp.gov.br/cidadao/transportes/bicicletas/onde-andar/ciclofaixas> [Acesso em 23/04/2018]

³<http://www.brasil.gov.br/noticias/esporte/2009/10/conheca-a-lei-de-incentivo-ao-esporte> [Acesso em 23/04/2018]

do local, baseado no artigo escrito pelos autores *Tainio et al. (2016)*. Esse app deve usar medidas de sensores próximos ao local do usuário para fazer os cálculos, e alertá-lo caso seja perigoso continuar o exercício.

1.3 Organização da monografia

A monografia contém primariamente 5 capítulos além da introdução. No capítulo 2 são apresentados conceitos fundamentais sobre a forma que a qualidade do ar é medida, os particulados e os gases nocivos a saúde. No capítulo 3, será mostrado a base matemática dos cálculos e no 4 será apresentado o aplicativo e suas funcionalidades. O capítulo 5 contém a expectativa do que o aplicativo fará em futuras versões e possíveis funcionalidades a serem implementadas, e o capítulo 6 resume as conclusões tiradas da elaboração do trabalho.

Capítulo 2

Conceitos

Nesse capítulo serão apresentados os principais conceitos sobre como é medida a qualidade do ar, os particulados e gases poluentes e o dano que eles podem causar a saúde, além de mostrar outros fatores que afetam a qualidade de uma atividade física.

2.1 AQI

O AQI (Air Quality Index) é um indicador da qualidade do ar, que varia de 0 a 500, mas dependendo do país pode variar. Seu valor corresponde aos níveis de poluição locais comparados ao padrão de qualidade do ar do país, e quanto maior o AQI, maior a poluição. O padrão usado no aplicativo é o americano, regulado pela EPA¹, e seus níveis são mostrados na Figura 2.1.

AQI Basics for Ozone and Particle Pollution		
Daily AQI Color	Values of Index	Description of Air Quality
Good Green	0 to 50	Air quality is satisfactory, and air pollution poses little or no risk.
Moderate Yellow	51 to 100	Air quality is acceptable. However, there may be a risk for some people, particularly those who are unusually sensitive to air pollution.
Unhealthy for Sensitive Groups Orange	101 to 150	Members of sensitive groups may experience health effects. The general public is less likely to be affected.
Unhealthy Red	151 to 200	Some members of the general public may experience health effects; members of sensitive groups may experience more serious health effects.
Very Unhealthy Purple	201 to 300	Health alert: The risk of health effects is increased for everyone.
Hazardous Maroon	301 and higher	Health warning of emergency conditions; everyone is more likely to be affected.

Figura 2.1: Valores do AQI e suas correspondentes descrições. Fonte: *AirNow* (2018)

Os valores de 0 a 100 correspondem a concentrações consideradas satisfatórias. Acima

¹<https://www.epa.gov/> Acesso em: 18/10/2018

disso, pessoas com problemas respiratórios podem ter complicações e quanto maior o AQI, maior o grupo de pessoas que pode ser prejudicada.

Com os dados da concentração do poluente, o AQI é calculado da seguinte forma²:

$$AQI = \left[\frac{(C - C_{low}) \times (I_{high} - I_{low})}{(C_{high} - C_{low})} \right] + I_{low} \quad (2.1)$$

Onde:

- C = Concentração média observada em $\mu g/m^3$ de um poluente durante o período de 24 horas
- C_{high} = Concentração máxima da categoria que contém C .
- C_{low} = Concentração mínima da categoria que contém C .
- I_{high} = AQI máximo correspondente a C .
- I_{low} = AQI mínimo correspondente a C .

Os valores de C_{high} , C_{low} , I_{high} e I_{low} podem ser encontrados na Figura 2.2:

O_3 (ppb)	O_3 (ppb)	$PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)	PM_{10} ($\mu g/m^3$)	CO (ppm)	SO_2 (ppb)	NO_2 (ppb)	AQI	AQI
$C_{low} - C_{high}$ (avg)	$C_{low} - C_{high}$ (avg)	$C_{low} - C_{high}$ (avg)	$C_{low} - C_{high}$ (avg)	$C_{low} - C_{high}$ (avg)	$C_{low} - C_{high}$ (avg)	$C_{low} - C_{high}$ (avg)	$I_{low} - I_{high}$	Category
0-54 (8-hr)	-	0.0-12.0 (24-hr)	0-54 (24-hr)	0.0-4.4 (8-hr)	0-35 (1-hr)	0-53 (1-hr)	0-50	Good
55-70 (8-hr)	-	12.1-35.4 (24-hr)	55-154 (24-hr)	4.5-9.4 (8-hr)	36-75 (1-hr)	54-100 (1-hr)	51-100	Moderate
71-85 (8-hr)	125-164 (1-hr)	35.5-55.4 (24-hr)	155-254 (24-hr)	9.5-12.4 (8-hr)	76-185 (1-hr)	101-360 (1-hr)	101-150	Unhealthy for Sensitive Groups
86-105 (8-hr)	165-204 (1-hr)	55.5-150.4 (24-hr)	255-354 (24-hr)	12.5-15.4 (8-hr)	186-304 (1-hr)	361-649 (1-hr)	151-200	Unhealthy
106-200 (8-hr)	205-404 (1-hr)	150.5-250.4 (24-hr)	355-424 (24-hr)	15.5-30.4 (8-hr)	305-604 (24-hr)	650-1249 (1-hr)	201-300	Very Unhealthy
-	405-504 (1-hr)	250.5-350.4 (24-hr)	425-504 (24-hr)	30.5-40.4 (8-hr)	605-804 (24-hr)	1250-1649 (1-hr)	301-400	Hazardous
-	505-604 (1-hr)	350.5-500.4 (24-hr)	505-604 (24-hr)	40.5-50.4 (8-hr)	805-1004 (24-hr)	1650-2049 (1-hr)	401-500	

Figura 2.2: Tabela de valores-guia para o cálculo do AQI. Fonte: *Wikipedia (2018a)*

Cada poluente pode ter um valor de AQI diferente em um mesmo sensor, por isso o valor considerado é o do maior deles. Seus valores podem ser encontrados na internet (normalmente no site da instituição responsável pela qualidade do ar na região, como a EPA nos EUA)³, enviado por email (*EnviroFlash*⁴, que envia um email quando o AQI da região chegar a níveis preocupantes), ou informado na TV, rádio e jornais.

Em São Paulo, a qualidade do ar é monitorada pela *CETESB*⁵ (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo), e possui cerca de 28 sensores na Região Metropolitana, além de

²Fonte: [Environmental Protection Agency \(2012\)](#)

³<https://www.airnow.gov/> [Acesso em 20/10/2018]

⁴www.enviroflash.info Acesso em [20/10/2018]

⁵<https://cetesb.sp.gov.br/> [Acesso em 20/10/2018]

mais 32 espalhados por todo o estado. Ela possui diversas ferramentas de consulta sobre o ar, como o *Resumo da Última Hora*⁶, que mostra as leituras mais recentes dos sensores.

2.2 Particulados $PM_{2.5}$ e PM_{10}

O material particulado (ou Particulate Matter, em inglês) é uma mistura de substâncias sólidas ou líquidas emitidas de forma direta, como cinzas de um incêndio florestal, ou indiretamente como o resultado de uma reação entre poluentes na atmosfera. Os de tamanho pequeno (até 10 micrômetros) podem causar vários danos à saúde quando inalados, e vem de fontes como combustíveis fósseis queimados ([Environmental Protection Agency, 2014](#)).

Essas partículas menores podem ser divididas entre 2 categorias: $PM_{2.5}$ e PM_{10} .

O $PM_{2.5}$ corresponde ao particulado de diâmetro entre 0.1 e 2.5 micrômetros, e podem ser chamados de material particulado fino. As maiores fontes emissoras são a queima de combustíveis por veículos automotores, usinas elétricas, queimadas florestais ou de plantações, processos industriais e outros processos de combustão.

Também chamados de partículas grossas, o PM_{10} é o particulado com diâmetro entre 2.5 e 10 micrômetros. Esse material consiste principalmente de poeira, algumas substâncias emitidas pelo escapamento dos carros, partículas vegetais ou emissões industriais carregadas pelo vento ([Godish, 2005](#)).

Segundo [Ferreira \(2016\)](#), as partículas menores que 10 μm são as que tem maior impacto negativo na saúde do ser humano, pois os mecanismos de defesa do sistema respiratório superior (cavidade nasal, cavidade oral, laringe e faringe ([Wikipedia, 2018b](#))) não impedem sua passagem, e quanto menor o diâmetro, maior sua penetração. O material particulado fino, em especial, é mais preocupante, pois consegue infiltrar nos pulmões e em alguns casos, passar dos alvéolos pulmonares para o sistema circulatório.

Quando a concentração de poluentes tem níveis mais altos (AQI maior que 100), as chances de ocorrer problemas respiratórios ou cardíacos aumentam, principalmente para grupos sensíveis ao material particulado. Entram nesse grupo pessoas com doenças cardíacas ou respiratórias (incluindo insuficiência cardíaca e doença coronariana, ou asma e doença pulmonar obstrutiva crônica), idosos e crianças ([EPA \(2014\)](#)). No mesmo documento são citados problemas decorrentes da exposição a poluição, como:

- Idosos e pessoas com doenças do coração ou pulmão costumam visitar os pronto-socorros mais frequentemente quando expostos a altos níveis de poluição.
- Cardíacos podem sentir dores no peito, palpitações, respiração acelerada e fadiga, e em casos mais raros, arritmia cardíaca e ataques cardíacos.
- Portadores de problemas respiratórios podem não conseguir respirar profundamente, sofrer de respiração acelerada e tosse. Pessoas saudáveis também podem sentir esses

⁶<http://s.ambiente.sp.gov.br/html-ar/resumo-ultima-hora.html> [Acesso em 20/10/2018]

efeitos.

- Aumento da suscetibilidade a infecções respiratórias ou agravamento de doenças pré-existentes, como asma ou bronquite crônica.

2.3 Gases Poluentes

Além do material particulado, temos outros poluentes que afetam negativamente nossa saúde, quando presentes em elevadas concentrações. O primeiro indício é a diminuição da visibilidade, pois com baixa velocidade do vento e alta umidade, há um aumento no tamanho de partículas higroscópicas, dificultado a visualização do horizonte (PCPV, 2011).

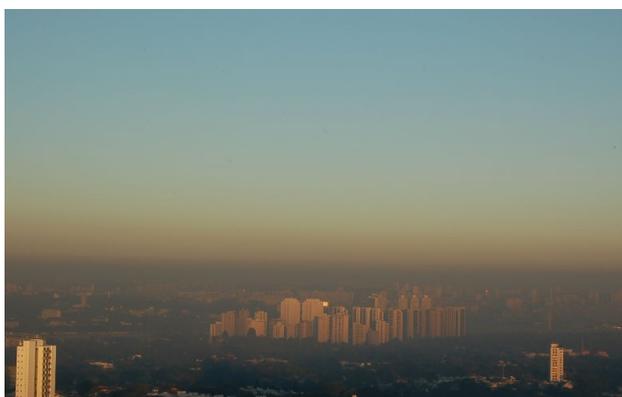


Figura 2.3: *Camada visível de poluição na cidade de São Paulo. Fonte: gpiambiental*

Segundo PCPV (2011), alguns poluentes foram agrupados para servirem de indicadores da qualidade do ar, devido a dificuldade de classificação quando presentes na atmosfera. Eles são: O₃ (Ozônio), CO (Monóxido de Carbono), SO₂ (Dióxido de Enxofre) e NO₂ (Dióxido de Nitrogênio).

Ozônio

EPA (2014) cita 2 tipos de Ozônio, um benéfico e outro prejudicial a saúde. O primeiro tipo está presente naturalmente na camada atmosférica da Terra, e diminui o impacto dos raios ultravioleta nos seres vivos. A segunda forma ocorre perto do solo, e é resultado da ação da luz solar em outros compostos químicos (como o O₂), promovendo a reação entre eles. Há uma maior concentração em épocas mais quentes, com maior ação solar. Esse gás pode agravar doenças respiratórias pré-existentes, como asma, bronquite crônica e enfisema, causar problemas de saúde em jovens e crianças, pois estão normalmente mais expostos e seus pulmões ainda estão em desenvolvimento, idosos, e pessoas geneticamente mais sensíveis ao ozônio.

Monóxido de Carbono

Segundo PCPV (2011), o monóxido de carbono é um gás incolor, inodoro, formado da combustão incompleta, e em centros urbanos, sua emissão é feita principalmente pela exaustão dos automóveis (95% do total), processos industriais e queimadas florestais. Normalmente o nível de CO é maior em temperaturas mais baixas, pois o frio faz com que seja mais difícil ocorrer a combustão completa. O gás é extremamente nocivo, pois entra na corrente sanguínea através dos pulmões e se liga a hemoglobina, reduzindo a quantidade de oxigênio transportado a órgãos e tecidos (CETESB, 2010). Pessoas com doenças cardiovasculares, como a doença coronariana, podem ter dores no peito ao realizar exercícios físicos em ambientes com alta concentração de CO. Em indivíduos saudáveis, pode afetar a percepção e a visão.

Dióxido de Enxofre

O dióxido de enxofre é um gás incolor, extremamente reativo, possui forte odor e é precursor dos sulfatos, um dos principais componentes do PM_{10} . As maiores fontes de SO_2 são caldeiras industriais, gases vulcânicos, usinas termelétricas, fabricação de fertilizantes, além de ser expelido pelos carros na queima de combustíveis fósseis. Quando exposto a esse gás, um indivíduo asmático pode ter um estreitamento das vias nasais (broncoconstrição), acompanhado ou não de tontura, sensação de aperto no peito e respiração ofegante. Caso os níveis do poluente forem altos, esses sintomas podem ocorrer em pessoas saudáveis (CETESB, 2012).

Dióxido de Nitrogênio

O dióxido de nitrogênio é um gás altamente reativo, e é formado pela queima de combustíveis em altas temperaturas, como nos motores a combustão dos carros. O NO_2 também contribui em grande parte das reações atmosféricas, produzindo concentração de ozônio. Os problemas de saúde relacionados ao dióxido de nitrogênio incluem irritação pulmonar e diminuição da resistência a infecções respiratórias. Outro malefício do NO_2 é ambiental: ele contribui para a formação de chuva ácida e na eutrofização de lagos (PCPV, 2011).

2.4 Efeitos da umidade, temperatura e pressão no exercício físico

Além dos efeitos dos particulados e dos gases poluentes, outros fatores podem prejudicar a qualidade da atividade física. Os dados recebidos dos sensores pelo aplicativo contam com a umidade relativa do ar, a temperatura do local e a pressão.

Segundo Meljavic *et al.* (2017), quando comparamos pessoas praticando atividade física em ambientes com umidade relativa (UR) de 10 e 20%, não há diferença significativa na

temperatura da pele, frequência cardíaca e ventilação pulmonar nas primeiras porções do exercício, mas nas porções finais, há aparente melhora na regulação da temperatura corporal. [Watson *et al.* \(2011\)](#) mostram que a taxa de transpiração de atletas praticando exercícios de longa duração em ambientes com umidade relativa (UR) de 60% e 80% é maior que em ambientes com UR de 24%. [Watson *et al.* \(2011\)](#) afirmam também que a fadiga em testes com alta UR é acompanhada de um crescimento acelerado da temperatura corporal. Com esses 2 estudos, podemos concluir que o desempenho na atividade pode baixar consideravelmente tanto em ambientes com baixa ou alta UR.

Quanto a temperatura, [Özgünen *et al.*](#) mostram um estudo realizado com jogadores de futebol, esporte que requer grandes esforços tanto aeróbicos quanto anaeróbicos, em que atletas podem correr em média 10km. Os atletas que jogaram em altas temperaturas ($36 \pm 0,1^\circ C$ e $61 \pm 1\%$ de UR) tiveram rendimento inferior na segunda metade da partida, devido ao alto estresse térmico.

Já sobre os efeitos da pressão, [Buss \(2009\)](#) mostra que o desempenho do atleta em baixa pressão atmosférica é afetado pela resistência do ar, pressão parcial de oxigênio e o processo de ajuste a diferença da pressão, que "afeta o transporte de oxigênio, o metabolismo e o balanço ácido-básico". Essas mudanças variam de acordo com a modalidade, distância e duração do exercício.

Muitas pessoas preferem se exercitar em lugares abertos, mas não conhecem os problemas que isso pode acarretar, principalmente por falta de informação ([dos Santos, 2016](#)). Com uma maior taxa de emissão de gases poluentes e materiais particulados, e conseqüentemente a intensificação do efeito estufa, pior será a atividade física ao ar livre e maior o dano à saúde.

Capítulo 3

Estudo Teórico

Esse capítulo mostra a metodologia e os principais resultados da publicação de (Tainio *et al.*, 2016), que servirá de base para o desenvolvimento do app. O conceito principal do artigo é comparar o benefício da atividade sendo executada (PAF_{PA}), e o malefício da poluição local PAF_{PM} , para assim decidir quanto tempo a pessoa poderá se exercitar de forma segura. Ele faz da seguinte forma: primeiramente, calcula o *Risco relativo (RR)* do exercício e do efeito material particulado no organismo, tendo uma medida quantitativa dos mesmos. Depois, verifica por quanto tempo o balanço fica positivo, ou seja, a longo prazo, compensa continuar o exercício. Esse limite é chamado de *Ponto de equilíbrio (BP)*. Outros diversos conceitos são necessários para entender os cálculos, e são descritos a seguir.

3.1 Metabolic Equivalent of Task (MET)

Metabolic Equivalent of Task é uma medida utilizada para estimar o esforço de um indivíduo durante uma atividade física. 1 MET equivale ao consumo de $3.5 \text{ ml } O_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, ou de forma simplificada, como o consumo de energia de um adulto sentado em repouso (Coelho-Ravagnani *et al.*, 2013). Por exemplo, uma atividade a 3 METs significa um gasto calórico 3 vezes maior que o consumido em repouso.

Para os cálculos, foram usados os valores de 4.0 e 6.8 METs para caminhada e ciclismo, respectivamente, segundo Ainsworth *et al.* (a), estudo realizado para catalogar valores padrões de METs, agrupando resultados de diversas pesquisas previamente publicadas. A descrição dada pelo site para o valor de 4.0 METs é "caminhada, para o trabalho ou aula (Taylor Code 015)" (Ainsworth *et al.* (c), tradução nossa) e para 6.8 METs, "ciclismo, de/para o trabalho, cadência auto-selecionada." (Ainsworth *et al.* (b), tradução nossa).

3.2 Resting Metabolic Rate (RMR)

O RMR reflete a energia gasta pelo usuário quando este está em um estado de repouso estático. Ele considera para o cálculo fatores como peso, altura, idade e sexo e de acordo com

Ainsworth *et al.* (a), o MET é usualmente subestimado, não levando em conta características individuais. Usando a equação de *Harris Benedict* (equações 3.1 e 3.2) e os valores padrões de MET dos exercícios, é possível personalizar os resultados.

$$\begin{aligned} \text{Homens} = & 66.4730 + 5.0033 \cdot (\text{Altura em cm}) + 13.7516 \cdot (\text{Peso em kg}) - \\ & 6.7550 \cdot (\text{Idade}) \end{aligned} \quad (3.1)$$

$$\begin{aligned} \text{Mulheres} = & 655.0955 + 1.8496 \cdot (\text{Altura em cm}) + 9.5634 \cdot (\text{Peso em kg}) - \\ & 4.6756 \cdot (\text{Idade}) \end{aligned} \quad (3.2)$$

3.3 Dose-Response Functions (DRF)

Dose-Response Relationship (DRR) é um termo usado majoritariamente em farmacologia/toxicologia, e mostra quantitativamente a ação de um agente químico em uma resposta biológica (Snyder, 1984).

Os efeitos da caminhada ou do ciclismo na saúde decrescem conforme a atividade se prolonga. A Dose-Response Function (DRF), geralmente representada por logs ou outras potências (0.75, 0.50, 0.375, 0.25) (Kelly *et al.*, 2014), é uma aproximação da taxa de decréscimo.

Foi considerado o valor de 0.5 para a DRF, pois segundo Tainio *et al.* (2016), é um valor ponderado entre uma DRF linear e uma DRF extremamente não-linear.

3.4 Background Particulate Matter Concentration (BPMC)

Dependendo da modalidade da atividade física, a exposição a poluentes pode aumentar. Aparicio *et al.* (2018) mostram que para um mesmo trajeto, um ciclista inala mais gases tóxicos que um motorista em transporte próprio ou que uma pessoa utilizando transporte público. Quanto mais intensa a atividade física, maior será o valor do BPMC.

Para ciclismo, a concentração é multiplicada por 2.0 e para caminhada, 1.1, segundo (Kahlmeier *et al.*, 2014), que consiste numa reunião de estudos feito pela World Health Organization - Europe (WHO).

3.5 Relative Risk (RR)

É a medida que descreve a probabilidade de determinado efeito ocorrer, comparando um grupo exposto a um agente ou tratamento e outro grupo de controle. Para calcular os efeitos nocivos a saúde, valores maiores que 1 significam que a exposição aumenta a chance de complicações, e valores menores que 1 mostram resultados benéficos (Irwig *et al.*, 2008).

Para $PM_{2.5}$ e PM_{10} , o RR é de 1.07 e 1.045, respectivamente. Para as atividades físicas, o RR de caminhada é 0.9 e de ciclismo, 0.87. Os RRs seguem os valores encontrados por [Organization \(2014\)](#), e são valores médios de estudos sobre o tema.

3.6 Background Contrast (BC)

Equivale ao valor médio de energia gasta por uma pessoa que mudou de uma vida sedentária para uma vida ativa, segundo as recomendações internacionais (órgãos como a WHO). Esse valor é de $11.25\text{MET} \cdot \text{hours/week}$.

3.7 Ventilation Rates (VR)

Dependendo da intensidade da atividade física, a quantidade de ar inalada muda. A taxa de ventilação mostra a quantidade média de respirações em um determinado espaço de tempo, usualmente minutos.

No cálculo, são usados os valores 0.27 para o período em que o usuário estaria dormindo, 0.61 para repouso, 1.37 para caminhada e 2.55 para ciclismo. Esses valores foram baseados em algoritmos descritos em [Jonhson \(2002\)](#).

3.8 Breakeven Point (BP)

O Breakeven Point (BP) é o limite de tempo (*minutos/dia*) máximo para que qualquer atividade física extra cause danos a saúde devido a poluição. Além dos valores acima citados, também é considerada a concentração de $PM_{2.5}$ e PM_{10} registrada no sensor, e uma estimativa da quantidade de poluentes inalada quando o usuário não está ativo.

Supõe-se que o tempo de sono é de 8 horas diárias, e o tempo em repouso é de 16 horas menos o tempo do exercício.

3.9 Cálculo do BP

Para converter o resultado obtido da equação 3.1 ou 3.2, temos:

$$\text{RMR}_{\text{ml}} = \frac{\text{RMR}_{\text{kcal}} \cdot 1000}{1440 \cdot 5 \cdot (\text{Peso em kg})} \quad (3.3)$$

E então:

$$\text{MET}_{\text{novo}} = \text{MET} \cdot \frac{3.5}{\text{RMR}_{\text{ml}}} \quad (3.4)$$

Com o valor do MET corrigido, queremos calcular o *Physical Activity Ratio (PAR)*, dado por:

$$PAR = PAF_{PA} \times PAF_{PM} \quad (3.5)$$

Onde PAF_{PA} e PAF_{PM} correspondem a *Physical Activity Factor (Physical Activity)* e *Physical Activity Factor (Particulate Matter)*, respectivamente.

Caso o PAR seja maior que 1, não é recomendado continuar se exercitando, pois os danos da poluição serão maiores que os benefícios do exercício.

Para calcular o PAF_{PA} , precisamos apenas estabelecer os efeitos que essa atividade provoca no organismo, usando o BC e os RRs de caminhada ou ciclismo. Assim:

$$RR_{BC} = (RR_{PA})^{BC^{-0.5}} \quad (3.6)$$

$$PAF_{PA} = (RR_{BC})^{(MET_{\text{Novo}} \cdot T_A)^{0.5}} \quad (3.7)$$

Com T_A sendo o tempo total da atividade. Como descrito em Kelly *et al.* (2014), os efeitos desse exercício não permanecem constantes, mas decaem de forma não linear com o tempo.

Já o PAF_{PM} deve ser calculado levando em consideração a *concentração de material particulado [PM]* e quanta poluição extra foi inalada pela prática da atividade (PMI), relacionando o consumo de ar diário ao fazer exercícios com o consumo caso nenhuma atividade fosse feita.

A equação 3.8 mostra a poluição respirada caso o usuário não realizasse nenhum esforço (inativo). Como dito anteriormente, supõe-se 8 horas de sono e o restante em repouso.

$$PMI_{INAC} = [PM] \cdot (VR_S \cdot T_S + VR_R \cdot T_R) \quad (3.8)$$

Em que VR_S e VR_R são os valores da *Taxa de respiração (Ventilation Rating)* enquanto dormindo e em repouso, respectivamente, T_S é o tempo em que o usuário estava dormindo e T_R o tempo em repouso.

Já a equação 3.9 calcula o consumo ao realizar determinada PA. Dependendo do tipo, temos um *Background Particulate Matter Concentration (BPMC)* e um VR_{PA} diferente.

$$PMI_{ACT} = [PM] \cdot (VR_S \cdot T_S + VR_R \cdot (T_R - T_A) + BPMC \cdot T_A) \cdot VR_{PA} \quad (3.9)$$

Com os dois valores, conseguimos achar a proporção da forma:

$$PMI = [PM] \cdot \left(\frac{PMI_{ACT}}{PMI_{INAC}} - 1 \right) \quad (3.10)$$

Para então, pela equação 3.11, chegar no fator relacionado ao material particulado:

$$\text{PAF}_{\text{PM}} = \exp \left(\log \text{RR}_{\text{PM}} \cdot \frac{\text{PMI}}{10} \right) \quad (3.11)$$

Assim, conseguimos calcular a equação 3.5 e verificar se é seguro realizar uma PA durante certo período de tempo.

Em resumo, para verificar o *BP*, achamos quanto tempo T_A a pessoa pode passar se exercitando até que *PAR* fique maior que 1. Quanto maior a concentração de poluente ([PM]) ou mais intenso for o exercício, mais rapidamente o valor de *PAR* atingirá seu ponto crítico.

Capítulo 4

Aplicativo

4.1 Ambiente de Desenvolvimento

Para o desenvolvimento do Lungy, foi escolhido usar o ambiente Android Studio, feito pela Google, especializado na criação de aplicativos Android. A escolha se deu principalmente pelo suporte a compilações em Gradle¹ e pelo editor de layout simples e eficiente². A linguagem usada foi Java, pois existem várias bibliotecas acessíveis e bem desenvolvidas, e grande comunidade ativa para sanar possíveis dúvidas no desenvolvimento.

4.2 Visão Geral

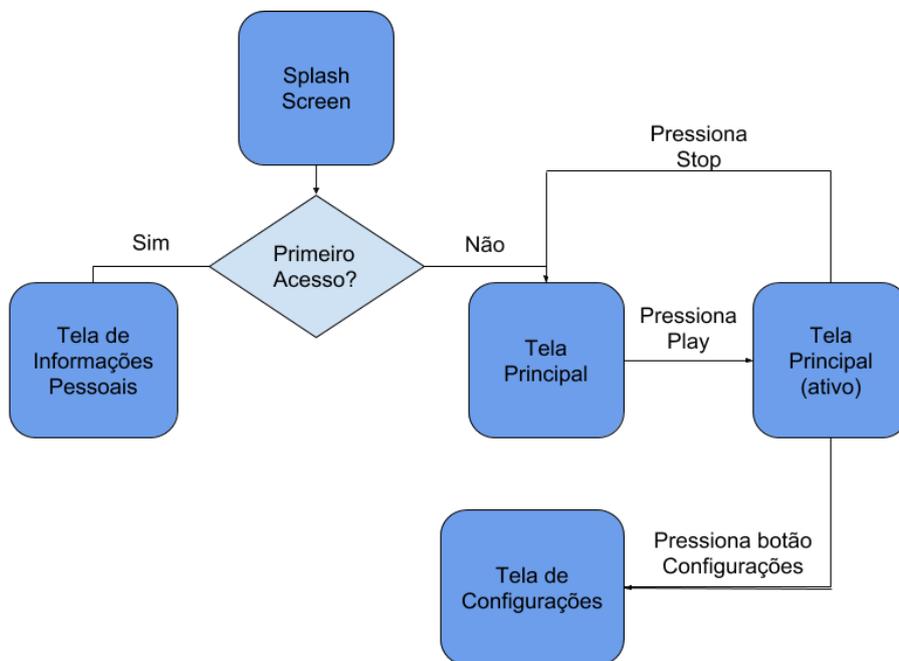


Figura 4.1: Fluxo das telas do aplicativo

¹<https://gradle.org/> Acesso em [05/11/2018]

²<https://developer.android.com/studio/write/layout-editor?hl=pt-br> Acesso em [05/11/2018]

O fluxo de telas segue o modelo mostrado na figura 4.1. Cada tela terá sua funcionalidade detalhada a seguir.

4.2.1 Splash Screen (tela de abertura)

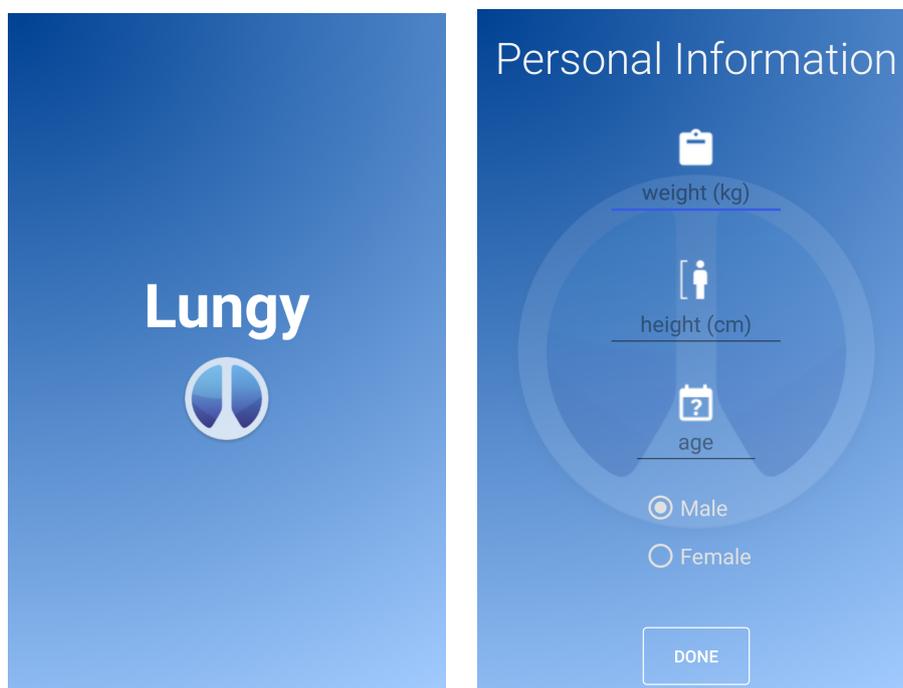
O aplicativo tem uma Splash Screen básica, que consiste no logotipo e nome do app, com fundo em azul.

4.2.2 Tela de informações pessoais

Ao passar da primeira tela, caso seja o primeiro uso do app, será exibida uma tela em que deverá ser informado alguns dados que serão usados para personalizar os resultados das medições: *Altura, peso, idade e sexo*. Esses dados serão usados para calcular a fórmula 3.1.

4.2.3 Tela principal

Se o usuário já preencheu os dados anteriormente, ele será levado a tela principal. Nela estão todos os recursos necessários para que a atividade seja monitorada. Cada parte que compõe essa tela será explicada posteriormente.



(a) *Splash Screen*

(b) *Informações Pessoais*

(a) *Tela principal*(b) *Tela principal (ativo)*

4.3 Obtenção dos dados

A obtenção dos dados é feita através da API JSON desenvolvida pelo *World Air Quality Index project*³. Essa API tem a opção de receber uma latitude e uma longitude, e com elas procurar o sensor mais próximo do local. Para ter acesso a essas informações, deve-se informar um código, chamado de *Token*⁴, permitindo até 1000 solicitações por minuto.



Figura 4.4: Parte dos sensores presentes em todo o mundo

³<http://aqicn.org/json-api/doc/>

⁴<http://aqicn.org/data-platform/token/#/>

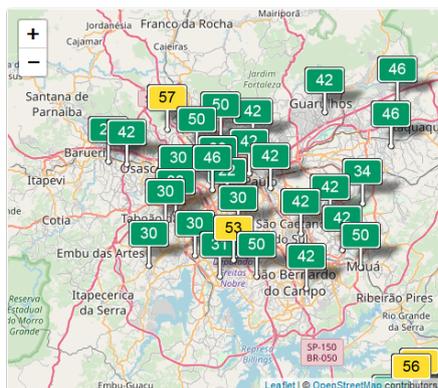


Figura 4.5: Sensores presentes na região da capital de São Paulo

É possível fazer tipos de requisições como:

- Descobrir o AQI de uma estação
- Descobrir a estação mais próxima de sua localização, baseado no seu endereço de IP⁵
- Encontrar a estação mais próxima dada uma latitude e longitude
- Selecionar todas as estações dentro de uma área, delimitada por dois pares latitude/longitude
- Procurar estações pelo nome

O aplicativo então deve solicitar os dados, recebê-los e apresentar para o usuário de forma simples e direta.

```

HTTP/1.1 200 OK
{
  "status": "ok",
  "data": {
    "ids": 7397,
    "aqi": 71,
    "time": {
      "v": 1481396400,
      "s": "2016-12-16 19:00:00",
      "tz": "-06:00"
    },
    "city": {
      "name": "Chi_sp, Illinois",
      "url": "https://aqicn.org/city/usa/illinois/chi_sp/",
      "geo": [41.913600, -87.723900]
    },
    "iaqi": {
      "pm25": {
        "v": 71
      }
    }
  }
}

```

Figura 4.6: Exemplo do JSON recebido da API

4.4 Dados da estação/sensor

Como mostra a imagem 4.6, é possível acessar diversos tipos de informação dependendo do sensor, isso pois seus recursos podem ser limitados. Dentre os possíveis dados, temos:

⁵https://pt.wikipedia.org/wiki/Endere%C3%A7o_IP

1. Poluentes

- $PM_{2.5}$, PM_{10}
- Ozônio (O_3), Dióxido de Nitrogênio(NO_2), Dióxido de Enxofre (SO_2), Monóxido de Carbono (CO)

2. Condições climáticas

- Temperatura ($^{\circ}C$), Velocidade e direção do vento (m/s), Umidade relativa do ar, Pressão atmosférica (hPa)

3. Outros dados

- Nome, cidade e país do sensor
- Valor do AQI
- Poluente dominante
- Hora da última atualização

Eles são mostrados na figura 4.7, com cada região numerada.

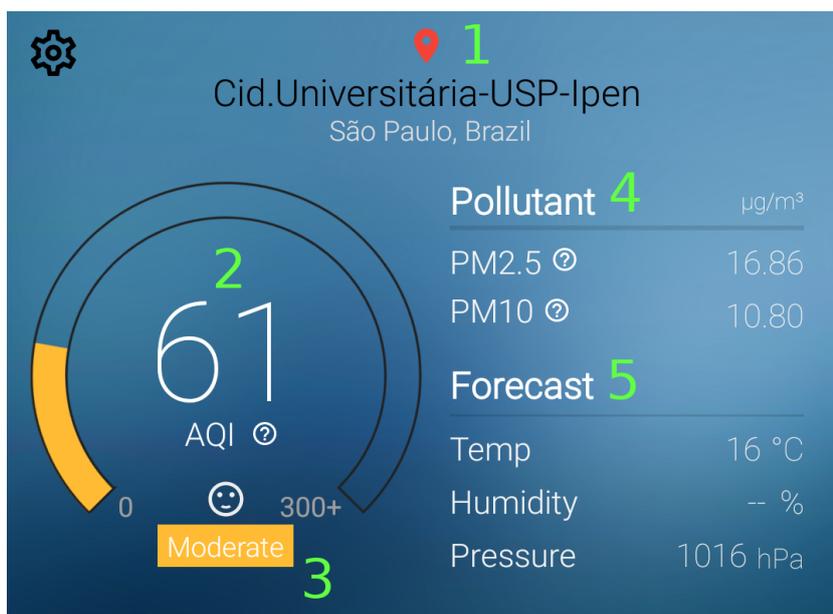


Figura 4.7: Região da tela principal responsável por mostrar os dados recebidos pelo sensor.

1 - Nome, cidade e país do sensor: Na parte superior da tela, é apresentado em preto o nome da estação, e em cinza o estado e país. Caso o aplicativo ainda esteja procurando o sensor mais próximo, o texto será "*Searching...*".

2 - Valor do AQI: Em 2 fica o valor do AQI da última atualização. O botão ⓘ abre uma mensagem explicando o que é AQI, segundo a Environmental Protection Agency (EPA)⁶.

⁶<https://www.usa.gov/federal-agencies/environmental-protection-agency>

- 3 - Significado do AQI** Dependendo do valor do AQI, uma mensagem é mostrada e a barra de progresso logo acima do AQI recebe uma cor e valor, seguindo as descrições da figura 2.1. Um emote (☹, por exemplo) mostra de forma informal o significado desse valor, e caso ultrapasse 100, aparece o ícone ▲, dando maior destaque. Ao clicá-lo, o usuário é informado sobre os riscos de se expor a poluição no momento.
- 4 - Concentração dos poluentes** Apesar de dispor de vários outros valores de poluentes, o app considera apenas $PM_{2.5}$ e PM_{10} , pois são os mais danosos à saúde. Futuramente poderá ser integrado O_3 , por exemplo. Caso o sensor não possua o valor de $PM_{2.5}$ ou PM_{10} , será mostrado – no lugar. O botão ☹ mostra as informações sobre os materiais particulados.
- 5 - Condições climáticas** São mostrados os dados das condições climáticas no local do sensor, com a temperatura em graus Celsius e pressão em hPa. Assim como nos poluentes, caso o sensor não possua algum valor, será mostrado – no lugar.

4.5 Dados do exercício

Logo abaixo dos dados da estação, é escolhido o exercício. Atualmente há apenas duas opções disponíveis: ciclismo e caminhada, mas futuramente outros tipos poderão ser adicionados. O tempo máximo recomendado aparece logo abaixo do ícone da atividade, e caso ultrapasse 24 horas, no lugar aparecerá *Your Body*. Para iniciar a contagem, basta pressionar o botão *Play*.



Figura 4.8: Opções de exercícios disponíveis no app

Iniciado o exercício, aparecerá a tela como mostra a figura 4.9. As informações disponíveis estão numeradas:

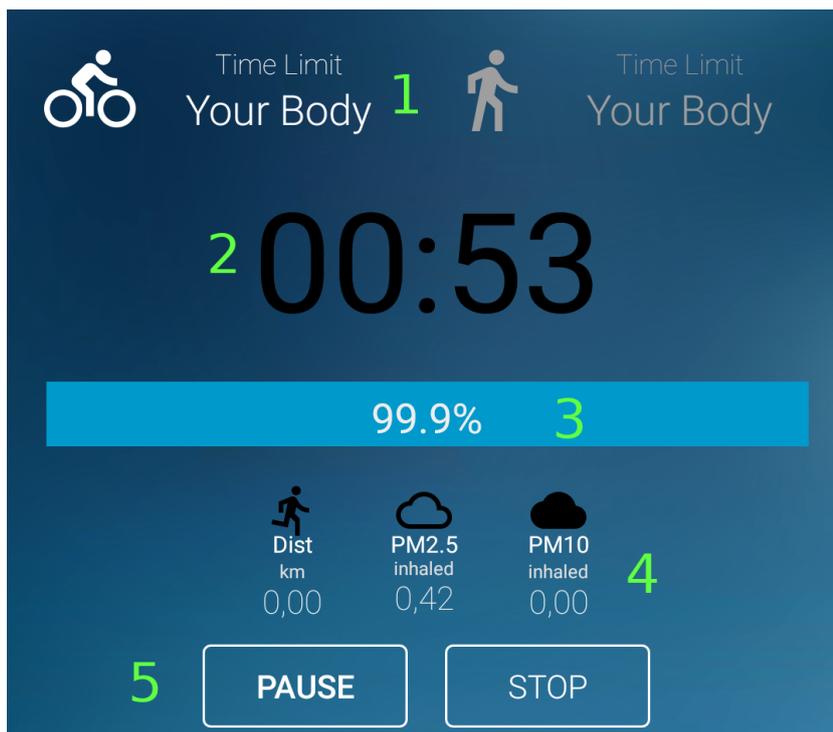


Figura 4.9: Informações relativas a atividade que está sendo realizada

- 1 - **Tipo de atividade e tempo recomendado:** Assim como na figura 4.8, em 1 é mostrado o tipo de atividade e o tempo recomendado. O usuário pode trocar de exercício a qualquer momento, e o tempo restante é atualizado.
- 2 - **Cronômetro:** Para auxiliar o usuário, há um cronômetro que mostra quanto tempo ele está ativo. Caso o tempo se esgote, sua cor muda para vermelho.
- 3 - **Barra de progresso:** Mostra em porcentagem quanto tempo o usuário ainda pode se exercitar.
- 4 - **Distância e Material particulado inalado:** Da esquerda para a direita, temos: Distância percorrida (em KMs), quantidade de $PM_{2.5}$ e quantidade de PM_{10} inalados.
- 5 - **Botões de pausa e fim da atividade:** Ao clicar em *Pause*, o cronômetro para, podendo ser retomado clicando em *Resume*. Ao clicar em *Stop*, a atividade se encerra, e os dados são guardados. Futuramente será configurado um histórico dos exercícios do usuário.

Abaixo do cronômetro, podem aparecer 3 ícones, como mostra a figura 4.10.



Figura 4.10: Ícones especiais, mostrando alertas sobre a qualidade do ar e sobre condições climáticas

Eles indicam, da esquerda para a direita: A combinação temperatura/umidade pode prejudicar a atividade física, o nível de poluentes está perigosamente alto, e faltam apenas 20 minutos para o tempo se esgotar.

4.6 Dados pessoais / Histórico

Para o cálculo das equações 3.1 e 3.2, o usuário inseriu seus dados na tela de informações (figura 4.3b). Eles poderá mudar a qualquer hora clicando no ícone , e então será mandando a tela mostrada na figura 4.11. Também foi configurado um histórico, com as informações do sensor e do exercício. Futuramente, poderá ser adicionada uma tela com esses dados, para assim melhorar o aplicativo.

Height	183
Weight	90
Age	23
Sex	Male

Figura 4.11: *Informações pessoais usadas para o cálculo do esforço no exercício*

4.7 Código-fonte

O código-fonte pode ser acessado [aqui](#). No repositório temos uma pasta contendo todo código do aplicativo, um arquivo *README.md* com o resumo da motivação do desenvolvimento do app e um arquivo *.apk*, que é usado para instalar o aplicativo diretamente no celular.

Capítulo 5

Aplicativo Desejado

O desenvolvimento feito nesse trabalho de conclusão de curso cobre as funções mais centrais do aplicativo: recomendar quanto tempo o usuário pode praticar uma atividade física, levando em conta os níveis de poluição. Porém, podemos estender suas funcionalidades de diversas formas, uma delas sendo a coleta de feedbacks dados pelos usuários para sugerir lugares para prática de exercícios. Um bom exemplo é a leitura de valores de gases poluentes no Campus da USP de São Paulo, bastante frequentado por corredores e ciclistas, e que apesar de ser bem arborizado e aberto, é um dos mais poluídos do estado¹. Esse feedback pode levar em conta outros fatores como odor e poluição sonora, que também afetam o exercício.

Os valores de $PM_{2.5}$ e PM_{10} registrados são aproximações, sendo considerada apenas a leitura do sensor mais próximo do usuário. Para termos uma medida mais fiel, seria necessária a leitura dos valores reais, lidos por sensores individuais. Algumas exemplos de iniciativas usam tecnologias de hardware livre²³. Assim, podemos registrar os valores do sensor escolhido pelo app e aproximá-los dos valores reais.

Os dados coletados devem ser armazenados e tratados, sendo necessário criar um servidor e um banco de dados para isso. Com a possibilidade de gerar relatórios diários e mensais dos gases inalados, histórico das atividades, lugares mais frequentados e tipos de exercícios realizados, o aplicativo pode se tornar uma boa ferramenta para controlar a qualidade da corrida ou do ciclismo, sendo possível inserir outros diversos tipos e níveis de intensidade de exercícios.

Com a criação de novas tecnologias, principalmente as vestíveis (Smartwatches, cintas cardíacas etc), temos uma forma de calcular com maior precisão o esforço que está sendo realizado. Apesar dos cálculos levarem em conta o peso, altura, idade e sexo do usuário, o preparo físico varia de pessoa para pessoa, e com a taxa de batimentos por minuto (bpm), é possível chegar a melhores resultados.

A poluição faz parte do dia a dia das pessoas, e nem sempre damos tanta importância

¹Informações retiradas do artigo publicado por [Donasci \(2014\)](#) na Folha de São Paulo

²Informações do artigo de [Santana \(2015\)](#), retirado da web.

³Referência retirada de [Argôlo et al. \(2017\)](#)

a esse tema. Com a elaboração do aplicativo e uma possível continuação no seu desenvolvimento, podemos aumentar a qualidade da atividade física e diminuir os danos da poluição a saúde.

Capítulo 6

Conclusões

O aplicativo Android desenvolvido é uma ferramenta simples e acessível para a maioria dos praticantes de exercícios físicos, e tem o intuito de manter o usuário informado sobre as condições da qualidade do ar na sua região. Espera-se que as pessoas se conscientizem sobre os danos que a poluição pode causar na saúde e tomem mais cuidado com a escolha do local da atividade física. Por se tratar de um tema recorrente em grandes cidades e que tende a crescer, mais iniciativas como o *Lungy* devem aparecer.

Essa é apenas a primeira versão do app. É possível desenvolvê-lo ainda mais, como incluir outras modalidades de atividades físicas, integrar com outras tecnologias, colher feedbacks de usuários para assim sugerir lugares mais agradáveis para a prática de exercícios ao ar livre, dentre outras diversas funcionalidades, mas o principal objetivo, que era criar uma forma de aplicar os cálculos de [Tainio et al. \(2016\)](#) em um aplicativo, foi cumprido.

Referências Bibliográficas

Ainsworth et al.(a) BE Ainsworth, WL Haskell, SD Herrmann, N Meckes, DR Bassett Jr, C Tudor-Locke, JL Greer, J Vezina, MC Whitt-Glover e AS Leon. The compendium of physical activities tracking guide. <https://sites.google.com/site/compendiumofphysicalactivities/>, a. Healthy Lifestyles Research Center, College of Nursing & Health Innovation, Arizona State University. Retrieved [06/09/2018] from the World Wide Web. Citado na pág. 9, 10

Ainsworth et al.(b) BE Ainsworth, WL Haskell, SD Herrmann, N Meckes, DR Bassett Jr, C Tudor-Locke, JL Greer, J Vezina, MC Whitt-Glover e AS Leon. The compendium of physical activities tracking guide. <https://sites.google.com/site/compendiumofphysicalactivities/Activity-Categories/bicycling>, b. Healthy Lifestyles Research Center, College of Nursing & Health Innovation, Arizona State University. Retrieved [06/09/2018] from the World Wide Web. Citado na pág. 9

Ainsworth et al.(c) BE Ainsworth, WL Haskell, SD Herrmann, N Meckes, DR Bassett Jr, C Tudor-Locke, JL Greer, J Vezina, MC Whitt-Glover e AS Leon. The compendium of physical activities tracking guide. <https://sites.google.com/site/compendiumofphysicalactivities/Activity-Categories/walking>, c. Healthy Lifestyles Research Center, College of Nursing & Health Innovation, Arizona State University. Retrieved [06/09/2018] from the World Wide Web. Citado na pág. 9

AirNow(2018) AirNow. Aqi basics, 2018. URL <https://airnow.gov/aqi/aqi-basics>. [Online; acesso em 18/08/2018]. Citado na pág. 3

Apparicio et al.(2018) Philippe Apparicio, Jérémy Gelb, Mathieu Carrier, Marie Ève Mathieu e Simon Kingham. Exposure to noise and air pollution by mode of transportation during rush hours in montreal. *Journal of Transport Geography*, 70:182 – 192. ISSN 0966-6923. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2018.06.007>. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0966692317308451>. Citado na pág. 10

Argôlo et al.(2017) E. Argôlo, G. da Silva, M. Possamai, N. Pereira, R. Dias, V. Silva e Y. Romano. Estudo de qualidade do ar por plataformas de monitoramento de dióxido de carbono, metano, dióxido de enxofre e monóxido de carbono assistidos de parâmetros meteorológicos: utilizando estação meteorológica datalogger e sensores arduino. Citado na pág. 23

Buss(2009) Caroline Buss. Influência da altitude no desempenho dos atletas: a importância da nutrição, 2009. URL <https://universidadedofutebol.com.br/influencia-da-altitude-no-desempenho-dos-atletas-a-importancia-da-nutricao/>. [Online; acesso em 28/08/2018]. Citado na pág. 8

- CETESB(2010)** CETESB. Monóxido de carbono, 2010. URL <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2013/11/Monoxido-de-carbono.pdf>. Citado na pág. 7
- CETESB(2012)** CETESB. Dióxido de enxofre, 2012. URL <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2013/11/Dioxido-de-enxofre.pdf>. Citado na pág. 7
- Coelho-Ravagnani et al.(2013)** Cristianne Coelho-Ravagnani, Flávia Melo, Fabrício Ravagnani, Franz Burini e Roberto Burini. Estimation of the metabolic equivalent (met) of an exercise protocol based on indirect calorimetry. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 19(2):134–138. Citado na pág. 9
- Donasci(2014)** F. Donasci. Campus da usp é área mais poluída de sp pelo segundo ano consecutivo, 2014. URL <https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2016/05/1773232-campus-da-usp-e-area-mais-poluida-de-sp-pelo-segundo-ano-consecutivo.shtml>. Citado na pág. 23
- dos Santos(2016)** Bernadete Mendes dos Santos. *POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E EXERCÍCIO FÍSICO: AÇÕES DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL PELOS PROFISSIONAIS DE EDUCAÇÃO FÍSICA*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Maria. Citado na pág. 8
- Environmental Protection Agency(2014)** Environmental Protection Agency. Air quality index - a guide to air quality and your health, 2014. URL https://www3.epa.gov/airnow/aqi_brochure_02_14.pdf. Citado na pág. 5, 6
- Environmental Protection Agency(2012)** Environmental Protection Agency. Air quality index (aqi), 2012. URL <https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-05/documents/zell-aqi.pdf>. Citado na pág. 4
- Ferreira(2016)** Victor Hugo Cavalcanti Ferreira. Identificação das fontes de material particulado atmosférico fino e grosso no distrito federal empregando marcadores iônicos solúveis em água, 2016. Citado na pág. 5
- Godish(2005)** T. Godish. *Air Quality*. Lewis, Boca Raton, 4 edição. Citado na pág. 5
- Irwig et al.(2008)** Les Irwig, Judy Irwig, Lyndal Trevena e Melissa Sweet. *Smart Health Choices: Making Sense of Health Advice*. Hammersmith Press. Cartoons by Ron Tandberg. Citado na pág. 10
- Jonhson(2002)** Ted Jonhson. A guide to selected algorithms, distributions, and databases used in exposure models developed by the office of air quality planning and standards, 2002. Citado na pág. 11
- Kahlmeier et al.(2014)** S Kahlmeier, C Schweizer, D Rojas-Rueda, M Nieuwenhuijsen, A Nazelle e Bode O Bonn. Development of the health economic assessment tools (heat) for waling and cycling. *Meeting Background Document*. Citado na pág. 10
- Kelly et al.(2014)** Paul Kelly, Sonja Kahlmeier, Thomas Götschi, Nicola Orsini, Justin Richards, Nia Roberts, Peter Scarborough e Charlie Foster. Systematic review and meta-analysis of reduction in all-cause mortality from walking and cycling and shape of dose response relationship. *Int J Behav Nutr Phys Act*, 11(1):132. Citado na pág. 10, 12

- Lelieveld et al.(2015)** J. Lelieveld, J. S. Evans, M. Fnais, D. Giannadaki e A. Pozzer. The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. *Nature* 525, páginas 367–371. Citado na pág. 1
- Meljavic et al.(2017)** Igor Meljavic, Ursa Ciuha, Mikael Grönkvist e Ola Eiken. The effect of low ambient relative humidity on physical performance and perceptual responses during load carriage. *Frontiers in Physiology*, 8:451. Citado na pág. 7
- Organization(2014)** World Health Organization. Who expert meeting: Methods and tools for assessing the health risks of air pollution at local, national and international level, 2014. Citado na pág. 11
- PCPV(2011)** PCPV. Plano de controle da poluição por veículos em uso – pcpv, 2011. URL <http://www.semace.ce.gov.br/wp-content/uploads/2011/08/GOVERNO-DO-ESTADO-DO-CEAR%C3%81-PCPV-01.pdf>. Citado na pág. 6, 7
- Santana(2015)** A. Santana. Sensor feito com tecnologia livre pretende medir poluição do ar em regiões críticas, 2015. URL <http://www.ebc.com.br/tecnologia/2015/07/sensor-feito-com-tecnologia-livre-pretende-medir-poluicao-do-ar-em-regioes>. Citado na pág. 23
- Snyder(1984)** Robert Snyder. Basic concepts of the dose-response relationship. *Assessment and Management of Chemical Risks*, 239:37–55. Citado na pág. 10
- Tainio et al.(2016)** Marko Tainio, Audrey J. de Nazelle, Thomas Götschi, Sonja Kahlmeier, David Rojas-Rueda, Mark J. Nieuwenhuijsen, Thiago Hérick de Sá, Paul Kelly e James Woodcock. Can air pollution negate the health benefits of cycling and walking? *Preventive Medicine*, 87:233–236. doi: 10.1016/j.ypmed.2016.02.002. Citado na pág. 2, 9, 10, 25
- The Guardian(2016)** The Guardian. Air pollution rising at an 'alarming rate' in world's cities, 2016. URL <https://www.theguardian.com/environment/2016/may/12/air-pollution-rising-at-an-alarming-rate-in-worlds-cities>. Citado na pág. 1
- Watson et al.(2011)** P Watson, H Otani e R J Maughan. Influence of relative humidity on prolonged exercise capacity in a warm environment. *British Journal of Sports Medicine*, 45(15):A3–A4. ISSN 0306-3674. doi: 10.1136/bjsports-2011-090606.10. URL <https://bjsm.bmj.com/content/45/15/A3.3>. Citado na pág. 8
- Wikipedia(2018a)** Wikipedia. Air quality index — Wikipedia, the free encyclopedia, 2018a. URL https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Air_quality_index&oldid=862888318. [Online; acesso em 18/08/2018]. Citado na pág. 4
- Wikipedia(2018b)** Wikipedia. Trato respiratório superior — Wikipedia, a enciclopédia livre, 2018b. URL https://pt.wikipedia.org/wiki/Trato_respirat%C3%B3rio_superior. [Online; acesso em 18/08/2018]. Citado na pág. 5
- Özgülünen et al.()** K. T. Özgülünen, S. S. Kurdak, R. J. Maughan, Ç. Zeren, S. Korkmaz, Z. Yazici, G. Ersöz, S. M. Shirreffs, M. S. Binnet e J. Dvorak. Effect of hot environmental conditions on physical activity patterns and temperature response of football players. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20(s3):140–147. doi: 10.1111/j.1600-0838.2010.01219.x. URL <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1600-0838.2010.01219.x>. Citado na pág. 8