

Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Engenharia Elétrica e Informática
Coordenação de Pós-Graduação em Ciência da Computação

Recomendação de Cardápios Saudáveis e
Otimizados Conforme Disponibilidade de Alimentos

Jefferson Emanuel Caldeira da Silva

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em
Ciência da Computação da Universidade Federal de Campina Grande -
Campus I como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau
de Mestre em Ciência da Computação.

Área de Concentração: Ciência da Computação

Linha de Pesquisa: Sistema de Recomendação

Leandro Balby Marinho

(Orientador)

Campina Grande, Paraíba, Brasil

©Jefferson Emanuel Caldeira da Silva, 29 de Março de 2019

S586r

Silva, Jefferson Emanuel Caldeira da.

Recomendação de cardápios saudáveis e otimizados conforme disponibilidade de alimentos / Jefferson Emanuel Caldeira da Silva. – Campina Grande, 2019.

80 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Engenharia Elétrica e Informática, 2019.

"Orientação: Prof. Dr. Leandro Balby Marinho".

Referências.

1. Computação. 2. Nutrição e Dietética. 3. Sistemas de Recomendação. 4. Otimização Multiobjetivo. 5. Recomendação de Nutrientes I. Marinho, Leandro Balby. II. Título.

CDU 004:613.2(043)

**"RECOMENDAÇÃO DE CARDÁPIOS SAUDÁVEIS E OTIMIZADOS CONFORME
DISPONIBILIDADE DE ALIMENTOS"**

JEFFERSON EMANUEL CALDEIRA DA SILVA

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 28/02/2019

LEANDRO BALBY MARINHO, Dr., UFCG
Orientador(a)

JOÃO ARTHUR BRUNET MONTEIRO, Dr., UFCG
Examinador(a)

LUCIANO REIS COUTINHO, Dr., UFMA
Examinador(a)

CAMPINA GRANDE - PB

Resumo

Atualmente, é de comum conhecimento que hábitos alimentares inadequados influenciam para má qualidade de vida e estão constantemente associados à aquisição de doenças crônicas, tais como hipertensão e diabetes tipo II. Sendo assim, os consumidores estão cientes de que a boa alimentação é fundamental para a manutenção da saúde e estão cada vez mais preocupados com dietas e hábitos alimentares saudáveis.

Porém, para usufruir diariamente de refeições saudáveis é necessário o planejamento de cardápios, o que exige tempo disponível e conhecimento dos padrões nutricionais e de práticas dietéticas adequadas. Além disso, é necessário que haja disponibilidade de alimentos para possibilitar a elaboração do cardápio planejado, ou seja, os ingredientes disponíveis na despensa do usuário devem fazer uma boa cobertura do cardápio. Ainda assim, sabemos que os alimentos também causam sensações como felicidade, conforto e bem-estar. Desta forma, é importante que além de saudável e praticável o cardápio proporcione uma refeição agradável ao paladar do consumidor, que exista harmonia entre os ingredientes utilizados para compor o cardápio.

Em virtude dos fatos mencionados, neste trabalho, propõe-se um novo modelo de recomendação multiobjetivo de cardápios que apresenta um ótimo equilíbrio entre aspectos nutricionais, harmônicos e cobertura dos ingredientes disponíveis na despensa. As funções objetivas consideradas foram projetadas para cada uma das propriedades.

Os experimentos foram realizados em conjuntos de dados reais e sintéticos, e mostram que essa abordagem alcança um equilíbrio ideal entre o nível necessário de nutrientes, harmonização e cobertura dos ingredientes.

Abstract

It is widely known that poor eating habits are related to poor quality of life, and are constantly associated with the acquisition of chronic diseases such as hypertension and type II diabetes. Therefore, consumers are aware that good nutrition is essential for maintaining health and are increasingly attentive to diets and healthy eating habits.

However, to enjoy healthy meals on a daily basis requires planning of menus, which requires time and knowledge of nutritional standards and appropriate dietary practices. In addition, it is necessary to have available ingredients to enable the preparation of the planned menu, i.e. the ingredients available in the user's pantry should make a good coverage of the menu. Also, we know that food causes feelings like happiness, comfort, and well-being. In this way, it is important that, besides being healthy and practicable, the menu provides a pleasant meal to the consumer's taste, and that the ingredients are harmoniously used to compose the menu.

Due to the mentioned facts, in this work, we propose a new model of multiobjective menu recommendation that presents meals intended to balance between nutritional aspects, harmonics, and use of the ingredients available in the pantry. The considered objective functions were designed for each of the properties.

The experiments were performed on real and synthetic data sets, and show that this approach achieves an optimal balance between the required level of nutrients, the harmonization and the coverage of the ingredients.

Agradecimentos

Primeiramente a Deus, por guiar sempre minha vida, estando presente em todos os momentos. Por sempre me dar muito mais do que preciso, e abençoar-me além do que mereço.

A minha família, pelo conforto e segurança de uma família sem igual. Pelo apoio e amor expressados constantemente durante todo esse tempo. Em especial a meu pai, Marcos Antônio, e minha mãe, Jocineide Caldeira, pelo esforço que fizeram para que eu pudesse chegar até aqui.

A minha noiva, Taísa Melo, pela compreensão, apoio e paciência, em todos os momentos me encorajando e torcendo por mim.

Ao meu orientador, Professor Dr. Leandro Balby, o qual admiro e respeito. Obrigado por toda disponibilidade, dedicação, ensinamentos, conselhos e incentivos. Pelo apoio e paciência que teve e tem comigo, sei que é preciso ter muita.

Aos meus meus amigos e companheiros de laboratório, Allan Sales, Caio Santos, Ítalo Oliveira e Ricardo Oliveira, que sempre demonstraram amizade, incentivo, otimismo e total disponibilidade para me ajudar sempre que preciso. Em especial a Ricardo Oliveira pelo constante apoio, incentivo e ajuda durante o mestrado.

Agradeço aos membros da banca examinadora, Prof. Dr. João Arthur e Prof. Dr. Luciano Coutinho, pela disponibilidade de participar e pelas contribuições pessoais acerca do meu trabalho de dissertação.

Aos professores e funcionários da COPIN.

Ao CNPq pelo apoio e suporte financeiro fornecidos para meus estudos.

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Problema	2
1.2	Objetivo	5
1.3	Contribuições	5
1.4	Organização dos Capítulos	6
2	Fundamentação Teórica	7
2.1	Otimização Combinatória	7
2.1.1	Algoritmos de Otimização	8
2.1.2	Algoritmo Genético	12
2.1.3	Dominância	17
2.1.4	NSGA-II	19
2.2	Qualidade de Refeições	20
3	Modelagem do Problema	23
3.1	Caso de uso	23
3.2	Formalização	31
3.2.1	Conceitos relacionados a cardápio	31
3.2.2	Configurações dos operadores do NSGA-II	32
3.2.3	Funções Objetivo Consideradas	33
3.2.4	Definição do Problema	38
4	Trabalhos Relacionados	39
4.1	Caracterização de Preferências Culinárias	39
4.2	Otimização e Planejamento de Cardápios	41

4.3	Análise de Qualidade do Cardápio	43
4.4	Considerações Finais	44
5	Coleta, Análise e Preparação dos Dados	49
5.1	Receitas	49
5.1.1	Coleta, pré-processamento e análise dos Dados	49
5.2	Identificação dos Ingredientes e das Medidas Utilizadas	51
5.2.1	Coleta, pré-processamento e análise dos Dados	51
5.3	Informações Nutricionais das Receitas	58
5.3.1	Coleta, pré-processamento e análise dos Dados	58
5.4	Cestas de Compras	60
5.4.1	Coleta, pré-processamento e análise dos Dados	60
6	Modelo de Otimização	64
6.1	Representação da solução	64
6.1.1	Experimentos	65
6.1.2	Cobertura dos Ingredientes	67
6.1.3	Qualidade Nutricional	68
6.1.4	Harmonia	69
6.2	Considerações Finais	71
7	Conclusões e Trabalhos Futuros	72

Lista de Símbolos

AG - Algoritmo Genético

ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária

MOEA - Algoritmo Multi-objetivo Evolutivo

NSGA-II - *Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II*

OMS - Organização Mundial da Saúde

PAT - Programa de Alimentação do Trabalhador

TMB - Taxa Metabólica Basal

USP - Universidade de São Paulo

VET - Valor Energético Total

Lista de Figuras

1.1	Percentual de paulistanos com doenças crônicas do ano de 2013 à 2015.	3
2.1	Classificação das técnicas de otimização numérica, [Gandomi et al., 2013].	8
2.2	Função objetivo unimodal.	10
2.3	Função objetivo multimodal.	10
2.4	Representação apresentada por [Rao and Rao, 2009] de uma região factível hipotética.	11
2.5	Fluxograma básico de um Algoritmo Genético.	14
2.6	Representação de um indivíduo com lista de números inteiros.	14
2.7	Representação das receitas que compõem o indivíduo representado na Figura 2.6	15
2.8	Representação da população.	15
2.9	Representação de cruzamento com dois pontos.	16
2.10	Representação de Mutação.	17
2.11	Fronteira de Pareto.	18
2.12	Crowding Distance.	20
5.1	Página inicial do site de receitas culinárias Tudo Gostoso.	50
5.2	Quantidade de receitas por categoria.	51
5.3	Disposição dos ingredientes no site Tudo Gostoso.	52
5.4	Conversor de medida disponível pelo site Tudo Gostoso.	54
5.5	Nuvem de palavras com os ingredientes mais comuns entre receitas.	56
5.6	Nuvem de palavras com os ingredientes menos comuns entre receitas.	56
5.7	Frequência de ingredientes utilizados por categoria.	57
5.8	Informações nutricionais apresentada no site Tabela de Alimentos.	59

5.9	Boxplot com distribuição nutricional por alimento.	59
5.10	Alimentos que apresentam maior quantidade de macronutrientes.	60
5.11	Histograma com os ingredientes nas cestas de compras.	61
5.12	Presença de alimentos nas cestas de compras.	62
5.13	Quantidade de alimentos adquirida nas cestas de compras.	63
6.1	Representação da metodologia utilizada.	65
6.2	Avaliação da cobertura.	67
6.3	Avaliação da qualidade nutricional.	68
6.4	Distribuição da quantidade de proteína nas receitas que compõem a base de dados.	69
6.5	Representação Simplificada do Modelo Proposto	70

Lista de Tabelas

2.1	Os parâmetros nutricionais para a alimentação a ser calculado com base nos valores diários de referência para macronutrientes.	22
3.1	Conjunto de alimentos disponíveis.	24
3.2	Conjunto de Receitas.	25
3.3	Exemplo de Cardápio 1	26
3.4	Exemplo de Cardápio 2	28
3.5	Análise dos ingredientes disponíveis e utilizados para elaboração dos cardápios	28
3.6	Valor nutricional dos cardápios sugeridos.	30
3.7	Comparação do erro nutricional dos cardápios sugeridos.	30
3.8	Notações utilizadas nas funções	33
4.1	Posicionamento do trabalho proposto em relação as principais referências encontradas na literatura.	48
5.1	Dicionário de variações de ingredientes.	52
5.2	Exemplo das listas de termos utilizados para identificar os ingredientes. . .	53
6.1	Quantidade de receitas consideradas em cada uma das categorias	66

Capítulo 1

Introdução

Uma refeição é uma porção de alimentos consumida em determinado período do dia (i.e. café da manhã, almoço ou jantar), a fim de garantir a energia e os nutrientes que o corpo necessita. Hoje em dia os consumidores estão cientes de que refeições saudáveis, além de ser uma necessidade básica, influenciam diretamente a qualidade de vida, causando sensação de conforto e transmitindo sentimentos como felicidade e bem-estar. Em uma pesquisa de mercado realizada pela Euromonitor [Kasriel-Alexander, 2017], observou-se que em 2017 existia uma tendência para mudança de hábito e estilo de vida, na qual as pessoas estavam procurando alimentar-se cada vez melhor.

No Brasil, também tem-se prestado uma maior atenção às dietas e hábitos saudáveis. Os consumidores estão observando os impactos causados à saúde e buscam evitar refeições com baixa qualidade nutricional, caracterizadas pela excessiva quantidade de açúcar, sódio e gorduras, que são constantemente associados a aquisição de doenças crônicas, tais como hipertensão e diabetes tipo II [Mozaffarian, 2016; Stolte et al., 2006].

Para usufruir diariamente de refeições saudáveis, é necessário o planejamento e a elaboração de um cardápio de acordo com os padrões nutricionais e práticas dietéticas adequadas. Segundo Bernardes, [BERNARDES, 1997], “Cardápio é definido como lista de preparações culinárias que compõe uma ou todas as refeições de um dia ou período. Para tal, utilizam-se de padrões nutricionais e reconhecimento das técnicas dietéticas dos alimentos a fim de atender às leis da alimentação”. Para o Ministério da Saúde do Brasil [Ministério da Saúde, 2014], um cardápio saudável deve seguir os princípios de qualidade, quantidade, variedade, moderação e harmonia, ou seja, deve ser elaborado de modo a proporcionar uma refeição

com alimentos de boa qualidade, bem conservados, que forneça ao organismo todos os nutrientes necessários e sem excessos, além de ter palatabilidade.

Pensando nos pontos mencionado, neste trabalho, é proposto um modelo de otimização multiobjetivo para planejamento de cardápios com boa qualidade nutricional, agradáveis ao paladar e que fazem o ótimo uso dos alimentos disponíveis na despensa do usuário.

1.1 Problema

O Ministério da Saúde ¹ divulgou, em Abril de 2017, que o índice de obesidade no Brasil cresceu 60% em dez anos e está correlacionado à falta de alimentação saudável. Em outra pesquisa divulgada recentemente pela Faculdade de Saúde Pública da USP ² foi observado que os paulistanos estão sofrendo cada vez mais de doenças crônicas ligadas diretamente à má alimentação, sedentarismo e estresse. A pesquisa abrange o período de 2003 à 2015 e seus resultados foram divulgados em setembro do ano de 2017. Nos resultados, conforme os gráficos apresentados nas Figuras 1.1(a), 1.1(b), 1.1(c) e 1.1(d) houve um aumento na taxa de pessoas com doenças desse tipo.

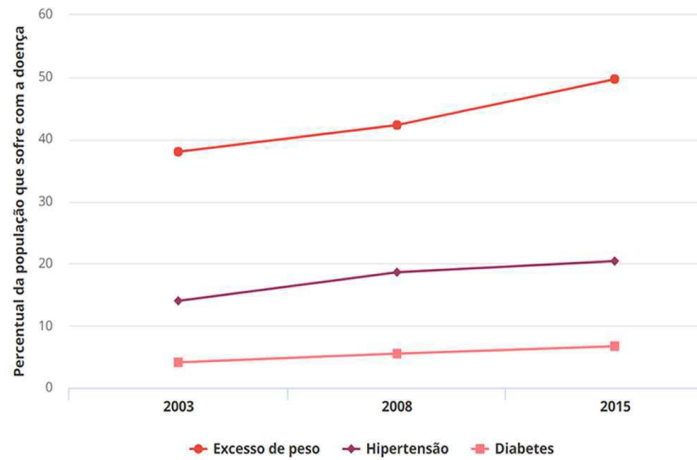
Embora os consumidores reconheçam os malefícios causados pela alimentação inadequada, para muitos, alimentar-se de forma saudável continua sendo um grande desafio. Conforme dados estatísticos resultantes de pesquisa feita com o consumidor, [Méndez and Euphrasio, 2017], foi observado que 34% dos entrevistados alegaram que devido ao cotidiano agitado torna-se difícil ser saudável, enquanto 20% sentem dificuldades para encontrar produtos saudáveis que sejam saborosos. Outras pesquisas, [Diez Garcia, 2003; Nestle, 2013], afirmam que os consumidores mesmo sabendo os danos causados à saúde pela má alimentação continuam consumindo alimentos não saudáveis justificando-se pela praticidade proporcionada por estes.

Mesmo para consumidores adeptos a uma alimentação saudável, que priorizam a qualidade dos alimentos utilizados, ao irem ao supermercado acabam adquirindo alimentos e quantidades que julgam suficientes para o preparo das refeições em determinado período de tempo, porém, sem uma ideia clara do que fazer com eles. Assim, a falta de planejamento

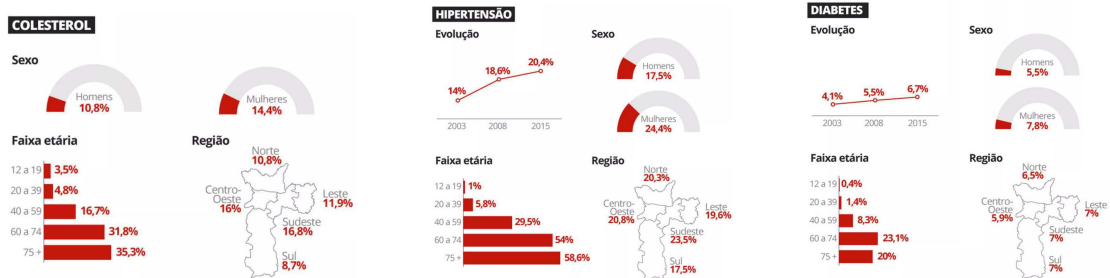
¹<http://www.brasil.gov.br/saude/2017/04/obesidade-cresce-60-em-dez-anos-no-brasil>

²<https://g1.globo.com/sao-paulo/noticia/pesquisa-da-usp-mostra-que-20-dos-paulistanos-sofrem-de-hipertensao.ghtml>

SAÚDE DO PAULISTANO



(a) Percentual da população que sofre de doenças crônicas.



(b) População que sofre de colesterol.

(c) População que sofre de hipertensão.

(d) População que sofre de diabetes.

Figura 1.1: Percentual de paulistanos com doenças crônicas do ano de 2013 à 2015.

Fonte: Dados obtidos na pesquisa da USP. Imagens retiradas e modificadas de editora de arte/G1³.

por vezes resultam na utilização dos alimentos de forma inadequada, gerando: desperdícios de alimentos; refeições nutricionalmente impróprias, dado que para ter uma refeição nutricionalmente adequada é necessário ter compreensão nutricional dos alimentos; ou ainda, o preparo de refeições não agradáveis ao paladar, pois pode realizar combinações de alimentos que precipitadamente julgue resultar em uma agradável refeição, mas, que de fato os alimentos têm baixa harmonia ou não harmonizam entre si. Então, surgem as seguintes perguntas: como proporcionar refeições saudáveis e saborosas com ingredientes acessíveis ao consumidor? Como escolher corretamente o que e o quanto comer? E, como obter praticidade na elaboração de refeições saudáveis e saborosas?

Sabe-se que a escolha do cardápio ideal é afetada por uma variedade de fatores, entre eles, a compreensão nutricional e o conhecimento culinário. Segundo Oliveira e Mendes, [Oliveira and Mendes, 2008], o nutricionista é o profissional especializado em responder estes questionamentos, pois uma de suas atribuições mais comuns é o planejamento de cardápios, uma vez que ele tem os conhecimentos necessários para boa nutrição humana, técnica dietética e administração dos alimentos. Porém, elaborar cardápios que atendam todas as exigências é um grande desafio até mesmo para os nutricionistas.

Para Seljak, [Seljak, 2006], matematicamente o planejamento de cardápio reduz-se a um problema de mochila multiobjetivo, de decisão, NP-completo. Embora seja um problema complexo, diversas pesquisas foram realizadas com objetivo de auxiliar o planejamento e a elaboração de cardápios. Em seu trabalho, Seljak propõe cardápios semanais considerando os princípios de dieta e os padrões de sabores, consistência, cor, temperatura, forma e método de preparo.

Outras propostas, [Gaál et al., 2005], utilizam informações pessoais e dos nutrientes dos alimentos para preparar cardápios diários e semanais, ou propõe, [Pop et al., 2015], recomendações de cardápios saudáveis de acordo com a dieta recomendada por nutricionistas, levando em consideração as preferências culinárias com restrições de tempo e preço, ou ainda, [Farrell et al., 2012; Rokicki et al., 2015], utilizam *feedbacks* para basear suas recomendação.

No Brasil, existem trabalhos como o de Moreira, [Moreira et al., 2015], que propõe um sistemas para recomendação de cardápios para merendas escolares, considerando o custo e o valor nutricional, e o de Spak, [Spak et al., 2017], que propõe um modelo para elaboração de cardápios para restaurantes universitários, considerando a preferência alimentar, o custo e o valor nutricional. Apesar das diversas pesquisas nesse contexto, nenhuma considera os ingredientes que o consumidor tem disponível, fato que conforme citado por Mintel, Garcia e Nestle [Méndez and Euphrasio, 2017; Diez Garcia, 2003; Nestle, 2013], acaba sendo uma dificuldade encontrada pelos consumidores. Com esse objetivo, existem algumas aplicações como o Cozinha Fácil ⁴ e o MyFridgeFood ⁵, que fazem recomendações de receitas com

⁴<http://g1.globo.com/ac/acre/noticia/2014/12/app-monta-receitas-partir-de-ingredientes-disponiveis-na-geladeira.html>

⁵<http://myfridgefood.com/>

base nos ingredientes que o consumidor deseja, porém, essas aplicações não consideram as quantidades nem o fator nutricional, além do fato de que elas recomendam receitas e não cardápios.

1.2 Objetivo

Este trabalho tem por objetivo propor uma nova abordagem de recomendação de cardápios que leve em consideração, ao mesmo tempo: os ingredientes disponíveis na despensa do usuário, o valor nutricional dos alimentos e a harmonia entre os ingredientes das receitas. Podemos ver cada um desses critérios como um objetivo que queremos otimizar. Ou seja, queremos gerar recomendações que otimizem, ao mesmo tempo, a cobertura dos ingredientes disponíveis, o valor nutricional dos ingredientes e a harmonização entre eles. Para isso, o algoritmo recebe como entrada: a despensa do usuário, os valores nutricionais considerados, uma base de receitas e a quantidade de porções esperada. Ao final, o algoritmo tem como saída um conjunto de cardápios otimizados, sendo cada cardápio composto por sete receitas culinárias.

Para atender simultaneamente os objetivos elencados acima, utilizou-se uma abordagem com otimização combinatória multiobjetivo, por meio do algoritmo genético NSGA-II (*Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II*). Foram utilizadas três funções objetivo: uma para mediar a cobertura do cardápio, que considera o número de ingredientes e a quantidade de cada um utilizado nas receitas que compõem o cardápio para verificação da disponibilidade de ingredientes na cesta de compras do usuário; uma para verificar o aspecto palatável, considerando a quantidade de vezes que os mesmos ingredientes coocorrem na mesma receita, o que é calculado para cada par de ingredientes usados em toda a refeição; e uma para medir a qualidade nutricional, que utilizou uma abordagem vetorial para calcular a distância entre os valores nutricionais esperados para a refeição e os valores encontrados no cardápio proposto.

1.3 Contribuições

As principais contribuições deste trabalho são elencadas a seguir:

- Um novo método para elaboração automático de cardápios para a refeição almoço

considerando, ao mesmo tempo, *valores nutricionais de referência, harmonia de ingredientes e cobertura de despensa*;

- Novas funções objetivas cuidadosamente projetadas para cada objetivo desejado;
- Experimentos comprovando que os menus recomendados atingem os valores esperados para os objetivos desejadas.

1.4 Organização dos Capítulos

O trabalho está dividido em seis capítulos. No primeiro Capítulo, é apresentada a introdução do trabalho contendo: a contextualização do problema e da solução, os objetivos alcançados e os métodos de avaliação utilizados, assim como as contribuições do trabalho. No Capítulo 2, é apresentada a fundamentação teórica necessária para o entendimento do trabalho, assim como a modelagem e a formulação matemática do problema. Em seguida, no Capítulo 3, é apresentada a revisão bibliográfica dos temas relacionados à pesquisa. No Capítulo 4, é apresentada a coleta, análise e preparação dos dados. O Capítulo 5, apresenta o modelo proposto, os experimentos e testes realizados, e os resultados obtidos que foram publicados no Health Recommender Systems 2018 - The International Workshop on Health Recommender Systems co-located with the 12th ACM Conference on Recommender Systems (RecSys), Vancouver, Canadá. E por fim, no Capítulo 6, as conclusões e direções para trabalhos futuros.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

Neste Capítulo são apresentados os conceitos de otimização, fundamento e estrutura dos algoritmos genéticos. Também são abordados os conceitos de refeição saudável, cardápio e toda a estrutura que o compõe.

2.1 Otimização Combinatória

Problemas de Otimização Combinatória geralmente resumem-se a encontrar, por meio de uma ou várias funções objetivo, o elemento que, dentre todos os possíveis subconjuntos em um determinado espaço de busca, seja a melhor opção em termos do aproveitamento dos recursos para satisfazer uma ou várias funções, podendo haver ou não restrições de igualdade ou desigualdade, [Papadimitriou and Steiglitz, 1998; Genéticos, 2005; Martins et al., 2011]. Dependendo do problema a ser abordado, o elemento a ser encontrado pode variar de um simples valor inteiro que maximiza ou minimiza a função objetivo, até estruturas complexas, como um subconjunto de receita baseada na disponibilidade de ingredientes de forma a gerar um cardápio que forneça a qualidade nutricional esperada para uma refeição.

Além do problema de elaboração de cardápios, existe uma infinidade de problemas abordados com otimização, tais como: aproveitamento de materiais, otimização de tempo, otimização de rotas, redução de custo, entre outros. Para esses problemas, uma das possíveis formas de encontrar uma solução satisfatória seria utilizar algoritmos que verificam todos os elementos possíveis do espaço de busca e selecionam aqueles com melhores desempenhos. Entretanto, essa é uma opção inviável caso exista um grande número de soluções. Assim,

surge a necessidade de utilizar soluções heurísticas que mesmo sem serem capazes de garantir a solução ótima em tempo adequado, produzem uma solução suficientemente boa para fins práticos na maioria dos casos.

2.1.1 Algoritmos de Otimização

Neste trabalho, o algoritmo utilizado para bordar o problema de otimização para recomendação de cardápio é o Algoritmo Genético Multiobjetivo NSGA-II [Deb et al., 2002], em detalhes nas Sessão 2.1.4. Contudo, de acordo com a natureza e/ou restrições, problemas de otimização podem apresentar diferentes características e classificações. Na Figura 2.1, Gandomi, [Gandomi et al., 2013], apresenta uma estrutura para a classificação das técnicas de otimização numérica, conforme as características de cada uma.

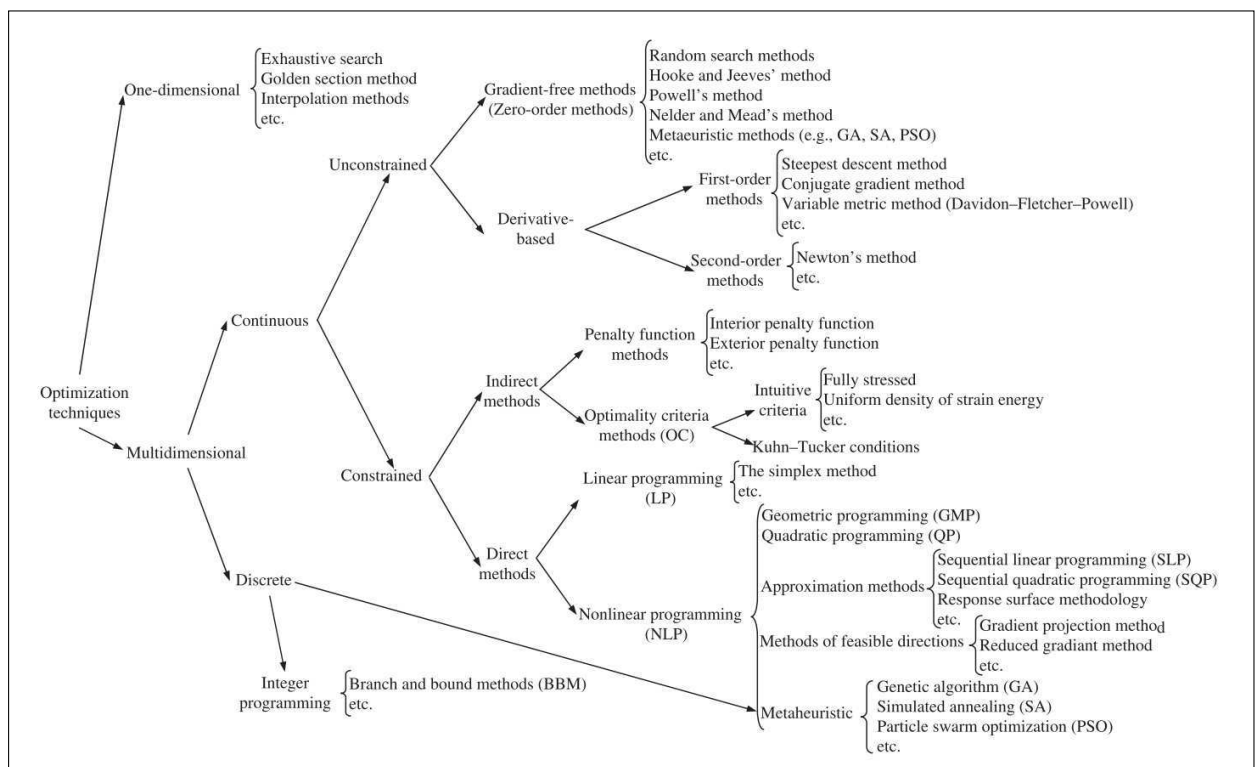


Figura 2.1: Classificação das técnicas de otimização numérica, [Gandomi et al., 2013].

Com o objetivo de facilitar o entendimento dos métodos de otimização e a compreensão dos modelos utilizado neste trabalho, a seguir são apresentados alguns conceitos e definições frequentemente utilizados em temas relacionados à otimização:

- **Variáveis de projeto** - Também conhecidas como variáveis de controle, são as variáveis alteradas durante o processo de otimização. Elas delimitam o intervalo com possíveis soluções para o problema em questão.
- **Função objetivo** - Na literatura também é conhecida como função *fitness* ou função de aptidão. É a função matemática utilizada como critério de eficiência, a qual pretende-se minimizar ou maximizar. Essa função é influenciada diretamente pelas variáveis de projeto.

De acordo com o problema em questão, a função objetivo pode apresentar diferentes características e definições.

– **De acordo com o número de objetivos da função:**

- * **Mono-objetivo** - O problema abordado, em alguns casos, pode ser representado por uma única função objetivo, ou seja, sua resolução pode ser obtida com base em apenas um critério de eficiência. Por exemplo, em um problema de elaboração de cardápio, se o objetivo é maximizar o valor nutricional calórico do cardápio, a função utilizada como critério de eficiência considerará apenas as calorias presentes no cardápio, resultando assim em um único objetivo.
- * **Multiobjetivo** - Em algumas situações, a solução para o problema só pode ser encontrada por meio da otimização simultânea de várias funções objetivo. Isso significa que é necessário utilizar vários critérios de eficiência. Por exemplo, um problema que busca maximizar o valor nutricional e minimizar o custo econômico do cardápio ao mesmo tempo se caracteriza como um problema de otimização multiobjetivo, uma vez que há dois elementos a serem otimizados, o valor nutricional calórico e o custo do cardápio.

– **De acordo com o número de variáveis de projeto utilizadas na função:**

- * **Unidimensional** - Quando a função recebe influência de apenas uma única variável. Por exemplo, uma função linear simples.
- * **Multidimensional** - Quando mais de uma variável influencia o critério de eficiência, ou seja, pretende-se otimizar mais de uma variável. Por exemplo

a Regressão Linear Múltipla.

– De acordo com a quantidade de pontos mínimos ou máximos possíveis na função:

- * **Unimodal** - Quando a função tem um único mínimo ou máximo. Ou seja, se a função objetivo para o problema de otimização for unimodal, o ponto ótimo local também é o ponto ótimo global. A Figura 2.2 ilustra essa situação.

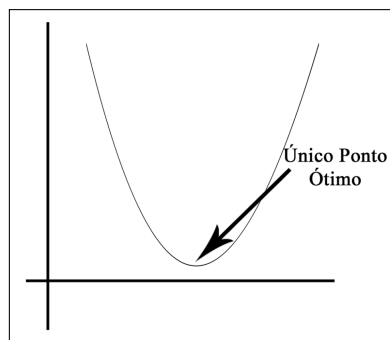


Figura 2.2: Função objetivo unimodal.

- * **Multimodal** - Quando a função tem vários mínimos ou máximos. Ou seja, na função existem pontos ótimos locais além do ponto ótimo global. A Figura 2.3 ilustra esse caso.

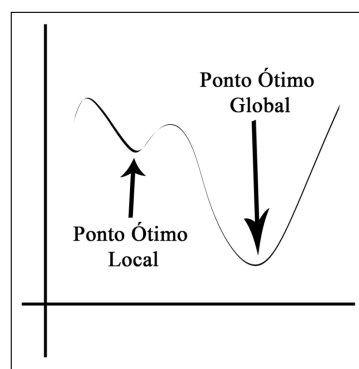


Figura 2.3: Função objetivo multimodal.

- **Restrições** - São as funções de igualdade e desigualdade que limitam o espaço determinando a região com soluções factíveis. A Figura 2.4 ilustra um gráfico, apresentado

por [Rao and Rao, 2009], com a região factível para um problema de otimização com restrições.

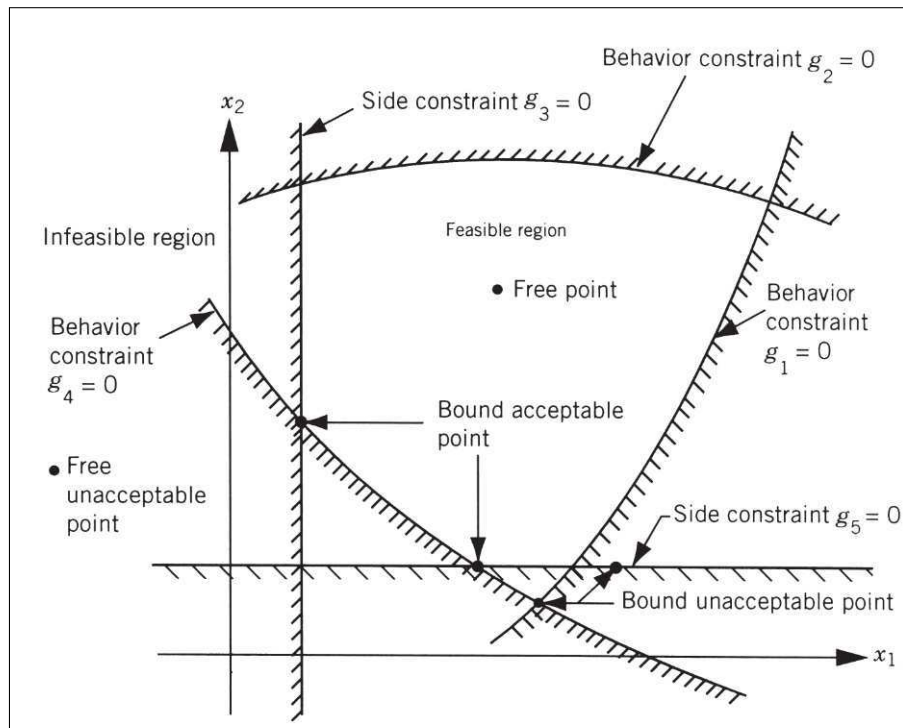


Figura 2.4: Representação apresentada por [Rao and Rao, 2009] de uma região factível hipotética.

Na Figura 2.4, os limites indicados pela variável g representam as faixas de valores considerados ótimos, encontrados pela respectiva função de restrição.

- **Espaço de Busca:** Também conhecido como domínio viável do problema, é a região na qual o algoritmo de otimização poderá obter as possíveis soluções. Ele compreende as restrições e o domínio das variáveis do projeto.
- **Ponto Ótimo:** É o ponto caracterizado pelo vetor das variáveis de projeto, dentro do espaço de busca, que representa a melhor solução possível dentre as existentes.
- **Solução Ótima:** É a solução que atende de forma ótima a todos os objetivos a serem otimizados. Pode ser local, quando formada pelo ponto ótimo local e pelo valor ótimo local e, global, quando a solução ótima considera todo o espaço de busca.

Na Figura 2.1, onde Gandomi apresenta as classificações das técnicas de otimização, uma das técnicas apresentadas foi o Algoritmo Genético. Como neste trabalho foi utilizado o NSGA-II, que é baseado nos Algoritmos Genéticos, na seção 2.1.2 é apresentado em detalhes as características e as definições dos Algoritmos Genéticos. Na sequência, na seção 2.1.3, é abordado o conceito de Dominância, conceito este considerado importante para o entendimento do algoritmo NSGA-II que será apresentado posteriormente na seção 2.1.4.

2.1.2 Algoritmo Genético

Os Algoritmos Genéticos (AG) costumam se destacar pelo bom desempenho em problemas complexos de otimização, quando comparados a outros algoritmos tradicionais como a programação de números inteiros e a programação dinâmica, [Chambers, 2001; Haupt and Haupt, 2004]. Eles também podem lidar com funções objetivos lineares ou não lineares, com variáveis contínuas ou discretas e são tolerantes a ruído. Além disso, exploram simultaneamente o espaço de busca em várias dimensões [Yang, 2010].

Por essas características, Algoritmos Genéticos têm sido aplicados com sucesso na resolução de problemas complexos em inúmeros trabalhos, como por exemplo, otimização de decisões para empréstimos bancários [Metawa et al., 2017], recuperação de informação [Lebib et al., 2017], processamento de imagens [Mou et al., 2005] e de vídeo [Thakur et al., 2013], otimização de rotas [Pattnaik et al., 1998], modelos para gerar criptografias [Jhajharia et al., 2013] e elaboração de cardápios [Kashima et al., 2009; Ngo, 2016].

Os Algoritmos Genéticos foram desenvolvidos inspirados no processo da evolução biológica apresentado na teoria da seleção natural de Charles Darwin, [Yang, 2010; Gandomi et al., 2013]. Basicamente, a abordagem utilizada pelo algoritmo é tratar as possíveis soluções para o problema como sendo indivíduos dentro de uma população que, por meio da evolução natural, produzem uma nova geração a cada iteração com indivíduos cada vez mais adaptados. Em passos sequenciais, ocorre como segue:

- Inicialmente temos um conjunto de indivíduos aleatórios que formam uma população;
- Durante o processo, ocorre o cruzamento entre os indivíduos, combinando os genes e formando novos indivíduos;

- Após a combinação dos genes realizada no cruzamento, ocorre a mutação, este operador faz com que um ou mais genes do novo indivíduo seja alterado, proporcionando ao novo indivíduo características próprias, além das compartilhadas por meio dos genes paternos;
- E por fim, a seleção dos indivíduos com melhor aptidão, acarretando na evolução da espécie.

No contexto de elaboração de cardápios, um indivíduo seria um conjunto de receitas que representa um possível cardápio. Os genes seriam cada uma das receitas que compõem o cardápio. No cruzamento, as receitas são recombinadas para formar um novo cardápio. Assim, após o cruzamento, ocorre o processo de mutação gerando um novo cardápio. Teoricamente, esta nova geração terá um melhor desempenho, em termos das funções objetivo definidas para o problema, do que as gerações anteriores.

A seguir, são apresentados em detalhes a estrutura e cada um dos componentes presentes em um Algoritmo Genético.

Estrutura

Os principais componentes de um Algoritmo Genético são: o grupo de indivíduos no espaço de solução, formando assim a população; a função de aptidão, o método de seleção e os operadores genéticos: **cruzamento** e **mutação**, tal como apresentado na Figura 2.5.

Indivíduos

Nos AG, cada indivíduo é formado por um conjunto de genes e corresponde a uma possível solução para o problema, dentro do espaço de soluções. Como no exemplo da elaboração de cardápios, um cardápio (indivíduo) é representado por um conjunto de receitas (genes).

O processo de solução adotado nos algoritmos genéticos consiste em gerar aleatoriamente ou utilizando algum critério pré-definido um número $|n|$ de indivíduos para formar a população. Não existe restrição na representação do conjunto de genes que compõem cada um dos indivíduos, esses podem ser codificados de diferentes maneiras, como cadeia de bits ou lista de números inteiros, por exemplo. A escolha da codificação depende do problema a ser resolvido. Neste trabalho, foi utilizada uma lista de números inteiros, onde cada número

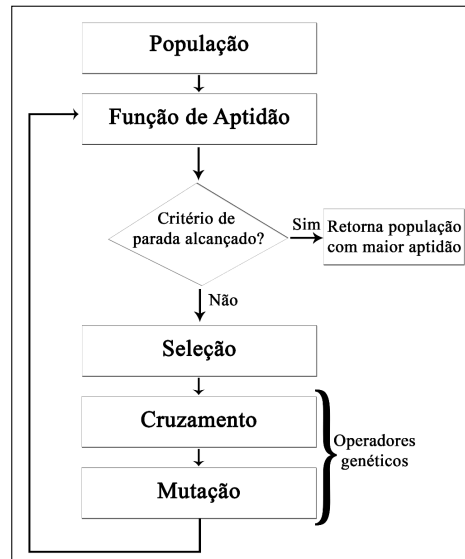


Figura 2.5: Fluxograma básico de um Algoritmo Genético.

corresponde a um identificador de uma receita. Na Figura 2.6, é representado um exemplo de indivíduo.

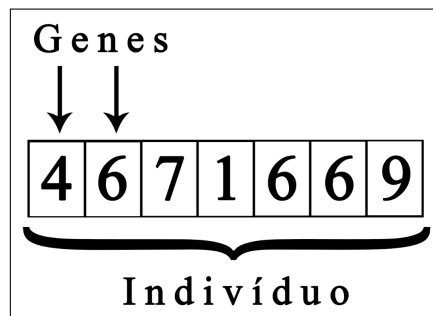


Figura 2.6: Representação de um indivíduo com lista de números inteiros.

Utilizando do exemplo de indivíduo apresentado na Figura 2.6, na Figura 2.7, para exemplificar, buscou-se realizar a representação do indivíduo com receitas reais, onde os receitas representam genes.

População

Nos AG, a população é um conjunto de n indivíduos que são gerados para compor o espaço de solução e é constante ao longo de todo o processo evolutivo. Sua geração pode ser aleatória ou através de algum critério predefinido. Porém, o tamanho da população deve ser



Figura 2.7: Representação das receitas que compõem o indivíduo representado na Figura 2.6

escolhido com bastante atenção, pois dependendo da complexidade do problema, uma população de tamanho pequeno pode limitar a diversidade no espaço de busca e resultar em uma convergência prematura com soluções ótimas locais. Por outro lado, uma população de tamanho exagerado pode demandar alto custo computacional.

Para o problema abordado nesta pesquisa, a população é o conjunto de tamanho n de possíveis composições de cardápio. A Figura 2.8 ilustra o conceito de população.

	População						
Indivíduo-1	4	6	7	1	6	6	9
Indivíduo-2	9	1	5	2	4	1	3
				•			
				•			
				•			
Indivíduo-N	1	7	4	5	1	3	7

Figura 2.8: Representação da população.

Avaliação

A avaliação ou aptidão é o resultado das funções objetivos (cf. 2.1.1). É por meio dela que se obtém a aptidão do indivíduo. Neste trabalho, cada indivíduo representa um cardápio, as entradas para as funções são os valores nutricionais de cada cardápio, os ingredientes e suas respectivas quantidades, e obtêm-se como saída a respectiva medida de aptidão.

Seleção

Na fase de seleção, os indivíduos da geração atual com maior aptidão, com base nos resultados obtidos na avaliação, são selecionados para serem utilizados no processo de cruzamento. Por exemplo, no problema de elaboração de cardápios, quer-se maximizar, dentre outras coisas, o número de ingredientes disponíveis a serem utilizados na composição do cardápio, por este motivo, os indivíduos selecionados serão aqueles cujo a interseção dos ingredientes disponíveis na despensa com os ingredientes necessários para compor o cardápio, resulte no conjunto com maior número de ingredientes.

Cruzamento

O cruzamento é o processo que realiza a recombinação dos genes de uma geração, para gerar novos indivíduos da geração seguinte. No contexto da elaboração de cardápio, por exemplo, trata-se de recombinar as receitas. Na Figura 2.9, é ilustrado o processo de cruzamento com dois pontos de corte.

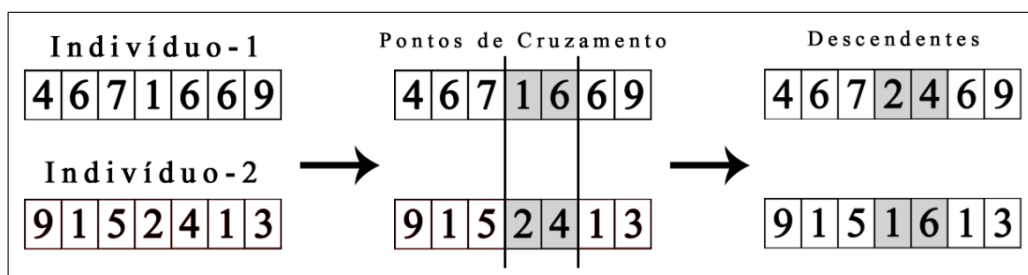


Figura 2.9: Representação de cruzamento com dois pontos.

Nesse processo ocorre a troca de genes entre os indivíduos, gerando novos descendentes, e assim, sucessivamente a cada geração. Como resultado desta operação, em cada descendente há características herdadas de indivíduos da geração anterior, conseqüentemente alterando o resultado obtido pela função de aptidão.

Durante o processo de cruzamento, os indivíduos escolhidos no processo de seleção são duplicados para gerar uma nova população que será utilizada como lista de parceiros no cruzamento. Esta nova população, é embaralhada aleatoriamente, com objetivo de alterar a posição inicial do indivíduo na nova população. Então, é realizado o cruzamento de cada

indivíduo da população inicial com o indivíduo que ocupa a mesma posição na nova população. A forma como o cruzamento é realizado entre os dois indivíduos pode ser feita de diversas maneiras, na Figura 2.9 é demonstrado o cruzamento particionando os indivíduos em dois pontos.

Mutação

No processo de mutação ocorre a alteração aleatória, porém com probabilidade predeterminada, de um dos genes do indivíduo resultante do processo de cruzamento. A importância deste operador, é que ele atua para garantir que o novo indivíduo não se atenha apenas às características dos progenitores. Na Figura 2.10, por exemplo, o processo de mutação ocorre somando-se, ao valor do gene sofrendo mutação, um valor aleatório.

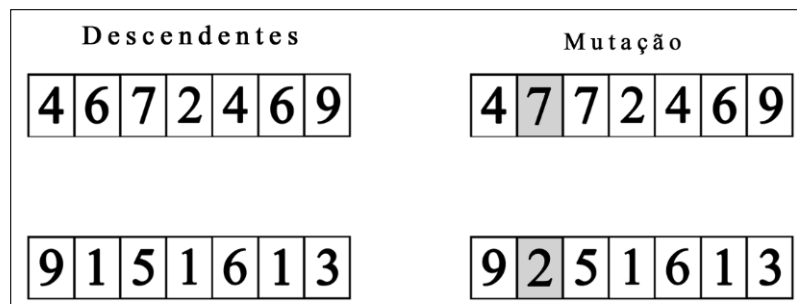


Figura 2.10: Representação de Mutação.

Dessa forma o operador de mutação possibilita uma maior varredura do espaço de busca. A probabilidade de mutação normalmente é bem pequena e geralmente a operação é realizada de maneira predefinida, como por exemplo, substituindo o valor do genes por um valor escolhido aleatoriamente, sorteando-se n pares de genes e efetuando a troca de valores entre eles, ou ainda, somando ou subtraindo um valor aleatório ao valor do gene, como no exemplo da mutação ilustrada na Figura 2.10.

2.1.3 Dominância

Algoritmos Multi-Objetivos buscam encontrar soluções que otimizem simultaneamente todos os objetivos. Contudo, os objetivos abordados podem ser conflitantes entre si. Logo, é necessário uma forma de comparar duas soluções consideradas viáveis para o mesmo pro-

blema. Para tal, uma forma considerada justa e bastante utilizada é o conceito de dominância de Pareto.

Com a dominância de Pareto, dado o conjunto de soluções viáveis, considera-se que a melhor solução é aquela que exerce dominância em pelo menos um objetivo, nunca é dominada em nenhum, e para os demais objetivos é igualmente ótima. Por exemplo, ao buscar uma solução para elaboração de cardápios que considere dois objetivos: aumentar a cobertura de alimentos utilizados com base na disponibilidade da despensa e atender valores nutricionais de referência. Suponha que, para cada objetivo, a solução proposta contém os valores de otimização com resultado entre 0 e 1, sendo 0 o pior caso e 1 o melhor. Considere um cenário com duas soluções, i.e., $S_1 = [0.8, 1]$ e $S_2 = [0.8, 0.2]$. Nesse exemplo, a solução S_1 exerce dominância sobre S_2 , pois é melhor ou igualmente ótima para todos os objetivos.

No exemplo citado, a solução S_1 não é dominada por nenhuma outra solução, por este motivo ela é chamada de solução Pareto-Ótimo. Caso, ao invés de apenas uma solução, haja um conjunto de soluções não dominadas, esse conjunto é chamado de Conjunto Pareto-Ótimo. Este conjunto, quando representado pelos seus respectivos pontos no espaço de busca formam uma fronteira, essa fronteira, é denominada Fronteira de Pareto. A Figura 2.11 ilustra esse conceito.

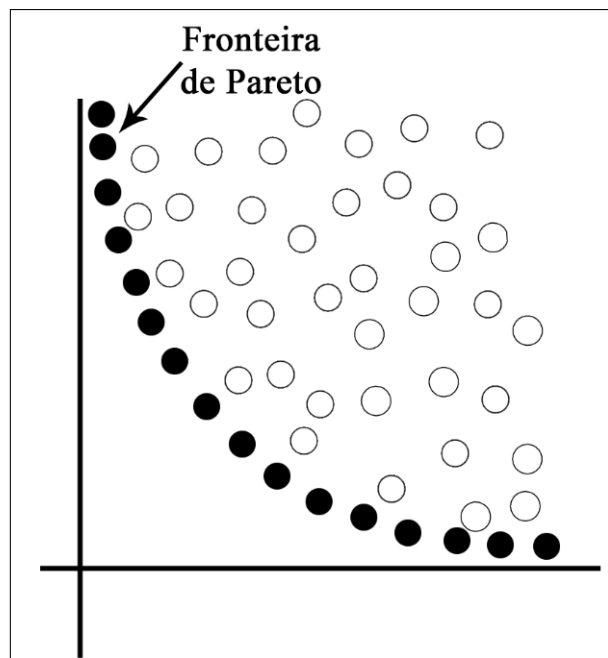


Figura 2.11: Fronteira de Pareto.

Na Figura 2.11, os eixos x e y representam, neste caso, dois objetivos a serem minimizados. Os pontos preenchidos e indicados, são os presentes na Fronteira de Pareto. As soluções representadas pelos pontos são consideradas não dominadas, pois exercem dominância sobre as demais em pelo menos um objetivo mas também são dominadas em pelo menos um objetivo e, de acordo com o conceito, para exercer dominância é necessário que seja melhor ou igualmente ótima em todos os objetivos.

2.1.4 NSGA-II

O NSGA-II (*Nondominated Sorting Genetic Algorithm II*) [Deb et al., 2002] é um Algoritmo Genético utilizado em problemas de Otimização Multiobjetivo. Ele aplica o conceito de dominância e utiliza uma estratégia etilista para formar a Fronteira de Pareto. É também bastante flexível com relação aos ajustes dos parâmetros, o que permite uma melhor adaptação do modelo às necessidades de cada situação. Diferentemente de outros Algoritmos Multiobjetivos Evolutivos (MOEAs), o NSGA-II utiliza uma abordagem etilista e tem complexidade computacional na ordem de $O(MN^2)$, onde M é o número de objetivos e N é o tamanho da população, enquanto abordagens alternativas costumam apresentar complexidade na ordem de $O(MN^3)$ [Deb et al., 2002].

O NSGA-II, considera dois mecanismos importantes: o Fast Non-Dominated Sorting e o Crowding Distance. O primeiro, utiliza o conceito de dominância, ou seja, considera que os indivíduos presentes na primeira fronteira são os melhores de sua geração. Para um problema de minimização, por exemplo, os melhores indivíduos são os encontrados na fronteira inferior, conforme apresentado na Figura 2.11. Esse conjunto de indivíduos é considerado o melhor, seguindo o conceito de dominância (cf. 2.1.3), porque consegue atender melhor todos os objetivos comparados aos demais que não fazem parte do conjunto Pareto-ótimo.

Após obter a aptidão, de cada um dos indivíduos, é calculada a diversidade entre as soluções encontradas e realizada a divisão dos grupos de indivíduos por faixa de dominância. Para tal, o NSGA-II utiliza de um algoritmo amplamente conhecido e aplicado em modelos de otimização multiobjetivos, o *Crowding Distance*, [Deb et al., 2002].

A metodologia utilizada pelo algoritmo calcula a densidade de soluções próximas de uma solução específica, efetuando o cálculo da aptidão para cada uma das funções objetivo. Em seguida, seleciona os indivíduos igualmente ótimos presentes na mesma faixa de dominância

e atribui a distância absoluta, normalizada, com a diferença dos valores entre duas soluções adjacentes, conforme ilustrado na Figura 2.12.

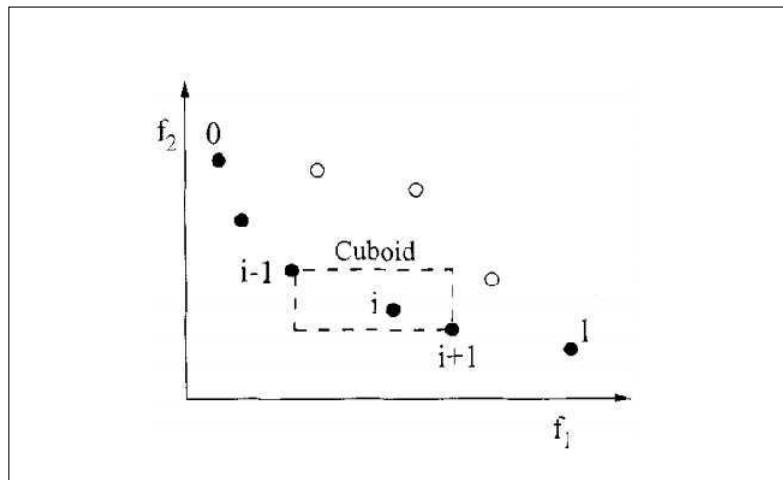


Figura 2.12: Crowding Distance.

Conforme representado na Figura 2.12, o *Crowding Distance* realiza o cálculo de forma pareada para todos os objetivos. Desta forma, o algoritmo soma as distâncias individuais correspondentes [Deb et al., 2002].

2.2 Qualidade de Refeições

Hábitos alimentares adequados proporcionam ao organismo humano condições para uma vida saudável, prolongam a vida, a disposição e o bem-estar. Também são uma forma de prevenção ou de tratamento contra doenças crônicas como a obesidade, o diabetes tipo II e a hipertensão, [Stolte et al., 2006; Mozaffarian, 2016].

A escolha dos alimentos utilizados é de grande relevância, pois são eles que fornecem os nutrientes necessários. A forma como eles são combinados e preparados, aliada às dimensões sociais e culturais, resulta em uma vasta diversidade de refeições. Todos esses aspectos são importantes e têm sua influência na qualidade da refeição e no bem-estar pessoal.

O Ministério da Saúde Brasileiro, seguindo diretrizes apresentadas pela Organização Mundial da Saúde (OMS), disponibiliza um guia oficial que aborda os princípios e as recomendações de uma alimentação adequada e saudável, o Guia Alimentar da População Brasileira, [Ministério da Saúde, 2008] e [Ministério da Saúde, 2014], 1ª e 2ª edição respec-

tivamente. O guia considera os múltiplos determinantes das práticas alimentares, a complexidade e os desafios encontrados, além de apresentar os princípios da variedade, equilíbrio, moderação e prazer, como índices de uma refeição adequadamente saudável e prazerosa. Seguem as definições destes princípios.

1. **Princípio de Variedade:** Nenhum alimento é capaz de fornecer todos os nutrientes. Por esse motivo, é necessário consumir refeições diversificadas, compostas por vários tipos de alimentos, para fornecer os diferentes nutrientes que o organismo precisa para atender às demandas fisiológicas e garantir uma alimentação adequada;
2. **Princípio do equilíbrio:** Consumir uma refeição equilibrada em quantidade e em qualidade proporciona ao organismo todos os nutrientes necessários. Considerando que as diferentes possibilidades de combinação entre os alimentos utilizados em uma refeição pode resultar em inúmeras composições nutricionais, esta interação entre os nutrientes deve ser cuidadosamente avaliada, pois pode ser benéfica ou prejudicial ao estado nutricional;
3. **Princípio de Moderação:** Dietas caracterizadas pela exclusão ou pelo consumo de um nutriente específico, se não forem acompanhadas rigorosamente por especialistas, podem causar graves danos a saúde. O princípio de moderação orienta que uma refeição de qualidade deve dispor dos alimentos, ou grupo de alimentos, na quantidade adequada, visando não excluir completamente ou consumir apenas um tipo de alimento.
4. **Prazer:** É importante que uma refeição seja balanceada e diversificada, que possa proporcionar ao consumidor o bem estar físico e mental. Igualmente, é importante que seja uma refeição agradável e prazerosa, que os alimentos utilizados para preparar o cardápio estejam de acordo com o paladar e com os aspectos físicos, sociais e culturais do consumidor, que a combinação dos alimentos utilizados valorize o que cada alimento tem de mais saboroso.

No Brasil, o Programa de Alimentação do Trabalhador (PAT) e o Ministério da Saúde [Ministério da Saúde, 2008] recomendam que a participação dos macronutrientes (carboidra-

tos, gorduras e proteínas) no valor energético total (VET) seja realizada da seguinte forma: 55% a 75% de Carboidratos totais, 15% a 30% de gorduras e de 10% a 15% de Proteínas.

O PAT, por meio da Portaria de número 66, de 25 de agosto de 2006 [do Trabalhador, 2006], define os parâmetros nutricionais das principais refeições, como almoço e jantar. Estes parâmetros também são encontrados em outros trabalhos ([Seljak, 2006], [D'Ambrósio et al., 2011], [Mattos, 2017], [Lopes et al., 2017]). A portaria recomenda que estas refeições contenham entre 30% e 40% do valor energético diário, podendo haver um acréscimo de 20%. Por exemplo, considerando o valor médio diário apresentado de 2.000 Kcal, uma refeição deve conter entre 600 e 800 kcal, com acréscimo permitido esse valor permite a adição de 400 kcal, desta forma, pode variar de 600 a 1.200 kcal. Esta distribuição é apresentada na Tabela 2.1. É importante ressaltar que o valor energético adequado para um indivíduo pode variar dependendo de vários fatores como a saúde física e mental, o peso, as atividades físicas realizadas, entre outros. O valor ideal só poderá ser indicado de forma individual quando acompanhada por um nutricionista especialista. Contudo, os valores apresentados costumam atender em média a maioria das pessoas.

Nutrientes	Valores Diários
Valor Energético Total	2000 calorias
Carboidrato	55% - 75%
Proteína	10% - 15%
Gordura Total	15% - 30%

Tabela 2.1: Os parâmetros nutricionais para a alimentação a ser calculado com base nos valores diários de referência para macronutrientes.

Capítulo 3

Modelagem do Problema

Neste Capítulo são apresentados os objetivos de cada uma das funções objetivo consideradas na pesquisa e a formalização do problema.

3.1 Caso de uso

Nesta pesquisa, objetiva-se utilizar um modelo de otimização para planejar automaticamente cardápios que atendam aos padrões nutricionais, referentes aos macronutrientes (carboidratos, gorduras e proteínas). O modelo também considera fazer um bom aproveitamento dos alimentos que o usuário já tem a sua disposição, por exemplo, em sua residência, o que chamamos de despensa. Para melhor esclarecimento, considere o cenário exemplificado a seguir:

Suponha que um indivíduo tem, em sua residência, os alimentos e suas respectivas quantidades, em g ou ml, conforme exemplificado na Tabela 3.1.

Ingredientes	Quantidade
Tomate	40
Ovo	792
Frango	2000
Manteiga	250
Cebola	360
Banana	1500

Linguiça Calabresa	400
Café	2000
Batata Doce	800
Leite em Pó	810
Pão	688
Mortadela	400
Pimentão	85
Caldo de Carne	57
Orégano	16
Mamão	342
Pimenta	15
Feijão	2000
Bacon	200

Tabela 3.1: Conjunto de alimentos disponíveis.

E que existe um livro de receitas, com diversos tipos de receitas, que podem ser utilizadas para compor um cardápio para o almoço, conforme exemplos na Tabela 3.2:

Receitas	Ingredientes
R1	biscoito maizena, bombom sonho de valsa, leite condensado, leite, ovo, amido de milho, chocolate em pó, açúcar, creme de leite
R2	limão, hortelã, água, açúcar
R3	laranja, kiwi, mirtilo, physalis, cenoura, repolho, acelga, linhaça
R4	feijão, toucinho, linguiça calabresa defumada, farinha de mandioca, cheiro verde, coentro, cebola, sal, pimenta do reino
R5	arroz, água, uva passa, queijo parmesão, ervilha, manteiga, óleo, pimentão, cebola, salsinha, cebolinha, cenoura, sal
R6	macarrão parafuso, uva passa, milho, ervilha, presunto, mussarela, linguiça calabresa, azeitona, salsinha, cebolinha, maionese, sal

R7	peixe, batata, tomate, pimentão, cebola, alcaparra, cheiro verde, coentro, sal, alho, azeite
R8	ovo, açúcar, farinha de trigo, chocolate, sorvete
R9	laranja, beterraba, mel
R10	alface, rúcula, agrião, endívia, azeitona, repolho, cenoura, pepino, queijo parmesão, tomate, ovo de codorna, palmito, peito de peru, manga
R11	feijão, toucinho, linguiça calabresa defumada, farinha de mandioca, cheiro verde, coentro, cebola, sal, pimenta do reino
R12	lentilha, arroz, azeite, cebola, caldo de carne, água, linguiça calabresa, pimenta, salsinha, óleo, alho, sal, champignon, mussarela, creme de leite
R13	macarrão espaguete, manteiga, azeite, salsinha, sal, ovo, queijo parmesão, bacon, creme de leite
R14	salmão, manjericão, tomilho, alecrim, orégano, sal, pimenta, azeite, manteiga, limão

Tabela 3.2: Conjunto de Receitas.

Sabendo dos ingredientes que estão disponíveis e das receitas que podem ser utilizadas para montar o cardápio, e utilizando as receitas apresentadas na Tabela 3.2, foram planejados dois cardápios, conforme exemplos retratados nas Tabelas 3.3 e 3.4. Cada um com seus ingredientes é indicado juntamente com suas respectivas quantidades (em gramas) utilizadas.

Receitas	Ingredientes	Quantidades	Receitas	Ingredientes	Quantidades
R1	Biscoito maizena	50	R5	Queijo parmesão	a gosto
	Bombom sonho de valsa	1.5		Ervilha	10.2
	Leite condensado	49		Manteiga	23
	Leite	44		Óleo	a gosto
	Ovo	16.5		Pimentão	a gosto
	Amido de milho	4		Cebola	a gosto
	Chocolate em pó	25		Salsinha	a gosto
	Açúcar	7		Cebolinha	a gosto
	Creme de leite	25		Cenoura	a gosto

R2	Limão	29	R6	Sal	a gosto
	Hortelã	1.5		Macarrão parafuso	167
	Água	125		Uva passa	50
	Açúcar	a gosto		Milho	67
R3	Laranja	65.5		Ervilha	67
	Kiwi	76		Presunto	50
	Mirtilo	45		Mussarela	50
	Physalis	250		Linguiça Calabresa	40
	Cenoura	25		Azeitona	a gosto
	Repolho	69		Salsinha	a gosto
	Acelga	75		cebolinha	a gosto
	Linhaça	a gosto		Maionese	a gosto
R4	Feijão	166.7		Sal	a gosto
	Toucinho	83.3	Peixe	125	
	Linguiça calabresa	83.3	Cheiro verde	a gosto	
	Farinha de mandioca	83.3	Coentro	a gosto	
	Cheiro verde	16.7	Sal	0.5	
	Coentro	8.3	Batata	a gosto	
	Cebola	15.7	Tomate	55.5	
	Sal	a gosto	Cebola	23.5	
	Pimenta do reino	a gosto	Alcaparra	3.75	
R5	Arroz	100	Alcaparra	0.75	
	Água	240	Azeite	a gosto	
	Uva passa	7			

Tabela 3.3: Exemplo de Cardápio 1

Receitas	Ingredientes	Quantidades	Receitas	Ingredientes	Quantidades
R8	Ovo	55		Azeite	3.75
	Açúcar	50		Cebola	a gosto
	Farinha de trigo	30		Caldo de Carne	2.4

	Chocolate	62.5		Água	120	
	Sorvete	a gosto		Linguiça calabresa	37.5	
R9	Laranja	163.75		Pimenta	a gosto	
	Beterraba	10.25		Salsinha	a gosto	
	Mel	18.75		Óleo	0.62	
R10	Alface	a gosto		Alho	0.4	
	Rúcula	a gosto		Sal	a gosto	
	Agrião	a gosto		Champignon	12.5	
	Endívia	a gosto		Mussarela	12.5	
	Azeitona	10		Creme de leite	25	
	Repolho	10	R13	Macarrão espaguete	250	
	Cenoura	7.2		Manteiga	21	
	Pepino	30.1		Azeite	20	
	Queijo parmesão	10		Salsinha	a gosto	
	Tomate	10		Sal	a gosto	
	Ovo de codorna	10.8		Ovo	66	
	Palmito	52		Queijo parmesão	50	
	Peito de peru	15		Bacon	40	
	Manga	20.7		Creme de leite	240	
R11	Feijão	166.7		R14	Salmão	100
	Toucinho	83.3			manjericão	a gosto
	Linguiça calabresa	83.3			Tomilho	a gosto
	Farinha de mandioca	83.3			Alecrim	a gosto
	Cheiro verde	16.7			Orégano	a gosto
	Coentro	8.3	Sal		a gosto	
	Cebola	15.7	Pimenta		a gosto	
	Sal	a gosto	Azeite		a gosto	
	Pimenta do reino	a gosto	Manteiga		14	
	R12	Lentilha	45.5		Limão	7.25
Arroz		50				

Tabela 3.4: Exemplo de Cardápio 2

Para o objetivo de maximizar a quantidade de alimentos disponíveis a serem utilizados na refeição, a viabilidade no preparo do cardápio, considera os alimentos disponíveis, e os utilizados em todas as receitas que compõem o cardápio. Na Tabela 3.5, são apresentados os alimentos disponíveis e os utilizados nos respectivos cardápios.

Disponível na despensa		Utilizados nas receitas	
<i>Ingredientes</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Cardápio 1</i>	<i>Cardápio 2</i>
Tomate	40	55.5	10
Ovo	792	16.5	121
Frango	2000		
Manteiga	250	23	35
Cebola	360	40.2	16.7
Banana	1500		
Linguiça Calabresa	400	123.3	120
Café	2000		
Bacon	200		40
Batata Doce	800		
Leite em Pó	810	68.44	
Molho de Pimenta	688		
Pão Francês	400		
Mortadela Mista	85		
Pimentão	57	15.9	
Caldo de Carne	800		2.4
Orégano	16		a gosto
Mamão	342		
Pimenta	15	a gosto	a gosto
Feijão	2000	166.7	166.7

Tabela 3.5: Análise dos ingredientes disponíveis e utilizados para elaboração dos cardápios

Após verificar os cardápios apresentados, verifica-se que em números de ingredientes do planejamento apresentado na Tabela 3.3, utilizam no total 51 ingredientes distintos, destes, apenas 9 estão disponíveis na despensa. Já o cardápio apresentado na Tabela 3.4 utiliza 53 ingredientes, tendo 10 presentes na despensa.

Quanto à quantidade utilizada, foi possível observar que, com exceção do ingrediente tomate, as quantidades disponíveis dos ingredientes atendem às necessidades para preparar as receitas. Para o ingrediente tomate, o primeiro cardápio necessita de uma quantidade superior à disponível. Assim, conforme as observações referentes à disponibilidade, o segundo cardápio se mostra a melhor opção, pois tem a maior quantidade de ingredientes disponíveis.

Em seguida observa-se os valores nutricionais, conforme segue:

- Identificação de cada ingrediente utilizado;
- Verificar a proporção de cada nutriente para a quantidade de 1g do respectivo ingrediente;
- A proporção nutricional para a quantidade utilizada. Por exemplo, 1 grama de banana tem em média 0,013g de proteína, desta forma 100g de banana equivalem a 1,3 g de proteína;
- Após verificar os valores nutricionais de cada nutriente para cada alimento, é realizado o somatório para cada nutriente com todos os ingredientes;
- Então, considerando apenas os nutrientes citados, foi realizada a soma dos respectivos valores para obter o valor calórico;

Seguindo a sequência apresentada acima, o valor nutricional dos macronutrientes(carboidrato, gordura e proteína) de cada um, resulta conforme apresentado na Tabela 3.6:

Nutrientes	Cardápio 1	Cardápio 2
Carboidrato	414.8	309.7
Gordura	204.9	281.2
Proteína	122.9	128.8
Total calórico	742.6	719.1

Tabela 3.6: Valor nutricional dos cardápios sugeridos.

Considerando que o objetivo seja o planejamento de um cardápio que tenha valor nutricional conforme apresentado na Tabela 2.1, observa-se na Tabela 3.7 quais das receitas têm o menor erro nutricional, ou seja, o quão distante a quantidade, presente no cardápio, do respectivo nutriente, está da faixa de valores utilizada como referência para a refeição.

Nutrientes	Faixa de valor Esperado	Nutrientes em Cardápio 1		Nutrientes em Cardápio 2	
		Quantidade	Erro	Quantidade	Erro
Carboidrato	330~600	414.8	0	309.7	20.3
Gordura	120~240	204.9	0	281.2	41.2
Proteína	90~120	122.9	2.9	128.8	8.8
Total calórico	600~800	742.6	0	719.1	0

Tabela 3.7: Comparação do erro nutricional dos cardápios sugeridos.

Ao observar as informações apresentadas na Tabela 3.7, é possível verificar que o cardápio 1, Tabela 3.3, apresenta melhor qualidade nutricional, devido ao fato de que apresenta erro nutricional em apenas um nutriente (proteína), e em escala menor quando comparado com o cardápio 2, Tabela 3.4, que apresenta erros maiores em todos os nutrientes. Desta forma, quando referente a perspectiva nutricional, o cardápio 1 é a melhor escolha para os objetivos esperados.

Comparando os cardápios, tem-se que o segundo, Tabela 3.4, obteve uma pequena vantagem na disponibilidade de preparo. Contudo, o primeiro, Tabela 3.3, demonstrou adequar-se melhor às necessidades nutricionais esperadas para o cardápio. Desta forma, ao avaliar as vantagens e desvantagens de cada um, o primeiro cardápio demonstra ser a melhor escolha, pois para ambos existem ingredientes faltantes e o primeiro, Tabela 3.3, contém melhores valores nutricionais.

3.2 Formalização

A elaboração automática de cardápios no contexto do nosso trabalho trata-se de um problema NP-difícil, Multiobjetivo e multirrestrições. Assim, abordagens utilizando métodos de otimização heurística são utilizadas para propor soluções possíveis em tempo polinomial. A seguir, buscando facilitar o entendimento, alguns conceitos e definições são apresentadas.

3.2.1 Conceitos relacionados a cardápio

- **Ingrediente:** Alimento que compõe uma receita. Cada ingrediente tem sua respectiva quantidade em g ou ml. Por exemplo, 1000g de arroz ou 200ml de óleo;
- **Nutriente:** Composto químico dos alimentos. Nesta pesquisa foram considerados apenas os macronutrientes: Proteínas, Carboidratos e gorduras, todos medidos em gramas;
- **Receita:** Conjunto de ingredientes em quantidades específicas;
- **Cardápio:** Conjunto de receitas utilizadas em uma refeição. A construção do cardápio, para o almoço, é composta por quatro categorias de pratos: prato principal, salada, bebida e sobremesa, resultando em sete receitas: (i) acompanhamento arroz, (ii) acompanhamento feijão, (iii) acompanhamento massa, (iv) carne, (v) salada, (vi) suco e (vii) sobremesa ;
- **Categoria:** Conjunto de características que definem um subconjunto de receitas. Por exemplo: a categoria suco é caracterizadas por bebidas, ou a categoria acompanhamento feijão, caracterizado por receitas que contém feijão;
- **Harmonia:** Combinação de ingredientes que produz uma sensação agradável e prazerosa;
- **Qualidade:** Cardápio que contém valores nutricionais dentro das faixas de referência definidas pelo Ministério da Saúde baseada em recomendações da OMS;
- **Variedade:** Diversidade de alimentos presentes no cardápio;

3.2.2 Configurações dos operadores do NSGA-II

Neste trabalho foi utilizado o algoritmo genético NSGA-II. Para que o algoritmo tenha um bom desempenho e eficiência é importante escolher cuidadosamente os valores fornecidos como parâmetros para o algoritmo. Para tal fim, foram utilizadas as seguintes configurações:

- **Tamanho da população:** É um valor constante que indica a quantidade de indivíduos que são gerados aleatoriamente no início do processo e na considerada melhor saída ao final. Este operador é importante pois seu tamanho influencia diretamente no número de gerações e avaliações, e está relacionado ao desempenho computacional. Algumas pesquisas buscam encontrar um modelo para definir um valor *threshold* suficientemente bom. Castro [de Castro, 2001] e Lobato [Lobato et al., 2008], sugerem que um ponto ideal está entre 10 e 100 indivíduos. Guerra [Guerra, 2008], indica que um bom número para definir o tamanho da população inicial é da ordem de 2 vezes a quantidade de variáveis utilizadas multiplicado pela quantidade de objetivos. Neste trabalho, a população de tamanho 100 apresentou bom desempenho.
- **Probabilidade de cruzamento:** Representa a probabilidade de que novas estruturas aparecerão na população. É importante escolher cuidadosamente essa taxa pois se ela for muito alta indivíduos com boa aptidão podem ser desconsiderados e caso ela for muito baixa exigirá um grande custo computacional. Em outras abordagens, geralmente, a taxa de cruzamento varia entre 0.5 e 0.95, neste trabalho, a taxa escolhida foi de 0.6.
- **Probabilidade de mutação:** É importante pois, se for muito baixa, o algoritmo pode ficar preso nos mínimos locais, pois iria se ater a receitas presentes nos elementos gerados aleatoriamente na população inicial. Entretanto, taxa muito altas podem gerar um método de busca aleatório. Alguns trabalhos recomendam a escolha da taxa de mutação com base no tamanho da população. Jong [De Jong, 1975] sugere que a taxa de mutação seja inversamente proporcional ao tamanho, por exemplo: para uma população de tamanho 50, $N = 50$ a taxa de cruzamento deve ser 0.6 e a probabilidade de mutação 0.001. Knu [knu, 2018] apresenta a expressão $\frac{1}{N\sqrt{L}}$ para calcular a taxa, onde N é o tamanho da população e L é o tamanho do cromossomo. Neste trabalho,

foi considerado o modelo sugerido por [knu, 2018], resultando na probabilidade de mutação com valor 0.003. Em outros trabalhos é comum encontrar valores entre 0.001 e 0.1.

- **Número de gerações:** O número de gerações representa quantas vezes a população passará por todo o processo evolutivo, (seleção, cruzamento, mutação e avaliação). A escolha do número de gerações é importante pois um alto número de gerações aumenta significativamente o custo em tempo, porém um pequeno número limitará as soluções às populações iniciais. A quantidade de gerações escolhida neste trabalho foi de 50 gerações, com custo temporal médio de aproximadamente quinze minutos, para cada despesa otimizada.

3.2.3 Funções Objetivo Consideradas

Na Tabela 3.8, são apresentadas as notações utilizadas nas funções objetivo: Cobertura 3.2.3, Erro Nutricional 3.2.3 e Harmonia 3.2.3, e na definição do problema 3.2.4.

Símbolos	Descrições
N	conjunto de macro-nutrientes $\{proteína, carboidrato, gorduras\}$.
R	conjunto de receitas.
C	conjunto de categorias das receitas, exemplo: <i>prato principal, acompanhamento arroz, acompanhamento massa, acompanhamento feijão, salada, suco e sobremesa</i> .
M	conjunto de cardápios.
P	conjunto de despesas.
$m \in M$	conjunto de receitas onde cada receita pertence a uma diferente categoria em C .
$g_n(r)$	valor nutricional da receita $r \in R$ referente ao nutriente $n \in N$.
$f_n(m)$	valor nutricional do cardápio $m \in M$ referente ao nutriente $n \in N$, por exemplo, $\sum_{r \in m} g_n(r)$.
I	conjunto de ingredientes, como: arroz e tomate.
I_m	conjunto de ingredientes presentes no cardápio $m \in M$.
I_p	conjunto de ingredientes presentes na despesa $p \in P$.
R_i	conjunto de receitas que contém o ingrediente $i \in I$.
$V_n \subseteq \mathbb{R}_{\geq 0}$	medidas $[\min, \max]$ com valores de referência para $n \in N$.
\max_n	valor máximo possível para o componente nutricional $n \in N$ encontrado em um cardápio.
\min_n	valor mínimo possível para o componente nutricional $n \in N$ encontrado em um cardápio.
$q_m(i)$	quantidade necessária em gramas do ingrediente $i \in I$ para preparação de um cardápio $m \in M$, por exemplo, é necessário 200g de arroz para preparar uma receita de arroz com alho.
$q_p(i)$	quantidade, em gramas, disponível do ingrediente $i \in I$ na despesa $p \in P$.
t	quantidade de porções desejadas.

Tabela 3.8: Notações utilizadas nas funções que descrevem a abordagem proposta.

Cobertura dos Ingredientes

Neste trabalho, um dos objetivos é recomendar cardápio utilizando, na medida do possível, os ingredientes disponíveis na despensa. Para tal, foi considerada na função objetivo (Equação 3.1), a razão entre os ingredientes disponíveis e os necessários, considerando a quantidade precisa de acordo com o número de porções t esperadas.

$$cov(m, t) = \frac{\min \left(\left(\sum_{i \in I_m} q_p(i) \right), \left(\sum_{i \in I_m} q_m(i) \right) \right)}{\sum_{i \in I_m} q_m(i) \times t} \quad (3.1)$$

Exemplo de uso:

Exemplo 1: Ingrediente com quantidade disponível:

Para compor o cardápio de uma refeição, para uma porção, é necessário 200g de arroz, logo, $q_m(arroz) = 200$ e $t = 1$. Supomos que na despensa tem exatamente 200 g de arroz, então $q_p(arroz) = 200$. Desta forma, a cobertura deverá atingir o valor máximo, $cov(arroz, 1) = 1$. Ver Equação 3.2.

$$cov(m, t) = \frac{\min \left(\left(\sum_{i \in I_m} q_p(i) \right), \left(\sum_{i \in I_m} q_m(i) \right) \right)}{\sum_{i \in I_m} q_m(i) \times t} = \frac{\min \left((200), (200) \right)}{200 \times 1} = \frac{200}{200} = 1 \quad (3.2)$$

Exemplo 2: Ingrediente sem quantidade disponível:

Supomos agora que queremos compor o cardápio citado no Exemplo 1. Para duas porções, são necessários 400g de arroz, $q_m(arroz) = 400$ e $t = 2$. Considerando-se a mesma despensa, ou seja, 200 g de arroz $q_p(arroz) = 200$, a cobertura deverá ter um valor entre 0 e 1. Ver Equação 3.3.

$$cov(m, t) = \frac{\min \left(\left(\sum_{i \in I_m} q_p(i) \right), \left(\sum_{i \in I_m} q_m(i) \right) \right)}{\sum_{i \in I_m} q_m(i) \times t} = \frac{\min \left((200), (200) \right)}{200 \times 2} = \frac{200}{400} = 0.5 \quad (3.3)$$

Exemplo 3: Ingrediente em quantidade disponível:

Neste modelo, caso a quantidade de ingredientes na despensa seja superior a quantidade necessária, o resultado da função também deverá atingir o valor máximo, que significa que a despensa atende as necessidades do cardápio. Novamente, vamos considerar o Exemplo 1. Contudo, supomos que a despensa tem 600g de arroz disponível. Logo, $q_m(\text{arroz}) = 200$ e $t = 1$ e $q_p(\text{arroz}) = 600$. Ver Equação 3.4.

$$cov(m, t) = \frac{\min \left(\left(\sum_{i \in I_m} q_p(i) \right), \left(\sum_{i \in I_m} q_m(i) \right) \right)}{\sum_{i \in I_m} q_m(i) \times t} = \frac{\min \left((600), (200) \right)}{200 \times 1} = \frac{200}{200} = 1 \quad (3.4)$$

Qualidade Nutricional

Para um usuário comum, preparar um cardápio que atenda adequadamente todas as necessidades nutricionais esperadas talvez seja impraticável, dado que é uma atividade complexa até para profissionais especializados. Neste trabalho, a abordagem utilizada para medir se um cardápio para o almoço está de acordo com os valores nutricionais esperados, a função objetivo da Equação 3.5, considera a distância entre o valor nutricional encontrado no cardápio para o nutriente $n \in N$, da faixa de valor considerada adequada para a refeição. Mais formalmente, $dist_n(m)$ é definida como segue:

$$dist_n(m) = \frac{|f_n(m) - \min_{V_n}| + |f_n(m) - \max_{V_n}| - (\max_{V_n} - \min_{V_n})}{\max_n} \quad (3.5)$$

O modelo foi planejado de forma que se os valores nutricionais $n \in N$ caírem dentro de V_n , a função deverá retornar 0, caso contrário, retornará a distância do valor nutricional ideal, também chamada de erro nutricional. Essa distância é dada com um valor maior que 0 e menor que 1 $dist_n(m) \in [0, 1]$.

Para conveniência, nesta pesquisa busca-se a refeição que maximize a qualidade nutricional, para tal, considerou-se o inverso da distância, Equação 3.6:

$$nut_n(m) = 1 - dist_n(m) \quad (3.6)$$

Exemplo de uso:

Nesta pesquisa, o macronutriente, proteína, é considerado adequado se estiver entre 60 e 120 gramas, $V_{proteina}(m) = [60, 120]$. Para uma determinada refeição o cardápio planejado $m \in M$ contém 100g de proteína $f_{proteina}(m) = 100$. Além disso, suponhamos que o maior valor proteico possível em uma refeição $m \in M$, composta pela base de receitas utilizadas nesta pesquisa seja 500g, $\max_{proteina} = 500g$. Aplicando o modelo, neste cenário, temos o resultado conforme apresentado na Equação 3.7 é igual a 0, logo, não existe erro nutricional.

$$dist_n(m) = \frac{|f_n(m) - \min_{V_n}| + |f_n(m) - \max_{V_n}| - (\max_{V_n} - \min_{V_n})}{\max_n} =$$

$$\frac{|100 - 60| + |100 - 120| - (120 - 60)}{500} = \frac{|40| + |-20| - (60)}{500} = \quad (3.7)$$

$$\frac{60 - 60}{500} = \frac{0}{500} = 0$$

Aplicando a Equação 3.6, temos:

$$nut_n(m) = 1 - 0 = 1$$

Harmonia

Diversos estudos apresentam o uso da modelagem matemática no contexto de dietas alimentares. Muitos deles são apenas conceituais, não consideram as especificidades de cada grupo de indivíduos ou ainda apresentam refeições impraticáveis tendo em vista o aspecto palatável da refeição. Conforme [Namen and Bornstein, 2004], uma das maiores dificuldades em utilizar um modelo para otimizar automaticamente o planejamento de dietas encontrar-se na inclusão da palatabilidade nos modelos, onde o gosto do alimento deve conciliar com os requisitos nutricionais. O contexto utilizado nesta abordagem torna ainda mais complexo, devido a adição do aspecto referente a cobertura.

Para medir a harmonia de uma refeição, foi projetada uma função objetivo em que dois ingredientes são considerados como harmônicos entre si se estes ocorrerem frequentemente em diferentes receitas no conjunto de dados. Para cada par de ingredientes em uma refeição, é calculada a frequência relativa de co-ocorrência desses ingredientes considerando todas as receitas em que algum dos ingredientes considerados aparece. Na função, se o resultado for 0 significa que não há harmonia entre nenhum dos ingredientes presentes no cardápio m . A Equação 3.8 formaliza essa ideia, para $\mathbb{R}_{\geq 0}$.

$$harm(m) = \sum_{i,j \in I_m, i \neq j} \frac{|R_i \cap R_j|}{|R_i \cup R_j|} \quad (3.8)$$

Exemplo de uso:

Supomos que um cardápio recomendado é composto por três ingredientes, por exemplo: arroz, água e sal, $I_m = 3$. O primeiro ingrediente, I_{arroz} , está presente em oito receitas $R_{arroz} = 8$. O segundo, I_{agua} , está presente em dez receitas $R_{agua} = 10$. E, o terceiro, I_{sal} , em apenas duas receitas $R_{sal} = 2$. Juntos, I_{arroz} e I_{agua} são utilizados em seis receitas $R_{arroz} \cap R_{agua} = 6$, mas, dezoito receitas utilizam pelo menos um dos ingredientes

$R_{arroz} \cup R_{agua} = 18$. I_{arroz} e I_{sal} , estão juntos em uma $R_{arroz} \cap R_{sal} = 1$, contudo, dez receitas utilizam pelo menos um $R_{arroz} \cup R_{sal} = 10$. O mesmo para I_{agua} e I_{sal} , juntos são encontrados em duas receitas $R_{agua} \cap R_{sal} = 2$, porém, doze receitas contém pelo menos um dos ingredientes $R_{agua} \cup R_{sal} = 12$. Definido os valores, aplicando a função apresentada na Equação 3.8, temos:

$$\begin{aligned} harm(m) &= \sum_{i,j \in I_m, i \neq j} \frac{|R_i \cap R_j|}{|R_i \cup R_j|} = \\ &= \frac{|I_{arroz} \cap I_{agua}|}{|I_{arroz} \cup I_{agua}|} + \frac{|I_{arroz} \cap I_{sal}|}{|I_{arroz} \cup I_{sal}|} + \frac{|I_{agua} \cap I_{sal}|}{|I_{agua} \cup I_{sal}|} = \\ &= \frac{|6|}{|12|} + \frac{|1|}{|9|} + \frac{|2|}{|10|} = \\ &= 0.5 + 0.111 + 0.2 = 0.811 \end{aligned}$$

3.2.4 Definição do Problema

Nesta pesquisa, o problema de otimização de cardápio é definido da seguinte forma:

Dado um conjunto de ingredientes I_p disponível em uma despensa $p \in P$ e o número de porções t esperadas, o objetivo geral é encontrar o conjunto k de refeições (onde k é o número de refeições retornadas, calculadas automaticamente pelo algoritmo) para o almoço que maximizam simultaneamente todas as funções objetivo, ou seja,

$$\arg \max_m^k \left(\left(\sum_{n \in N} nut_n(m) \right), harm(m), cob(m, t) \right) \quad (3.9)$$

Note que, toda vez que uma refeição que maximiza a Eq. 3.9 é selecionada, a despensa precisa ser atualizada adequadamente e a cobertura das refeições subsequentes deve levar em consideração esses valores atualizados.

Capítulo 4

Trabalhos Relacionados

Nesta seção serão apresentados os trabalhos relacionados com a pesquisa e um comparativo com o trabalho proposto.

4.1 Caracterização de Preferências Culinárias

É senso comum que o consumo de alimentos de boa qualidade que proporcionam ao organismo todos os nutrientes necessários na quantidade adequada é importante para uma vida saudável. Além desses benefícios, refeições contribuem para a identidade de uma sociedade e podem proporcionar sentimentos e sensações como bem-estar e bom humor.

Diversas pesquisas buscam obter conhecimento quantificável e reproduzível que explique esta relação entre os alimentos e as preferências palatáveis dos consumidores. [Ahn et al., 2011; Teng et al., 2012; Ferreira et al., 2013], objetivam montar redes com associações entre os alimentos, buscando identificar padrões e fatores que apresentem algum princípio quantificável e reproduzível que levam usuários a escolher ou evitar certas combinações de alimentos, gerando uma larga escala de variedades e ideias sobre fundamentos culinários e preferências alimentares. [Teng et al., 2012; Ferreira et al., 2013], além de buscar identificar fatores que justificam a escolha harmônica entre os alimentos, buscam também recomendar possíveis substituições ou adições de alimentos as receitas. Encontrar a harmonia entre os alimentos e recomendar substituições de ingredientes, também é o objetivo de [Achananunparp and Weber, 2016]. Contudo, eles busca recomendar alimentos semelhantes em sabor e textura, porém considerados mais saudáveis à refeição.

A abordagem utilizada por [Trattner et al., 2016] analisa as interações de usuários na Web, por meio de um Web site de receitas, buscando encontrar algum padrão alimentar harmônico, que justifique as escolhas dos usuários. Trabalho similar foi apresentado por [West et al., 2013], que utilizou logs de acesso de usuários à páginas de pesquisa de receitas para obter o conteúdo e realizar uma análise espaço-temporal das preferências alimentares.

Sajadmanesh et al., [Sajadmanesh et al., 2017], acreditam que pratos e receitas compartilhados na Web representam fortemente as culturas e atitudes culinárias de uma população. Eles apresentam um estudo sobre ingredientes, sabores e informação nutricional, buscando por sinais das preferências gustativas de indivíduos e civilizações. No artigo, além da compreensão dessas variedades de palato ele utiliza estatísticas de saúde para entender a relação entre fatores culinários e indicadores de doenças crônicas e gastos com saúde. Esta relação, entre fatores culinários e indicadores de doenças crônicas, também foi observada por [Said and Bellogín, 2014], onde foi realizada uma análise das interações dos usuários com receitas no site Allrecipes¹. Na análise, as interações dos usuários foram agrupadas por localidade geográfica e comparado os padrões alimentares, a fim de identificar se existem diferenças nos hábitos alimentares entre populações de regiões conhecidas por terem baixo índice de doenças e populações de regiões conhecidas pelo alto índice de doenças.

A abordagem utilizada por Laufer [Laufer et al., 2015] consiste em explorar páginas com o mesmo assunto, na Wikipédia, em diferentes idiomas de países do continente europeu. Esta diversidade foi justificada pelo fato que, de acordo com o idioma, cada página pode oferecer descrições distintas das práticas culturais e culinárias de cada país. Ele observou as descrições em cada uma das páginas para obter uma visão dos interesses alimentares. Como resultado, ele apresentou uma análise com relações culturais e culinárias entre as diferentes comunidades.

Kusmierczyk [Kusmierczyk et al., 2015], propôs uma análise no contexto alimentar, em receitas de uma comunidade online alemã, na qual buscou explorar diversos aspectos presentes nas produções e inovações de receitas. O estudo apresentou padrões temporais que ocorrem e resultam em inovações de receitas.

¹www.allrecipes.com

4.2 Otimização e Planejamento de Cardápios

O planejamento do cardápio visa contribuir no processo de elaboração de uma ou várias refeições, normalmente com o objetivo de atender às expectativas nutricionais e palatáveis dos consumidores, além de reduzir o custo financeiro necessário para receita.

Recentemente, diversos trabalhos têm proposto sistemas para recomendação alimentar, alguns deles [Freyne and Berkovsky, 2010; Ge et al., 2015; Rokicki et al., 2015], apresentam sistemas que oferecem recomendações de receitas que se adequam às preferências dos usuários, considerando a qualidade nutricional das recomendações. Os trabalhos propostos utilizam modelos de sistemas colaborativos baseados em conteúdo e em feedback dos usuários considerando as preferências e os valores nutricionais. Especificamente no trabalho de Ge et al., além do feedback, é utilizado um algoritmo para ajustar a qualidade nutricional.

Trabalhos como os apresentados por [Cholissodin and Dewi, 2017; Spak et al., 2017], propõem cardápios para escolas e universidades, utilizam modelos de otimização em suas propostas e consideram como objetivo o custo monetário gasto para elaboração do cardápio e a qualidade nutricional da elaboração. Cholissodin e Dewi, [Cholissodin and Dewi, 2017], utilizam um método de otimização denominado *Particle Swarm Optimization* e consideram a otimização nutricional baseado nos macro-nutrientes (carboidratos, proteínas e gorduras). Spak, [Spak et al., 2017], utilizaram um modelo baseado em programação linear inteira na função objetivo para redução dos custos da refeição e necessidades nutricionais.

Elsweiler e Harvey [Elsweiler and Harvey, 2015], buscam combinar as receitas escolhidas pelo usuário com a classificação de receitas anteriores feitas pelo próprio usuário e recomendar planos de cardápios semelhantes, contudo, nutricionalmente adequados. Além dos valores nutricionais para os macronutrientes, eles consideram características do usuário como: idade, sexo, peso e altura. Para calcular as necessidades nutricionais ideais, para o usuário, os autores utilizaram uma versão da equação de Harris-Benedict que estima a taxa metabólica basal (TMB) de um indivíduo e as necessidades calóricas diárias. Elsweiler e Harvey [Elsweiler and Harvey, 2015], consideram as faixa de valores nutricionais entre 45% a 65% para os carboidratos, 20% a 35% para gordura e 10% a 35% para proteína. Como métrica para otimizar, foi definida uma margem de erro nutricional aceitável de 10%.

Seljak [Seljak, 2006] propõe um método de otimização automático para o planejamento

de cardápios semanais considerando os princípios de planejamento dietéticos estabelecidos pelas sociedades de nutrição europeia e os padrões estéticos de sabor, consistência, cor, temperatura, forma e método de preparação. A base de dados utilizadas foi obtida por meio de uma página Web desenvolvida com o propósito de monitorar e realizar recomendações aos usuários. O modelo considera o planejamento para 7 dias, tal que para cada dia são propostos cinco diferentes cardápios, um para cada refeição (café da manhã, lanche da manhã, almoço, lanche da tarde e jantar). A solução foi proposta com duas perspectivas: A primeira, pela seleção de alimentos a serem utilizados, agendando sua ocorrência dentro e entre dias de acordo com os critérios de frequência, para tal, foi utilizado cadeia de Markov, o que mostrou que os algoritmos evolutivos podem convergir para soluções globalmente ótimas. E, na segunda perspectiva, considerando o custo e a qualidade sazonal das receitas. Na segunda perspectiva, foi utilizado o algoritmo NSGA-II, em duas etapas, na primeira, para otimizar as refeições, foi utilizado o método LP simplex. E, na segunda, utilizando o método de reparação gulosa das Baldwin para otimizar os menus diários e semanais.

Okubo et al. [Okubo et al., 2015] considera utilizar um modelo de otimização com programação linear para recomendar mudanças nas refeições, considerando o uso de alimentos específicos da cultura japonesa e a qualidade nutricional esperada. Os dados observados continham informações alimentares e nutricionais de 174 pessoas que vivem em 3 regiões distintas no Japão, sendo 92 mulheres entre 31 e 69 anos, e 82 homens entre 32 e 69 anos. O modelo de programação linear foi utilizado para minimizar o erro nutricional entre os padrões considerados ideais e os observados. Buscou-se também não realizar grandes alterações nas quantidades típicas de cada alimento consumido em cada um dos grupos observados. Os resultados demonstraram que, com o modelo de programação linear, foi possível atingir as metas nutricionais esperadas. Além disso, não foi observado a necessidade de realizar grandes mudanças nas dietas entre os grupos mais idosos, particularmente mulheres, enquanto grandes modificações foram necessárias para aumentar a ingestão de frutas e vegetais em grupos mais jovens de ambos os sexos. Em todos os sexos e faixas etárias, os padrões otimizados de consumo de alimentos exigiram um consumo muito maior de grãos integrais e produtos lácteos com baixo teor de gordura no lugar da ingestão de grãos refinados e laticínios integrais. As metas de ingestão de sal foram as mais difíceis de alcançar, exigindo redução acentuada do tempero com sal (65-80%) em todos os sexos e grupos etários.

No trabalho apresentado por Pop et al. [Pop et al., 2015], o objetivo é gerar recomendações de cardápios saudáveis para idosos, com dieta recomendada por nutricionista, atendendo as preferências culinárias dos idosos e as restrições de tempo e custo. Na proposta, são consideradas cinco refeições: café da manhã, almoço, jantar e dois lanches. Na solução, a abordagem proposta utiliza um método híbrido de Colônia de Abelhas para a otimização. Para encontrar o melhor modelo foram investigadas diversas abordagens considerando estratégias inspiradas em algoritmos genéticos, busca tabu e *simulated annealing*. Os resultados demonstraram que o melhor desempenho entre a adequação do cardápio e o tempo de execução foram encontrados nos modelos utilizando a estratégia de crossover uniforme e Hill Climbing. Chifu [Chifu et al., 2017] também propõem um método de otimização para gerar recomendações de cardápios diários saudáveis para idosos. A proposta apresentada por Chifu utiliza Enxame de Partículas (PSO) para a otimização e busca atender quatro componentes: a qualidade nutricional, custo, tempo e diversidade.

4.3 Análise de Qualidade do Cardápio

Mozaffarian [Mozaffarian, 2016], realizou uma revisão histórica buscando evidências que apontem as relações entre as práticas alimentares atuais e doenças crônicas como a obesidade e a diabetes. Na pesquisa, foi observado que fatores estéticos, socioeconômicos, culturais, influenciados pelo ambiente de trabalho ou escolar, são mais relevantes nas escolhas dos alimentos consumidos em uma refeição do que fatores genéticos, por exemplo. Nesse trabalho, foi evidenciado que uma dieta de má qualidade acaba sendo o principal fator para doenças cardíacas, acidente vascular cerebral, diabetes tipo 2 e obesidade. Ele estipula que o valor gasto entre o período de 2011 até 2030 com doenças relacionadas à alimentação inadequada será algo em torno de US\$ 17,3 trilhões.

O Ministério da Saúde Brasileiro, buscando atender a sugestões dadas pela OMS, realiza programas preventivos buscando promover e auxiliar a população com diretrizes para uma alimentação adequada. Um desses trabalhos é o Guia Alimentar da População Brasileira [Ministério da Saúde, 2014], nele são apontadas sugestões para um cardápio saudável. Este, segundo o Ministério, deve seguir os princípios de qualidade, quantidade, variedade, moderação e harmonia. Em outras palavras, deve ser elaborado de modo a proporcionar uma

refeição com alimentos de boas qualidades, bem conservados, que forneça ao organismo todos os nutrientes necessários, sem excessos e ser agradável ao consumidor.

De Choudhury et al., [De Choudhury et al., 2016], acreditam que as redes sociais servem de indicativo para a qualidade alimentar e a saúde dos usuários. No trabalho, eles buscaram evidências que pudessem servir de indicativo para compreensão das escolhas culinárias dos usuários. A análise foi realizada em uma base de dados contendo três milhões de postagens na rede social Instagram. A análise, apontou que existe uma preferência por alimentos ricos em gordura, colesterol e açúcar. Na base, também foi observado se existia um padrão de linguagem entre os usuários para classificar a qualidade dos alimentos postados.

4.4 Considerações Finais

Neste Capítulo 4, com os trabalhos relacionados, podemos observar que diversos trabalhos foram propostos com soluções para resolver o problema de recomendação de alimentos. Diferentemente da proposta desta pesquisa, que recomenda um conjunto de receitas para formar o cardápio, a maioria das soluções propõem somente a recomendação de receitas. É notável, também, a preocupação com a qualidade alimentar, que está presente na grande maioria das soluções propostas. Contudo, nenhum dos trabalhos considera os ingredientes que o usuário tenha a sua disposição para preparar a refeição, conforme fazemos.

Ao todo, nossas contribuições são resumidas da seguinte forma:

- Um novo método para recomendar cardápios para o almoço considerando, ao mesmo tempo, *valores nutricionais de referência, harmonia de ingredientes e cobertura de despensa*.
- Funções objetivas projetadas para cada propriedade em consideração;
- A abordagem de recomendação apresenta recomendações fáceis de explicar;
- Experimentos mostrando que o menu recomendado atinge os valores esperados das propriedades desejadas.

Na Tabela 4.1, é apresentado a sumarização e o posicionamento desta pesquisa em relação às pesquisas encontradas na revisão bibliográfica.

Referência	Porções	Dias cobertos	Qualidade nutricional	Disponibilidade de ingredientes	Harmonia/ Preferência/ Cultura	Técnica utilizada
Trabalho Proposto	N porções	N dias	Sim	Sim	Sim	Algoritmo Genético Mult-objetivo
Cholissodin and Dewi, 2017	N porções	Diário	Sim	Não	Não	Particle Swarm (PSO) and Simulated Annealing (SA)
Spak et al., 2017	N porções	N dias	Sim	Não	Sim	Programação Linear Inteira
Elsweiler and Harvey, 2015	Individual	Diário	Sim	Não	Sim	Equação de Harris-Benedict e Sistema Colaborativo baseado em conteúdo

Seljak, 2006	N porções	N dias	Sim	Não	Sim	Cadeia de Markov e Algoritmo Genético Mult-objetivo
Okubo et al., 2015	Individuais	Diário	Sim	Não	Sim	Programação Linear
Pop et al., 2015	Individual	Diários	Sim	Não	Sim	Hybrid Honey Bees Mating Optimization method
Ahn et al., 2011	Não	Não	Não	Não	Sim	Análise de Rede Baseada em Composto de Sabor

Achananuparp and Weber, 2016	Não	Não	Não	Não	Sim	Semântica de Espaço Vetorial, Ponto de informação Mútua Positiva (PPMI) e Decomposição de Valores Singular (SVD)
Teng et al., 2012	Não	Não	Sim	Não	Sim	Análise Semântica (LSA), Ponto de informação Mútua (PMI) e SVD

Rokicki et al., 2015	N porções	Individual	Sim	Não	Sim	Sistema Colaborativo e Feedbacks dos Usuários
Ge et al., 2015	Individual	Individual	Sim	Não	Sim	Sistema Colaborativo e Feedbacks dos Usuários
Freyne and Berkovsky, 2010	Individual	Individual	Sim	Não	Sim	Sistema Colaborativo baseado em conteúdo

Tabela 4.1: Posicionamento do trabalho proposto em relação as principais referências encontradas na literatura.

Capítulo 5

Coleta, Análise e Preparação dos Dados

Aqui serão descritos todos os processos de coleta dos dados utilizados, tratamentos realizados e a estrutura do armazenamento final. Também será apresentada uma análise descritiva de cada uma das bases com informações estatísticas, gráficos e hipóteses feitas sobre as informações encontradas.

5.1 Receitas

Nesta seção, será detalhado o processo de coleta, pré-processamento e análise dos dados referente às receitas que são utilizadas para compor o cardápio.

5.1.1 Coleta, pré-processamento e análise dos Dados

Os dados referentes as receitas utilizadas nessa pesquisa foram coletados no site de receitas culinárias TudoGostoso¹(Figura 5.1). O TudoGostoso é um Web site brasileiro de receitas culinárias colaborativo. No site, os usuários voluntariamente compartilham receitas, avaliam a qualidade, o tempo de preparo e a dificuldade da preparação, assim como também disponibilizam sugestões de modificações nas receitas de acordo com suas preferências.

No site, as receitas são classificadas e distribuídas em categorias. Cada categoria apresenta receitas com características semelhantes. No total, o site disponibiliza treze categorias: Bolos e Tortas, Carnes, Aves, Peixes e Frutos do Mar, Saladas e Molhos, Sopas, Massas, Be-

¹<http://www.tudogostoso.com.br/>

bidas, Doces e Sobremesas, Lanches, Alimentação Saudável, Receitas com vídeos e Receitas de Chefes de cozinha. No entanto, para esta pesquisa, foram coletados dados de apenas nove categorias: Bolos e Tortas, Carnes, Aves, Peixes e Frutos do Mar, Saladas e Molhos, Sopas, Massas, Bebidas, Doces e Sobremesas. Esta escolha deu-se devido as receitas presentes nessas categorias terem características semelhantes com as receitas utilizadas em um cardápio proposto para uma refeição como o almoço considerado na pesquisa.

Buscando auxiliar os usuários, o site também disponibiliza um conversor de medidas, para facilitar caso a unidade de medida apresentada na receita diverja da unidade de medida que o usuário tem à disposição.

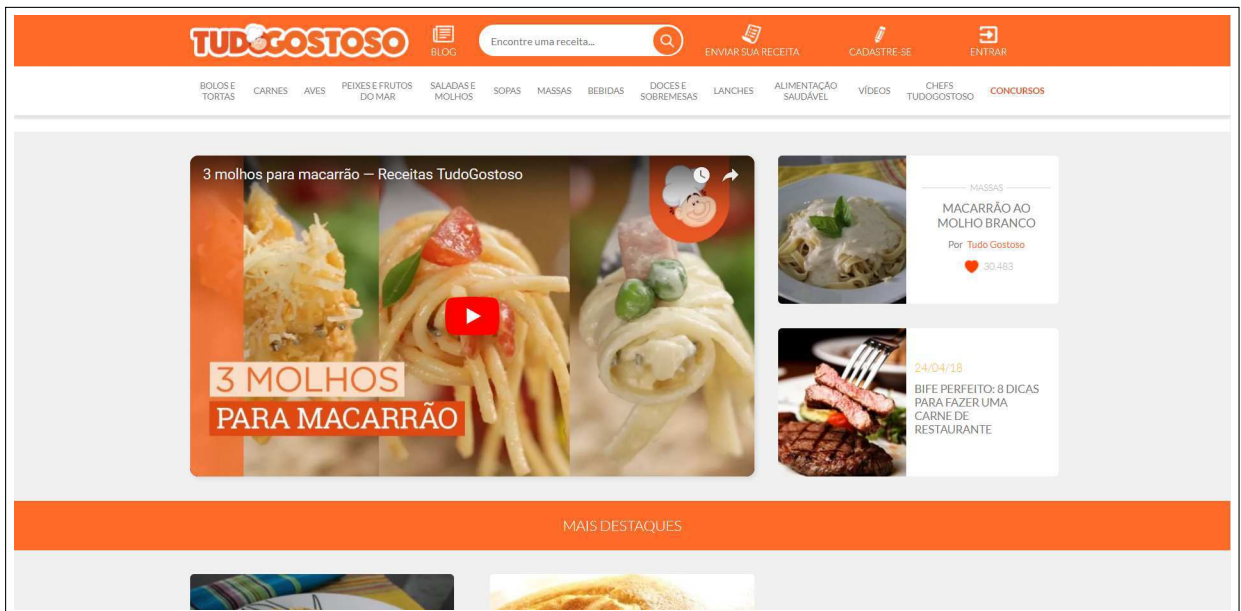


Figura 5.1: Página inicial do site de receitas culinárias Tudo Gostoso.

A coleta dos dados foi dividida em duas etapas. Na primeira fase, foram coletados os endereços (urls) das páginas com as receitas de cada uma das categorias. Na segunda fase, foram coletadas as informações de cada uma das receitas, tais como: nome da receita, duração, quantidade de porções, modo de preparo e ingredientes utilizados. Estas informações foram extraídas e armazenadas em uma base de dados no formato csv.

Após a coleta dos dados foi possível analisar algumas informações referentes às receitas e às categorias observadas. No total, foram coletadas 12.930 receitas, que estão subdivididas nas nove categorias coletadas. A categoria com menor quantidade foi a categoria sopa com

apenas 328 receitas. Já a categoria que apresenta maior número foi a Bolos e Tortas com 3.250 receitas. Na Figura 5.2 é apresentada a distribuição de receitas por categoria.

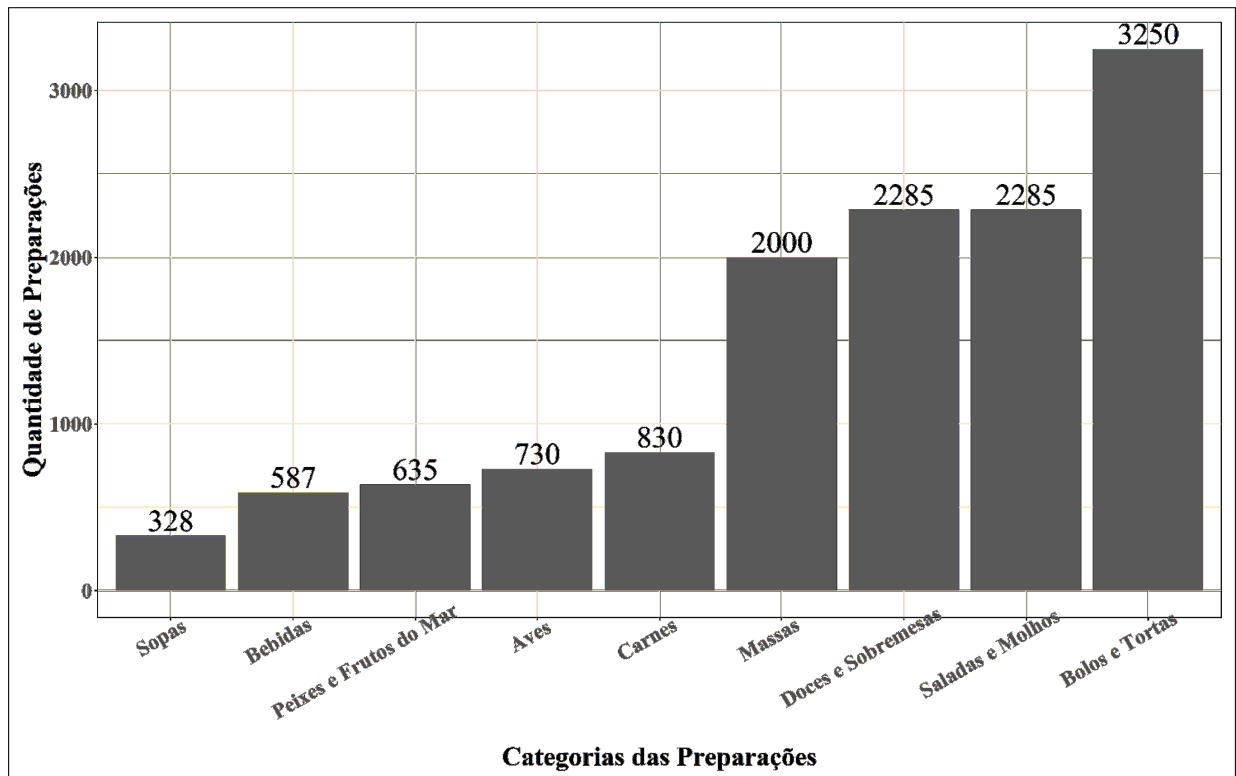


Figura 5.2: Quantidade de receitas por categoria.

5.2 Identificação dos Ingredientes e das Medidas Utilizadas

Esta seção aborda em detalhes o processo de coleta, bem como, pré-processamento e análise dos dados referentes aos ingredientes utilizados nas receitas.

5.2.1 Coleta, pré-processamento e análise dos Dados

Após a coleta e armazenamento dos dados referente às receitas, o próximo passo foi identificar os ingredientes e as respectivas quantidades utilizadas em cada receita. No site Tudo Gostoso não existe um padrão de referência para as medidas utilizadas. Conforme apresentado na Figura 5.3, em apenas uma receitas são utilizados vários tipos de medidas, fracionárias (1/2 kg), unitárias (4 dentes, 1 cebola), medidas caseiras (3 colheres), em gramas ou

mililitros (20 ml) e a gosto do usuário (1 pitada ou a gosto).



Figura 5.3: Disposição dos ingredientes no site Tudo Gostoso.

Outro ponto a ser destacado, é que para um mesmo ingrediente podem existir variações na nomenclatura. Estas variações vão desde o contexto regional, como por exemplo jabá e charque ou feijão fradinho e feijão de corda, que são diferentes nomenclaturas para o mesmo ingrediente em regiões diferentes do país; até erros ortográficos, como por exemplo amendoim (amendoim) ou acucar (açúcar). Na identificação e correção dos ingredientes, não foi utilizado nenhum processo de Stemming, para evitar que ingredientes cognatos tenham suas quantidades e seus valores nutricionais erradamente selecionados. A abordagem utilizada para lidar com essas diferenças foi utilizar um dicionário feito manualmente contendo as respectivas variações encontradas e como resposta a terminologia correta utilizada como padrão de cada ingrediente, conforme exemplo observado na Tabela 5.1.

Variações Encontradas	Terminologia Padrão
amendoim, Amendoim, amendoins	amendoim
iogute natural, iogurte natural, iogute natural	iogurte-natural
Abóbora, Moranga, Jerimum	jerimum

Tabela 5.1: Dicionário de variações de ingredientes.

Além da padronização regional e ortográfica, flexões como, plural: ovos e ovo, com letras em maiúsculo ou em minúsculo: Ovo e ovo, ou para ingredientes com mais de uma palavra como: iogurte natural para iogurte-natural ou ainda para ingredientes como açúcar que ficou como acucar, removendo assentos e cedilhas.

Junto com o dicionário de alimentos também foi utilizada uma lista de itens considerados não alimentos, para auxiliar no processo de correção e identificação dos ingredientes, conforme a Tabela 5.2. Com estas informações, buscou-se filtrar apenas os ingredientes de cada receita.

Ingredientes	Não Ingredientes
Paprica	Pacote
Queijo	Ralado
Tomate	Picado
Chocolate	Grande

Tabela 5.2: Exemplo das listas de termos utilizados para identificar os ingredientes.

Paralelamente ao reconhecimento dos alimentos foi realizado o processo de identificação e padronização das medidas utilizadas. O próprio site, Tudo Gostoso, disponibiliza um conversor de medidas, Figura 5.4, que proporciona a conversão de medidas dos ingredientes mais comuns.

Contudo, os ingredientes disponíveis no conversor disponibilizado não cobrem todos os ingredientes utilizados nas receitas, de forma que foi necessário buscar informações complementares sobre as equivalências de medidas para obter uma maior cobertura. Esta informação foi encontrada em [Pinheiro et al., 2008; Pacheco, 2011] e em [medidasuteis](https://medidasuteis.blogspot.com.br/p/medidas-caseiras-culinaria.html)², [aquinacozinha](http://www.aquinacozinha.com/tabela-de-pesos-e-medidas/)³ e [weblaranja](http://www.weblaranja.com/cozinhando/br/equivalencia_frutas_5#.WulW5ojwaMp)⁴. Por fim, as equivalências obtidas foram armazenadas para serem utilizadas posteriormente no processo de tratamento dos dados.

Após obter uma amostra representativa das várias equivalências de medidas, foi realizado, junto ao processo de identificação dos ingredientes, o processo de identificação e conversão das medidas utilizadas. Este processo ocorreu da seguinte forma: para mensurar

²<https://medidasuteis.blogspot.com.br/p/medidas-caseiras-culinaria.html>

³<http://www.aquinacozinha.com/tabela-de-pesos-e-medidas/>

⁴http://www.weblaranja.com/cozinhando/br/equivalencia_frutas_5#.WulW5ojwaMp

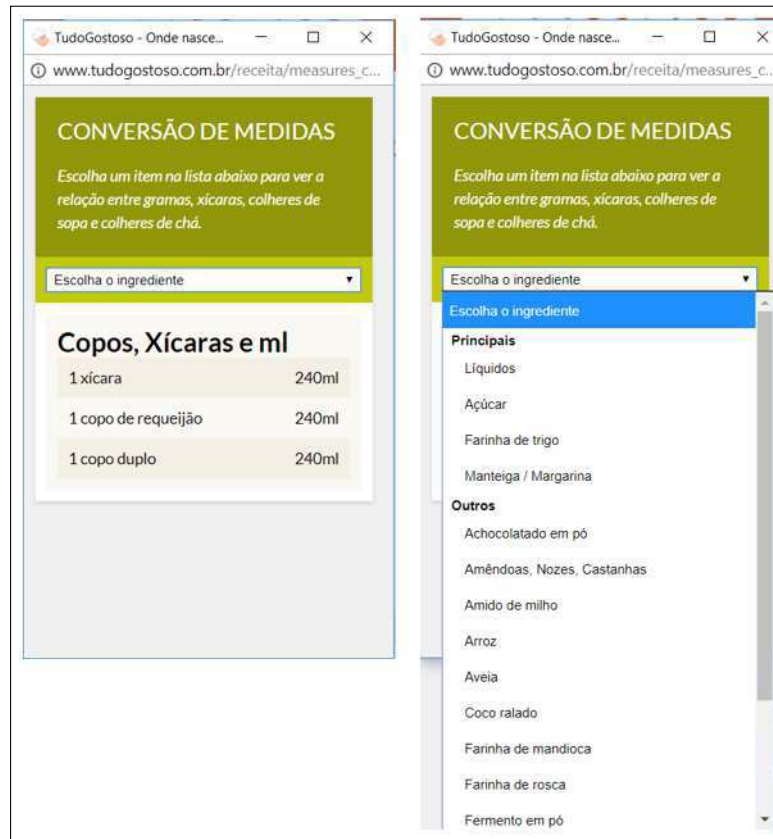


Figura 5.4: Conversor de medida disponível pelo site Tudo Gostoso.

um ingrediente como, por exemplo, açúcar, foram encontradas diversas medidas, tais como:

- Colher de sopa;
- Colher de chá;
- Xícara de chá;
- Xícara de café;
- Gramas g;
- Quilogramas Kg;
- Em unidades como, 1 kg ou 100 g;
- Em frações como, 1/2 kg ou 2/3 xícara, e;
- A gosto.

No processo, a metodologia considera identificar automaticamente o ingrediente, a medida e a quantidade descrita. Por fim, tendo estas informações, o passo seguinte faz a conversão equivalente do ingrediente, medida e quantidade encontrada no site, para gramas ou mililitros, a serem armazenados. O exemplo a seguir considera uma receita que utiliza açúcar postado da seguinte forma: 1/2 xícara de chá de açúcar. Para identificar converter e armazenar o ingrediente e a quantidade utilizada, os seguintes passos são realizados:

1. Identificar o ingrediente utilizado (açúcar);
2. Verificar a unidade de medida utilizada (xícara de chá);
3. Verificar a quantidade da unidade de medida utilizada (1/2);
4. Verificar para uma unidade de medida utilizada (xícara de chá), o equivalente em gramas, no caso (160g);
5. Verificar a proporção da quantidade utilizada em gramas, 1 xícara = 160g, logo, 1/2 xícara = 80g;
6. Após o fim do processo, o ingrediente é armazenado da seguinte forma: ingrediente = açúcar, quantidade = 80.

Após realizar a limpeza e o tratamento na base de receitas que será utilizada, foi feita uma análise nos dados com objetivo de obter conhecimento e compreensão sobre a distribuição dos dados e o relacionamento entre as receitas e suas categorias.

Inicialmente buscou-se observar informações sobre os ingredientes utilizados nas receitas. Na Figura 5.5 os ingredientes com maior destaque são os que foram encontrados com maior frequência nas receitas. Já na Figura 5.6 o inverso, aqueles com menor frequência.

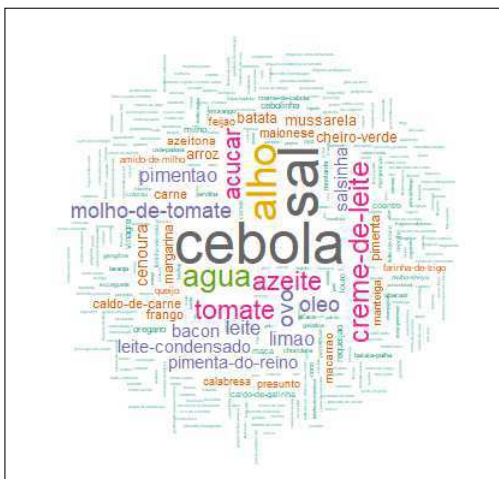


Figura 5.5: Nuvem de palavras com os ingredientes mais comuns entre receitas.

Observando a Figura 5.5, com a nuvem de ingredientes mais frequentes, alguns dos ingredientes mais comuns entre as receitas são: cebola, sal, alho e água. Este fato talvez se justifique por estes ingredientes serem comumente associados à temperos de receitas, como a cebola, o sal e o alho. Outros ingredientes como o leite e o ovo são comumente utilizados nas receitas de sobremesas.

Na Figura 5.6, a nuvem de palavras contém os ingredientes menos utilizados nas receitas.

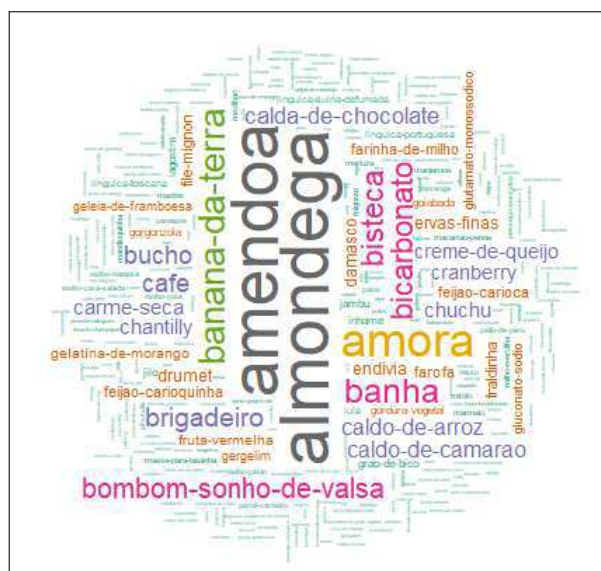


Figura 5.6: Nuvem de palavras com os ingredientes menos comuns entre receitas.

Observando os ingredientes ilustrados na Figura 5.6, talvez sejam os menos frequentes

pelo fato de serem utilizados em receitas específicas, como os ingredientes: almôndega e amêndoa. Ou ainda, em receitas de categorias como sobremesa que utiliza o bombom sonho de valsa e o brigadeiro. Na maioria dos casos são ingredientes caracterizados por sabor marcante que normalmente são utilizados como sabor principal, característicos das receitas e que não são comumente utilizados juntos em uma mesma receita.

Após verificar os ingredientes mais e menos comuns entre todas as receitas da base de dados, foi observado a frequência dos ingredientes em cada uma das categorias utilizadas na composição do cardápio conforme considerado na pesquisa: Acompanhamento Arroz, Acompanhamento Feijão, Acompanhamento Massa, Salada, Carne, Suco e Sobremesa. A Figura 5.7, mostra os ingredientes mais utilizados e a frequência que eles aparecem por categoria. Na Figura 5.7, o termo acompanhamento foi retirado para melhor visualização.

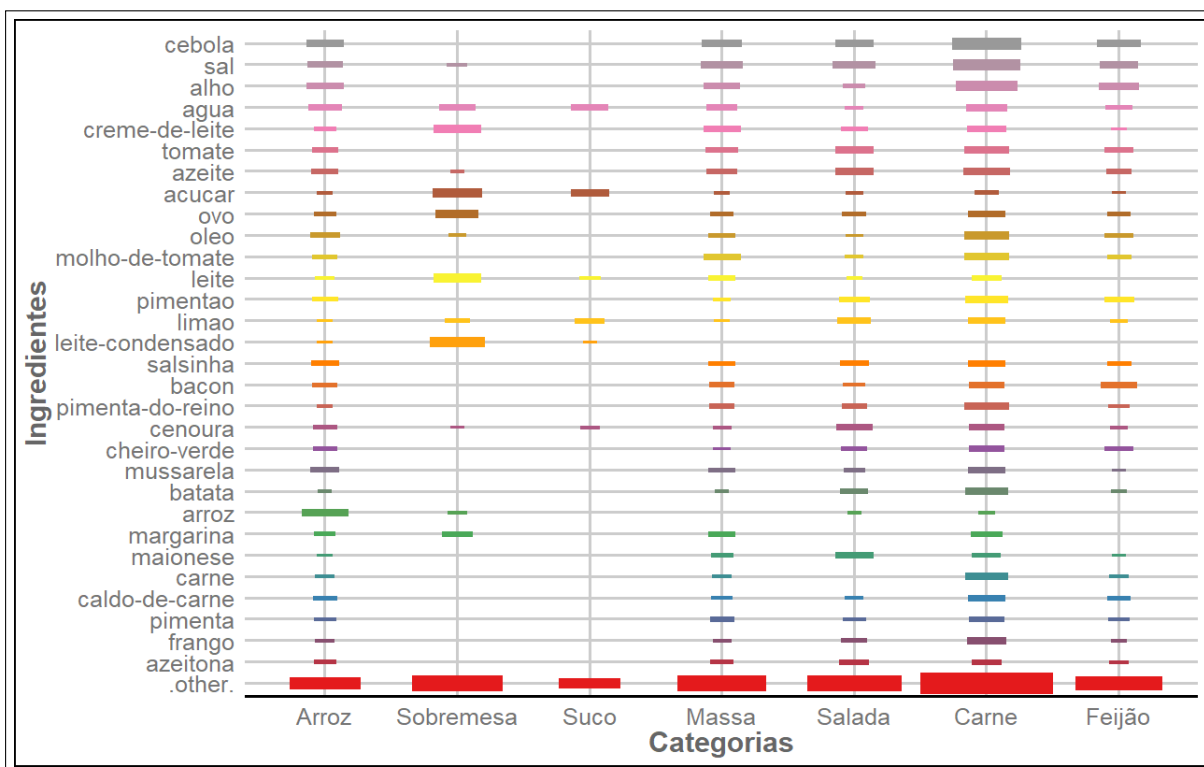


Figura 5.7: Frequência de ingredientes utilizados por categoria.

Observando as informações encontradas na Figura 5.7, as receitas das categorias que compõem o prato principal: carne, acompanhamento massa, acompanhamento feijão e acompanhamento arroz, junto com Salada, são as que utilizam a maior quantidade de ingrediente. Este fato deve ser justificado por serem receitas que costumam levar um maior

tempo de preparação e maior combinação de ingredientes. Já as categorias suco e sobremesas são caracterizados por ingredientes que normalmente harmonizam em receitas que utilizam poucos ingredientes.

5.3 Informações Nutricionais das Receitas

Esta seção aborda em detalhes o processo de identificação, coleta, preparação e análise dos dados referentes aos valores nutricionais dos ingredientes e das receitas utilizadas.

5.3.1 Coleta, pré-processamento e análise dos Dados

Após o processo de coleta e pré-processamento (limpeza, identificação, correção e armazenamento) dos dados referentes as receitas, foi dado início à fase de identificação, coleta, associação e armazenamento da informação referente aos macronutrientes dos ingredientes utilizados.

Para o processo referente as informações nutricionais, inicialmente foi feita uma lista com todos os ingredientes encontrados nas receitas armazenadas na base de dados utilizada na pesquisa. Para cada ingrediente foi considerada a quantidade de um grama ou um ml. Em seguida, com base nessa quantidade foi verificado o valor nutricional referentes aos macronutrientes considerados na pesquisa (carboidratos, gorduras e proteínas).

As informações referentes aos valores nutricionais foram obtidas por meio de uma coleta automática realizada no site Tabela de Alimentos⁵, Figura 5.8. No site, são disponibilizadas para pesquisa informações nutricionais de alimentos, tanto naturais, como frutas e hortaliças, como para produtos industrializados específicos tais como Papinha Infantil de Ameixa NESTLÉ ou como Biscoito Aveia e Mel Diet KOBBER.

⁵<http://www.tabeladealimentos.com.br/>



Figura 5.8: Informações nutricionais apresentada no site Tabela de Alimentos.

As informações nutricionais disponibilizadas, Figura 5.8, foram coletadas e armazenadas na quantidade referente a um grama de cada alimento utilizado. Este processo foi realizado para cada um dos ingredientes encontrados na base com receitas. Ao final do processo foi observado que para alguns alimentos não foram encontradas referências nutricionais, então, para estes as informações foram adicionadas manualmente, coletadas na Tabela Brasileira de Composição de Alimentos, TACO [em Alimentação, 2004].

Após coleta e associação realizada, foi observada a distribuição das quantidade dos macronutrientes nos alimentos utilizados nas receitas, conforme ilustrado na Figura 5.9.

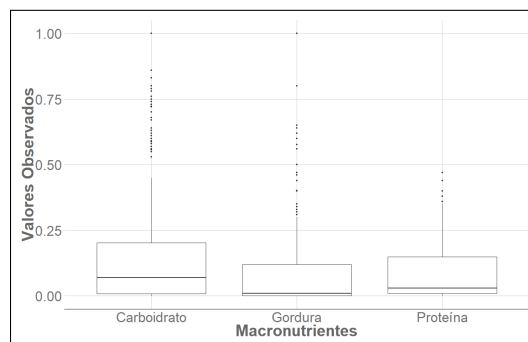


Figura 5.9: Boxplot com distribuição nutricional por alimento.

Com os resultados apresentados na Figura 5.9, foi observado que as medianas dos macronutrientes, para a quantidade de uma grama, têm valores próximos umas das outras. E, a maior parte da distribuição dos valores estão entre 0 e 0,25 grama do respectivo macronutriente por grama de alimento. Também foi verificado que alguns alimentos apresentaram valores acima de 0,75, o que em comparação aos demais, são valores bem discrepantes. Os

três alimentos com maiores valores em cada um dos macronutrientes são apresentados na Figura 5.10, com os respectivos valores de cada um.

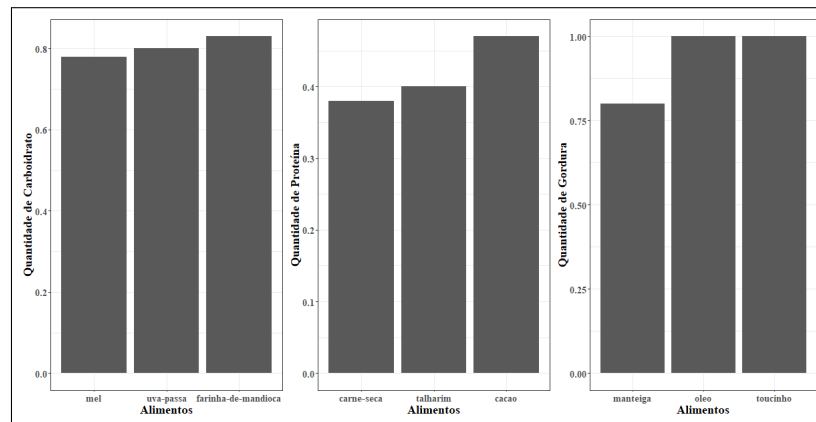


Figura 5.10: Alimentos que apresentam maior quantidade de macronutrientes.

Na Figura 5.10, foram observados os três alimentos que apresentam maiores valores em cada um dos macronutrientes utilizados na pesquisa. Nela, é possível verificar que os alimentos em destaque são comumente associados aos macronutrientes indicados no gráfico.

5.4 Cestas de Compras

Esta seção aborda em detalhes o processo de coleta, pré-processamento e análise dos dados referentes as cestas de compras utilizadas nesta pesquisa.

5.4.1 Coleta, pré-processamento e análise dos Dados

A base de dados com amostra de cestas de compras contém 28 exemplares de cestas. Estas, foram obtidos por meio de coleta pessoal, incluem cestas para apenas um usuário e para famílias, e serviram de base nos testes. Para compor a base de dados, foram considerados apenas os itens alimentares (Ingredientes), por este motivo, foram removidos itens relativos a higiene pessoal ou limpeza, por exemplo. Como resultado, a base de dados final, inclui um campo com o identificador da cesta, um com os ingredientes e outro com as respectivas quantidades em unidade de medida (g, ml).

Inicialmente, o pré-processamento realizado na base com cestas de compras foi o mesmo utilizado na base de receitas tanto para identificar os alimentos bem como para identificar e converter as medidas utilizadas, quando necessário. Terminada a etapa de limpeza e pré-processamento da base, foi verificado, por meio do histograma apresentado na Figura 5.11, a distribuição da quantidade de alimentos adquiridos nas cestas de compras.

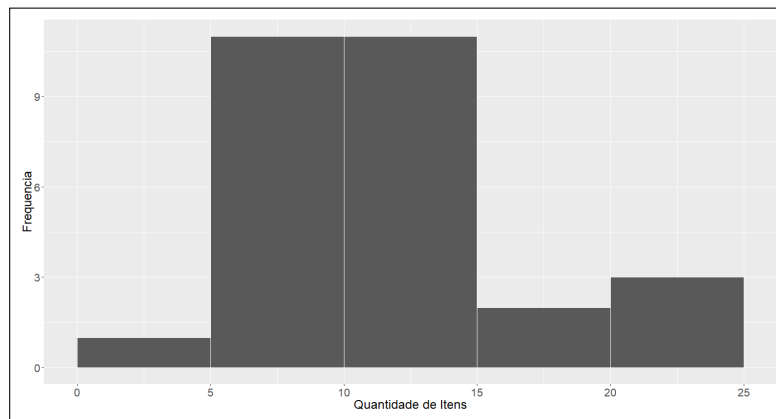


Figura 5.11: Histograma com os ingredientes nas cestas de compras.

Com os resultados obtidos com o histograma, Figura 5.11, observou-se que a quantidade de itens nas cestas variam entre zero e vinte e cinco. Além disso, a maioria das observações estão entre 5 e 15 itens. Outro ponto, é que a concentração à direita é maior que a concentração à esquerda, indicando uma possível assimetria positiva na distribuição da amostra utilizada. Para verificar a significância foi utilizado Wilcoxon com 95% de confiança.

Para verificar a frequência dos alimentos nas cestas de compras, foi utilizado nuvens de palavras. Na Figura 5.12(a) são ilustrados os alimentos comumente adquiridos. Já na Figura 5.12(b) estão os que aparecem em menor frequência.



(a) Mais adquiridos.

(b) Menos adquiridos.

Figura 5.12: Presença de alimentos nas cestas de compras.

As nuvens de palavras ilustradas na Figura 5.12 foram utilizadas para a frequência dos alimentos nas cestas. Na Figura 5.12(a) é possível observar que macarrão, molho de tomate, óleo, café, fubá, arroz, feijão, são alimentos comumente adquiridos. Já amido de milho alface, açúcar, cenoura, atum e canela, são os menos frequentes, pois estão com maior destaque na Figura 5.12(b), que ilustra os alimentos com menor aquisição.

Além da frequência que os alimentos aparecem nas cestas, houve a curiosidade de verificar se os mais adquiridos também são os comprados em maior quantidade nas cestas. Na Figura 5.13 é ilustrado os alimentos e as respectivas quantidades adquiridas.

Ao analisar os resultados apresentados na Figura 5.13, foi possível verificar que as quantidades adquiridas estão, em maior parte, concentradas entre cem gramas e um mil gramas. Foi observado também que os alimentos açúcar e arroz tiveram aquisições semelhantes próximas de dez mil gramas, mas, arroz está junto do conjunto de alimentos mais frequentes, já açúcar está na lista dos alimentos menos adquiridos.

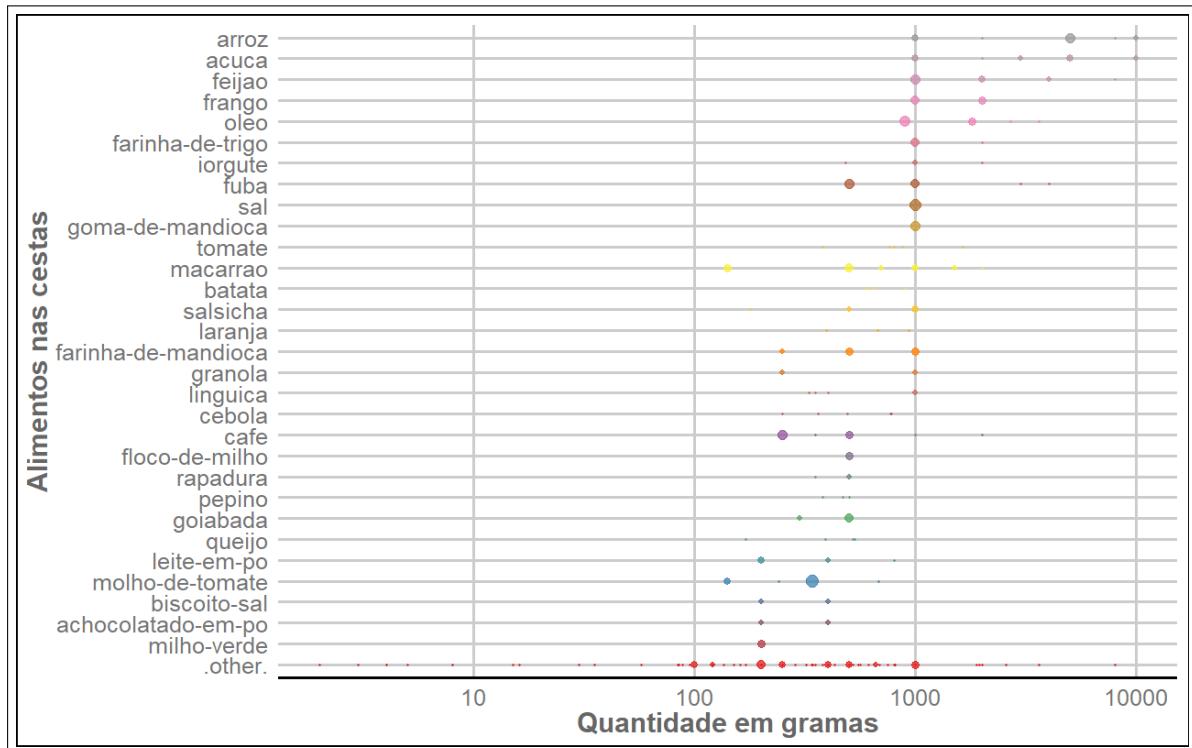


Figura 5.13: Quantidade de alimentos adquirida nas cestas de compras.

Capítulo 6

Modelo de Otimização

Neste capítulo será apresentado em detalhe o modelo proposto, os experimentos e os resultados encontrados.

6.1 Representação da solução

O objetivo deste trabalho consiste em propor um modelo para otimizar o planejamento de cardápios considerando os aspectos: (i) qualidade nutricional; (ii) harmonia e (iii) cobertura, que utilize a maior quantidade de ingredientes à disposição do usuário. Com o intuito de atender a todos estes requisitos foi utilizada a metodologia apresentada na Figura 6.1.

O modelo proposto tem como entrada do usuário uma lista contendo os ingredientes à disposição com as respectivas quantidades, e o número de pessoas (porções) que o cardápio deverá atender. O conjunto de receitas utilizadas fazem parte da entrada do sistema. A partir destas informações, o modelo cria aleatoriamente a população inicial de cardápios com $n = 100$, considerando referências encontrados na literatura (cf. Seção 3.2.2). Cada indivíduo presente na população é composto por sete receitas. A partir da população inicial, o modelo avalia a aptidão de cada indivíduo utilizando as funções de avaliação propostas neste trabalho: Cobertura de Ingredientes (cf. Seção 3.2.3), Qualidade Nutricional (cf. Seção 3.2.3) e Harmonia do cardápio (cf. Seção 3.2.3). No passo seguinte, são selecionados os n melhores cardápios, de modo que a soma da cobertura dos n cardápios selecionados não seja inferior a 50% dos ingredientes na despensa. Por fim, são recomendados os n cardápios selecionados.

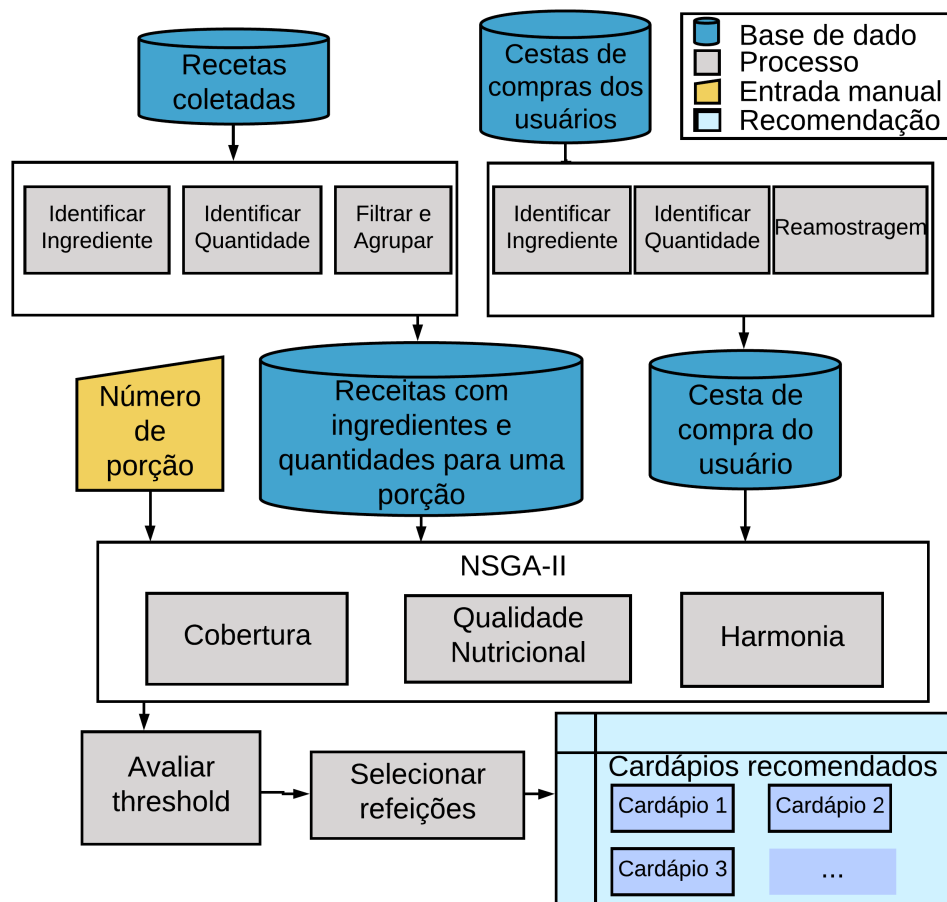


Figura 6.1: Representação da metodologia utilizada.

6.1.1 Experimentos

Cestas de compras

Neste trabalho, cada cesta de compra representa a despensa de um usuário. As amostras foram obtidas por meio de coleta pessoal e incluem representações de usuários individuais e de compras familiares. A amostra inicial tinha um total de 28 cestas de compras. Nesta base, foi realizado o tratamento descrito na seção 5.4.1. Após o pré-processamento e análise dos dados, buscando ter uma maior quantidade e variedade de cestas para serem utilizadas durante os testes e análises foi feita uma re-amostragem resultando em uma amostra com 1.000 cestas. Para obter maior diversidade entre as cestas, o processo de re-amostragem foi feito da seguinte maneira. Foram sorteadas, aleatoriamente, duas cestas de compras, em seguida uma destas cestas recebe um número aleatório de novos ingredientes, distintos, contidos na outra cesta. Em seguida, cada um destes novos ingredientes tem sua quantidade

multiplicada por um número na faixa [0.5, 1.5]. Portanto, as quantidades são reduzidas, expandidas ou inalteradas. Esse processo foi repetido até as 1.000 cestas serem produzidas.

Receitas utilizadas

Após o procedimento apresentado na seção 5.1, com informações sobre a base de receitas que foram utilizadas para compor o cardápio afim de garantir as características das receitas de cada categoria, bem como a qualidade nutricional correta, foi realizada uma análise manual comparando as características das receitas e as categorias a qual elas pertencem. Ao final foram consideradas apenas 742 receitas distribuídas conforme apresentado na Tabela 6.1.

Categoria	Quantidade de receitas
Carne	251
Acompanhamento massa	84
Acompanhamento arroz	62
Acompanhamento Feijão	72
Salada	89
Suco	59
Sobremesa	125

Tabela 6.1: Quantidade de receitas consideradas em cada uma das categorias

O número de receitas apresentados na Tabela 6.1, representa apenas uma amostra das receitas encontradas no TudoGostoso. Esta amostra, considera apenas as receitas completas, que foi possível identificar corretamente todos os ingredientes e quantidades encontradas no site. Além disso, com as mesmas nomenclaturas dos ingredientes encontrados nas bases de dados com as informações nutricionais. Buscando garantir a corretude dos dados, para as 742 receitas utilizadas, as informações foram conferidas manualmente.

Por fim, com base no referencial teórico e nos objetivos levantados, esta etapa do trabalho visa responder a pergunta: **é possível otimizar refeições e sugerir cardápios ao consumidor que atendam às necessidades nutricionais e que sejam agradáveis as preferências palatáveis do consumidor?**

6.1.2 Cobertura dos Ingredientes

Neste trabalho, um dos objetivos é recomendar cardápios fazendo o bom uso dos ingredientes disponíveis na despensa. Dessa forma, para esse objetivo, buscamos encontrar a combinação que maximize o valor da função objetivo de Cobertura (cf. Seção 3.2.3).

Após realizar os testes descritos na seção 6.1.1, foram obtidos os resultados ilustrados na Figura 6.2. Foi realizado uma comparação com um modelo que realiza o planejamento dos cardápios aleatoriamente, mas que mantém a seleção dos cardápios considerando o uso de pelo menos 50% dos ingredientes.

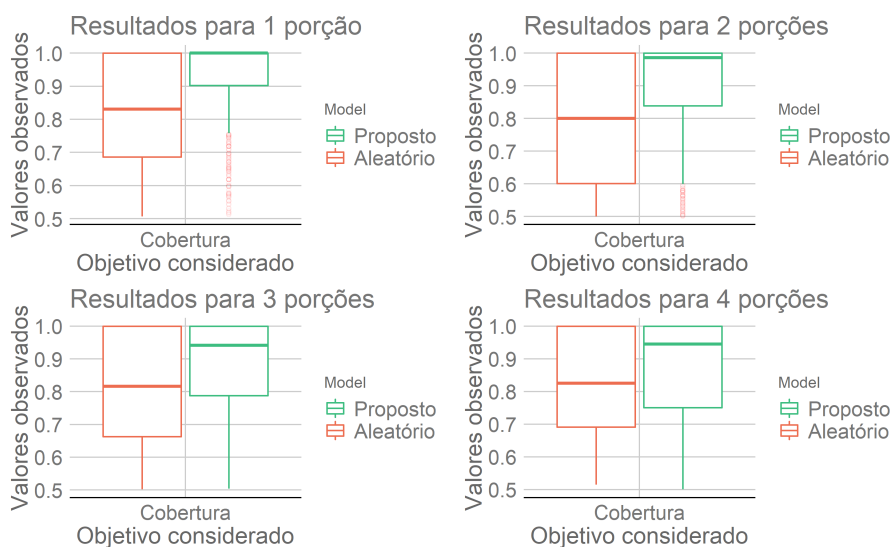


Figura 6.2: Avaliação da cobertura.

Na Figura 6.2, são ilustrados os resultados referentes à cobertura. Na Figura 6.2, são ilustrados os resultados dos testes realizados sob o conjunto de 1.000 cestas de compras. Ela está dividida em quatro pares de boxplots. Cada par representa os testes para uma quantidade de porção, considerando cenários entre 1 e 4 porções.

Os resultados indicam que com a abordagem utilizada é possível recomendar cardápios para o almoço com cobertura maior dos ingredientes contidos na despensa do usuário. Testes Wilcoxon mostram que, com 95% de confiança, em comparação com a linha de base aleatória, as distribuições são significativamente diferentes.

6.1.3 Qualidade Nutricional

Planejar um cardápio adequadamente de forma a atender todas as necessidades nutricionais esperadas, talvez seja uma atividade impraticável para a maioria dos consumidores. Com o objetivo de atender as necessidades nutricionais e realizar o planejamento do cardápio de acordo com as condições estabelecidas, buscou-se encontrar a combinação que maximize a função objetivo referente a qualidade nutricional (cf. Seção 3.2.3), e assim, reduza o erro nutricional da refeição.

Os resultados mostram que os cardápios recomendados estão, em grande maioria, com valores nutricionais dentro da faixa esperada para o almoço. Conforme ilustrado na Figura 6.3, comparando-o com cardápios planejado de modo aleatório.

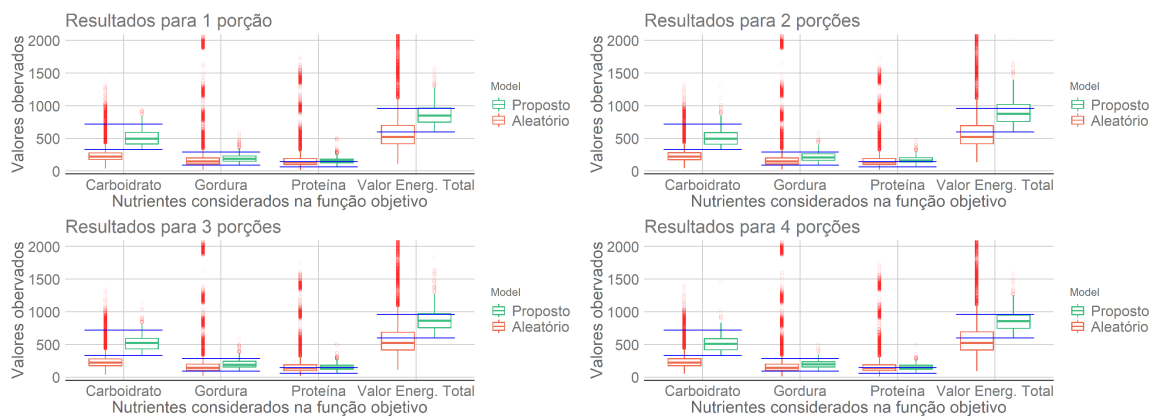


Figura 6.3: Avaliação da qualidade nutricional.

Os resultados experimentais indicaram que a abordagem utilizada permite recomendar refeições, para o almoço, atendendo as necessidades nutricionais dos macronutrientes: proteína, carboidrato e gordura total. E, ao mesmo tempo, proporcionar uma boa harmonia e um bom uso dos ingredientes na cesta de compra.

Os testes foram realizados considerando as 1.000 cestas de compras. Os resultados são apresentados na Figura 6.3 e estão divididos em quatro pares de boxplots. Cada par representa uma quantidade de porção, considerando cenários entre 1 e 4 porções.

Comparações com a linha de base aleatória mostraram que as distribuições são significativamente diferentes para o objetivo nutricional, com 95% de confiança com testes Wilcoxon. A maioria das refeições recomendadas encontram-se dentro da faixa desejada, embora a abordagem aleatória tenha um comportamento errático como esperado.

Nos resultados apresentados na Figura 6.3, foi observado que em todos os cenários houve um pequeno excesso sobre a quantidade máxima esperada para o macronutriente proteína. Então, surgiu a hipótese que este fato ocorre devido a quantidade de proteínas necessárias para um dia estar em sua maior parte concentrada na refeição do almoço, decorrente dos alimentos que compõem esta refeição no Brasil.

Para testar a hipótese, considerou-se que a quantidade mediana de proteína presente nos cardápios, possíveis de serem montados com a base de receitas utilizadas, está próxima à quantidade máxima desejada para a refeição.

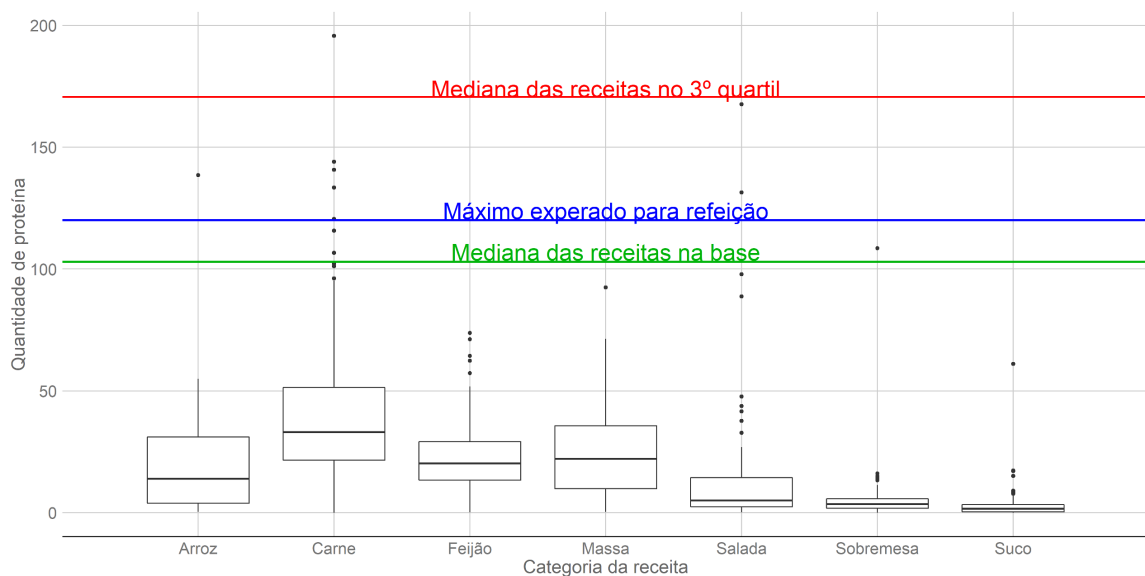


Figura 6.4: Distribuição da quantidade de proteína nas receitas que compõem a base de dados.

Os resultados apresentados na Figura 6.4, mostram que o valor proteico de um cardápio, somando as medianas de cada categoria de receita, está bem próximo (linha verde) ao valor máximo (linha azul) esperado para uma refeição. Considerando a quantidade de proteína contida nas receitas do terceiro quartil, foi observado que a mediana obtida tem um valor bem superior ao limite esperado.

6.1.4 Harmonia

Sabemos que nutricionistas são os profissionais especializados em praticas dietéticas e nutrição humana. Contudo, uma das maiores dificuldades, até para especialistas, é o planejamento

de cardápios que proporcione ao consumidor, além de uma refeição com boa qualidade nutricional, a inclusão da palatabilidade, proporcionando ao consumidor refeições saborosas com alimentos de sua preferência e agradáveis ao seu paladar.

Para atender esse objetivo, buscou-se encontrar a combinação que maximize a função objetivo referente a harmonia (cf. Seção 3.2.3) entre os ingredientes que compõem o cardápio, e assim, proporcionar maior satisfação palatável ao usuário.

Após realizar os testes descritos na seção 6.1.1, foram obtidos os resultados ilustrados na Figura 6.5, onde são comparados com os resultados de um modelo aleatório.

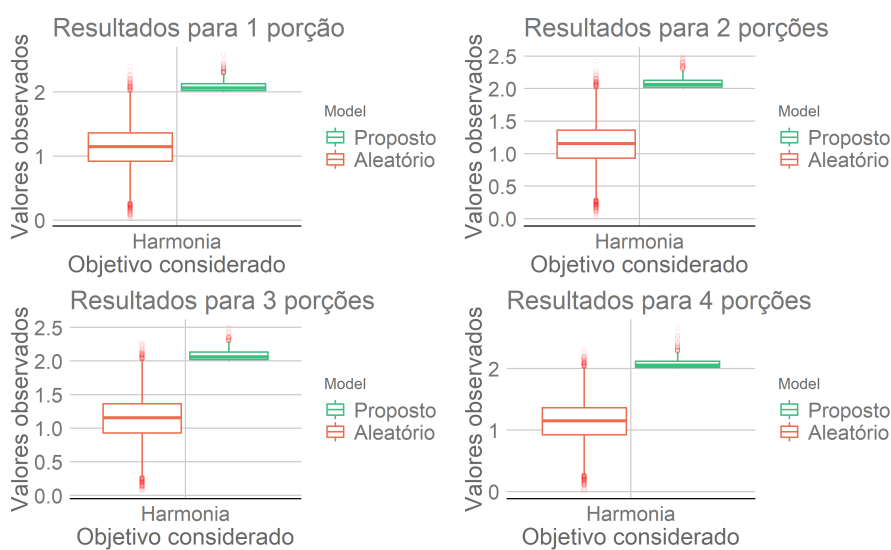


Figura 6.5: Representação Simplificada do Modelo Proposto

Na Figura 6.5, são apresentados os resultados referentes à harmonia. Nela, contém os boxplots com cardápios planejados para o almoço. A figura, é dividida em quatro pares de boxplots, e contém os resultados para planejamentos com quantidades entre 1 e 4 porções, com testes realizados sob o conjunto de 1.000 cestas de compras.

Os resultados, mostram que, com 95% de confiança, é possível recomendar cardápios mais harmônicos, segundo resultados obtidos com a função de harmonia (cf. 3.2.3), fazendo o bom uso dos alimentos a disposição do usuário e proporcionar refeições que atendam as necessidades nutricionais consideradas nesta pesquisa.

Em comparação com a linha de base aleatória, as distribuições são significativamente diferentes. A abordagem proposta consegue, na grande maioria dos casos, planejar refeições mais harmônicas, conforme métrica utilizada na função de harmonia (cf. 3.2.3), que o mo-

delo utilizado para comparação e, ainda assim, fazer o bom aproveitamento de ingredientes disponíveis na despensa, sem perder a qualidade nutricional das refeições.

6.2 Considerações Finais

Neste capítulo foi apresentado a abordagem multiobjetivo para sistemas de recomendação de cardápio com foco em maximizar a cobertura de alimentos na despensa, a harmonia e a qualidade nutricional da refeição. Foram discutidos os procedimentos e a avaliação dos experimentos realizados. Os resultados obtidos foram exibidos juntamente com uma discussão acerca destes resultados.

Os resultados aqui apresentados foram publicados no Health Recommender Systems 2018 - The International Workshop on Health Recommender Systems co-located with the 12th ACM Conference on Recommender Systems (RecSys), Vancouver, Canadá, [Caldeira et al., 2018].

Capítulo 7

Conclusões e Trabalhos Futuros

Neste trabalho, foi proposta uma nova abordagem para recomendar cardápios para o almoço, sendo cardápio definido como um conjunto de receitas. Como solução para o problema de planejamento do cardápio, foi considerada uma abordagem utilizando otimização multiobjetivo, onde nutrientes saudáveis, harmonização e cobertura de ingredientes na despensa são considerados simultaneamente. Na solução foi utilizado o algoritmo NSGA-II, objetivando atender simultaneamente aos objetivos considerados.

Os resultados observados foram satisfatórios e mostram que é possível otimizar uma refeição como o almoço fornecendo diversidade, sabor e qualidade nutricional fazendo o bom uso dos ingredientes disponíveis. No modelo proposto foram considerados somente os padrões culturais e de saúde brasileiro. Porém, ele pode acomodar facilmente qualquer cultura de alimentos e valores de referência de saúde. Os experimentos realizados utilizaram dados reais de receitas e valores nutricionais, e sintéticos de despensas de usuários, que confirmam a solidez e qualidade da abordagem.

Como trabalho futuro, pretende-se comparar a abordagem com conceituadas propostas com propósitos relacionados, especificamente os trabalhos de [Ahn et al., 2011] e [Chollissodin and Dewi, 2017]. Outra finalidade é utilizar o modelo para realizar experimentos com outras coleções de receitas, como a Allrecipes ¹ e/ou com a Kochbar ², que são grandes plataformas de receitas dos Estados Unidos e da Europa, respectivamente. Além disso, pretende-se empregar padrões diferentes, conforme definido pela Organização Mundial de

¹Allrecipes.com

²<https://www.kochbar.de/>

Saúde (OMS) e pela Food Standard Agency (FSA) no Reino Unido. Finalmente, também pretende-se realizar estudos com usuários para investigar aspectos qualitativos da abordagem.

Bibliografia

- [knu, 2018] (2018). Practical guide to genetic algorithms. <http://www.dracica.sk/diplom/lit/practga.html>. Acessado: 19 julho 2018.
- [Achananuparp and Weber, 2016] Achananuparp, P. and Weber, I. (2016). Extracting food substitutes from food diary via distributional similarity. *arXiv preprint arXiv:1607.08807*.
- [Ahn et al., 2011] Ahn, Y.-Y., Ahnert, S. E., Bagrow, J. P., and Barabási, A.-L. (2011). Flavor network and the principles of food pairing. *Scientific reports*, 1:196.
- [BERNARDES, 1997] BERNARDES, S. M. (1997). Redescobrimdo os alimentos. *São Paulo: Editora Loyola: Faculdades Integradas São Camilo*.
- [Caldeira et al., 2018] Caldeira, J., Oliveira, R. S., Marinho, L., and Trattner, C. (2018). Healthy menus recommendation: Optimizing the use of the pantry. In *Proceedings of the 3rd International Workshop on Health Recommender Systems (HealthRecSys'18) co-located with the 12th ACM Conference on Recommender Systems (ACM RecSys 2018)*, pages 2–7, Vancouver, BC, Canada.
- [Chambers, 2001] Chambers, L. (2001). *Genetic algorithms*. Citeseer.
- [Chifu et al., 2017] Chifu, V., Bonta, R., Chifu, E. S., Salomie, I., and Moldovan, D. (2017). Particle swarm optimization based method for personalized menu recommendations. In *International Conference on Advancements of Medicine and Health Care through Technology; 12th-15th October 2016, Cluj-Napoca, Romania*, pages 232–237. Springer.
- [Cholissodin and Dewi, 2017] Cholissodin, I. and Dewi, R. K. (2017). Optimization of healthy diet menu variation using pso-sa. *Journal of Information Technology and Computer Science*, 2(1):28–40.

- [de Castro, 2001] de Castro, R. E. (2001). *Otimização de estruturas com multi-objetivos via algoritmos genéticos*. PhD thesis, Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil.
- [De Choudhury et al., 2016] De Choudhury, M., Sharma, S., and Kiciman, E. (2016). Characterizing dietary choices, nutrition, and language in food deserts via social media. In *Proceedings of the 19th acm conference on computer-supported cooperative work & social computing*, pages 1157–1170. ACM.
- [De Jong, 1975] De Jong, K. A. (1975). *An Analysis of the Behavior of a Class of Genetic Adaptive Systems*. PhD thesis, University of Michigan, Ann Arbor, MI, USA. AAI7609381.
- [Deb et al., 2002] Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., and Meyarivan, T. (2002). A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: Nsga-ii. *IEEE transactions on evolutionary computation*, 6(2):182–197.
- [Diez Garcia, 2003] Diez Garcia, R. W. (2003). Reflexos da globalização na cultura alimentar: considerações sobre as mudanças na alimentação urbana. *Revista de Nutrição*.
- [do Trabalhador, 2006] do Trabalhador, P. d. A. (2006). Portaria interministerial nº. 66, de 25 de agosto de 2006. *Publicada no DOU de, 28*.
- [D’Ambrósio et al., 2011] D’Ambrósio, N. D., Keppk, I. A., Santos, T. S. d., Scaciotti, Y. d. S., Abreu, E. S. d., and Smomy, R. F. (2011). Análise da adequação nutricional em um restaurante “por quilo” na zona sul de são paulo.
- [Elsweiler and Harvey, 2015] Elsweiler, D. and Harvey, M. (2015). Towards automatic meal plan recommendations for balanced nutrition. In *Proceedings of the 9th ACM Conference on Recommender Systems*, pages 313–316. ACM.
- [em Alimentação, 2004] em Alimentação, P. (2004). Tabela brasileira de composição de alimentos. In *Tabela brasileira de composição de alimentos*.
- [Farrell et al., 2012] Farrell, R. G., Danis, C. M., Ramakrishnan, S., and Kellogg, W. A. (2012). Intrapersonal retrospective recommendation: lifestyle change recommendations using stable patterns of personal behavior. In *Proceedings of the First International*

- Workshop on Recommendation Technologies for Lifestyle Change (LIFESTYLE 2012)*, Dublin, Ireland, page 24.
- [Ferreira et al., 2013] Ferreira, W. M., da Silva, A. P. C., Benevenuto, F., and Merschmann, L. H. (2013). Comer, comentar e compartilhar: Análise de uma rede de ingredientes e receitas. In *Proceedings of the X Brazilian Symposium in Collaborative Systems*, page 120. Sociedade Brasileira de Computação.
- [Freyne and Berkovsky, 2010] Freyne, J. and Berkovsky, S. (2010). Recommending food: Reasoning on recipes and ingredients. In *International Conference on User Modeling, Adaptation, and Personalization*, pages 381–386. Springer.
- [Gaál et al., 2005] Gaál, B., Vassányi, I., and Kozmann, G. (2005). A novel artificial intelligence method for weekly dietary menu planning. *Methods Archive*, 44(5):655–664.
- [Gandomi et al., 2013] Gandomi, A. H., Yang, X.-S., Talatahari, S., and Alavi, A. H. (2013). *Metaheuristic applications in structures and infrastructures*. Newnes.
- [Ge et al., 2015] Ge, M., Ricci, F., and Massimo, D. (2015). Health-aware food recommender system. In *Proceedings of the 9th ACM Conference on Recommender Systems*, pages 333–334. ACM.
- [Genéticos, 2005] Genéticos, U. A. (2005). *Alonso Joaquin Juvinao Carbono*. PhD thesis, PUC-Rio.
- [Guerra, 2008] Guerra, C. (2008). Otimização paramétrica de estruturas treliçadas por algoritmos genéticos. Master’s thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- [Haupt and Haupt, 2004] Haupt, R. L. and Haupt, S. E. (2004). *Practical genetic algorithms*. John Wiley & Sons.
- [Jhajharia et al., 2013] Jhajharia, S., Mishra, S., and Bali, S. (2013). Public key cryptography using neural networks and genetic algorithms. In *Contemporary Computing (IC3), 2013 Sixth International Conference on*, pages 137–142. IEEE.

- [Kashima et al., 2009] Kashima, T., Matsumoto, S., and Ishii, H. (2009). Development of web-based menu planning support system and its solution using genetic algorithm. In *AIP Conference Proceedings*, volume 1174, pages 56–68. AIP.
- [Kasriel-Alexander, 2017] Kasriel-Alexander, D. (2017). *Top 10 global consumer trends for 2017*. Euromonitor International.
- [Kusmierczyk et al., 2015] Kusmierczyk, T., Trattner, C., and Nørnvåg, K. (2015). Temporal patterns in online food innovation. In *Proceedings of the 24th international conference on world wide web*, pages 1345–1350. ACM.
- [Laufer et al., 2015] Laufer, P., Wagner, C., Flöck, F., and Strohmaier, M. (2015). Mining cross-cultural relations from wikipedia: a study of 31 european food cultures. In *Proceedings of the ACM Web Science Conference*, page 3. ACM.
- [Lebib et al., 2017] Lebib, F. Z., Mellah, H., and Drias, H. (2017). Enhancing information source selection using a genetic algorithm and social tagging. *International Journal of Information Management*, 37(6):741–749.
- [Lobato et al., 2008] Lobato, F. S. et al. (2008). Otimização multi-objetivo para o projeto de sistemas de engenharia. Master’s thesis, Universidade Federal de Uberlândia.
- [Lopes et al., 2017] Lopes, F. S., Lima, V. M., and Martins, F. A. (2017). Avaliação da adequação nutricional das refeições distribuídas no restaurante popular de rio branco, ac. *Journal of Amazon Health Science*, 2(2).
- [Martins et al., 2011] Martins, M. A. d. L. et al. (2011). Otimização da configuração de risers verticais complacentes. Master’s thesis, Universidade Federal de Alagoas.
- [Mattos, 2017] Mattos, P. F. (2017). Avaliação da adequação do almoço de uma unidade de alimentação e nutrição (uan) ao programa de alimentação do trabalhador (pat) evaluation of lunch adequation in a feeding and nutrition unit (fnu) to the worker feeding program (wfp). *Cadernos UniFOA*, 4(7):54–59.
- [Metawa et al., 2017] Metawa, N., Hassan, M. K., and Elhoseny, M. (2017). Genetic algorithm based model for optimizing bank lending decisions. *Expert Systems with Applications*, 80:75–82.

- [Ministério da Saúde, 2008] Ministério da Saúde, D. d. A. B. S. d. A. à. S. (2008). Guia alimentar para a população brasileira: promovendo a alimentação saudável.
- [Ministério da Saúde, 2014] Ministério da Saúde, D. d. A. B. S. d. A. à. S. (2014). Guia alimentar para a população brasileira.
- [Moreira et al., 2015] Moreira, R. P. C., Wanner, E. F., and Martins, F. V. C. (2015). Algoritmo genético para elaboração de cardápios nutricionais para alimentação escolar. In *Anais do 12º Congresso Brasileiro de Inteligência Computacional*.
- [Mou et al., 2005] Mou, C., Peng, L., Yao, D., and Xiao, D. (2005). Image reconstruction using a genetic algorithm for electrical capacitance tomography. *Tsinghua Science & Technology*, 10(5):587–592.
- [Mozaffarian, 2016] Mozaffarian, D. (2016). Dietary and policy priorities for cardiovascular disease, diabetes, and obesity. *Circulation*, 133(2):187–225.
- [Méndez and Euphrasio, 2017] Méndez, G. and Euphrasio, A. (2017). *Brazilian Consumer Trends 2017*.
- [Namen and Bornstein, 2004] Namen, A. A. and Bornstein, C. T. (2004). Uma ferramenta para avaliação de resultados de diversos modelos de otimização de dietas. *Pesquisa Operacional*, 24(3):445–465.
- [Nestle, 2013] Nestle, M. (2013). *Food politics: How the food industry influences nutrition and health*, volume 3. Univ of California Press.
- [Ngo, 2016] Ngo, H. C. (2016). *A menu planning model using hybrid genetic algorithm and fuzzy reasoning: A study on Malaysian geriatric cancer patients*. PhD thesis, Universiti Sains Malaysia.
- [Okubo et al., 2015] Okubo, H., Sasaki, S., Murakami, K., Yokoyama, T., Hirota, N., Notsu, A., Fukui, M., and Date, C. (2015). Designing optimal food intake patterns to achieve nutritional goals for japanese adults through the use of linear programming optimization models. *Nutrition journal*, 14(1):57.

- [Oliveira and Mendes, 2008] Oliveira, J. F. and Mendes, R. d. C. D. (2008). Avaliação da qualidade nutricional do cardápio do centro de educação infantil (cei) do município de douradina–ms. *Interbio*, 2(1):11–21.
- [Pacheco, 2011] Pacheco, M. (2011). Tabela de equivalentes, medidas caseiras e composição química dos alimentos. In *Tabela de equivalentes, medidas caseiras e composição química dos alimentos*.
- [Papadimitriou and Steiglitz, 1998] Papadimitriou, C. H. and Steiglitz, K. (1998). *Combinatorial optimization: algorithms and complexity*. Courier Corporation.
- [Pattnaik et al., 1998] Pattnaik, S., Mohan, S., and Tom, V. (1998). Urban bus transit route network design using genetic algorithm. *Journal of transportation engineering*, 124(4):368–375.
- [Pinheiro et al., 2008] Pinheiro, A. B. V., Lacerda, E. M. d. A., Benzecry, E. H., Gomes, M. C. d. S., and Costa, V. M. d. (2008). Tabela para avaliação de consumo alimentar em medidas caseiras. In *Tabela para avaliação de consumo alimentar em medidas caseiras*.
- [Pop et al., 2015] Pop, C. B., Chifu, V. R., Salomie, I., Prigoana, C., Boros, T., and Moldovan, D. (2015). Generating healthy menus for older adults using a hybrid honey bees mating optimization approach. In *Symbolic and Numeric Algorithms for Scientific Computing (SYNASC), 2015 17th International Symposium on*, pages 452–459. IEEE.
- [Rao and Rao, 2009] Rao, S. S. and Rao, S. S. (2009). *Engineering optimization: theory and practice*. John Wiley & Sons.
- [Rokicki et al., 2015] Rokicki, M., Herder, E., and Demidova, E. (2015). What’s on my plate: Towards recommending recipe variations for diabetes patients. In *UMAP Workshops*.
- [Said and Bellogín, 2014] Said, A. and Bellogín, A. (2014). You are what you eat! tracking health through recipe interactions. In *Rswab@ recsys*.
- [Sajadmanesh et al., 2017] Sajadmanesh, S., Jafarzadeh, S., Ossia, S. A., Rabiee, H. R., Haddadi, H., Mejova, Y., Musolesi, M., Cristofaro, E. D., and Stringhini, G. (2017).

- Kissing cuisines: Exploring worldwide culinary habits on the web. In *Proceedings of the 26th International Conference on World Wide Web Companion*, pages 1013–1021. International World Wide Web Conferences Steering Committee.
- [Seljak, 2006] Seljak, B. K. (2006). Dietary menu planning using an evolutionary method. In *2006 International Conference on Intelligent Engineering Systems*, pages 108–113. IEEE.
- [Spak et al., 2017] Spak, M. D. S. et al. (2017). *Aplicação da modelagem matemática para o planejamento de cardápios para restaurantes universitários*. PhD thesis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- [Stolte et al., 2006] Stolte, D., Hennington, É. A., and de Souza Bernardes, J. (2006). Sentidos da alimentação e da saúde: contribuições para a análise do programa de alimentação do trabalhador the meaning of food and health: a contribution to the analysis of the workers' nutrition program. *Cad. Saúde Pública*, 22(9):1915–1924.
- [Teng et al., 2012] Teng, C.-Y., Lin, Y.-R., and Adamic, L. A. (2012). Recipe recommendation using ingredient networks. In *Proceedings of the 4th Annual ACM Web Science Conference*, pages 298–307. ACM.
- [Thakur et al., 2013] Thakur, M. K., Saxena, V., and Gupta, J. (2013). Data-parallel full reference algorithm for dropped frame identification in uncompressed video using genetic algorithm. In *Contemporary Computing (IC3), 2013 Sixth International Conference on*, pages 467–471. IEEE.
- [Trattner et al., 2016] Trattner, C., Kusmierczyk, T., and Nørvåg, K. (2016). Foodweb-studying food consumption and production patterns on the web. *ERCIM News*, 2016(104).
- [West et al., 2013] West, R., White, R. W., and Horvitz, E. (2013). From cookies to cooks: Insights on dietary patterns via analysis of web usage logs. In *Proceedings of the 22nd international conference on World Wide Web*, pages 1399–1410. ACM.
- [Yang, 2010] Yang, X.-S. (2010). *Engineering optimization: an introduction with metaheuristic applications*. John Wiley & Sons.