



DOI: 10.5281/zenodo.18929525

Fundamentos Da Otimização Linear: Jornada Interativa Para o Ensino Do Algoritmo Simplex

Luciane Ferreira Alcoforado¹

Resumo

A crescente complexidade dos sistemas na Sociedade 5.0 demanda tomadores de decisão com uma compreensão robusta dos princípios da otimização linear, mesmo diante da disponibilidade de softwares especializados. A utilização dessas ferramentas sem uma base conceitual sólida no algoritmo Simplex pode comprometer a qualidade das decisões e a capacidade de interpretar resultados de forma crítica. Este artigo apresenta o "Simplex Journey", um sistema composto de quatro aplicativos interativos desenvolvidos em Shiny (R) com um foco pedagógico central na desmistificação do algoritmo Simplex e suas intrínsecas operações matriciais. Cada aplicativo – "Simplex Journey Termos", "Simplex Journey Gráficos", "Simplex Journey Formas" e "Simplex Journey Iterações" – é meticulosamente projetado para construir uma compreensão facilitada dos conceitos e das etapas computacionais do método. Detalhamos a arquitetura, a implementação técnica em R/Shiny e a filosofia de design pedagógico por trás de cada aplicativo. Discutimos o potencial transformador do sistema para a formação de tomadores de decisão com uma base conceitual sólida em otimização linear, permitindo-lhes utilizar softwares de programação linear de maneira mais informada e eficaz, aplicando esses fundamentos em contextos práticos relevantes, como o desenvolvimento de *Smart Cities*. **Palavras-chave:** Método Simplex, Aplicativo Shiny, Ensino Conceitual, Operações Matriciais, Tomada de Decisão.

Abstract

The increasing complexity of systems in Society 5.0 necessitates decision-makers with a robust understanding of optimization principles, even with the availability of specialized software. Utilizing these tools without a solid conceptual foundation in the Simplex algorithm can compromise the quality of decisions and the capacity to interpret results critically. This article introduces "Simplex Journey," a system comprising four interactive applications developed in Shiny (R) with a central pedagogical focus on demystifying the Simplex algorithm and its intrinsic matrix operations. Each application – "Simplex Journey Terms", "Simplex Journey Graphics", "Simplex Journey Forms", and "Simplex Journey Iterations" – is meticulously designed

¹Academia da Força Aérea/AFA (luciane@id.uff.br)

to build a facilitated understanding of the method's concepts and computational steps. We detail the architecture, technical implementation in R/Shiny, and the pedagogical design philosophy behind each application. We discuss the transformative potential of the system for training decision-makers with a solid conceptual foundation in optimization, enabling them to utilize linear programming software in a more informed and effective manner, applying these fundamentals in relevant practical contexts such as the development of Smart Cities. **Keywords:** Simplex Method, Shiny Application, Conceptual Teaching, Matrix Operations, Decision-Making

Introdução

A Sociedade 5.0, fruto da convergência entre o mundo físico e o digital, impõe desafios de otimização cada vez mais intrincados em diversos domínios, desde a gestão de recursos em larga escala até a personalização de serviços. Nesse cenário, a programação linear e seu algoritmo fundamental, o Simplex, emergem como ferramentas analíticas cruciais para a tomada de decisão eficiente e baseada em dados.

Esta nova Sociedade agora se caracteriza pela integração de tecnologias digitais avançadas como Inteligência Artificial (IA), Internet das Coisas (IoT) e *Big Data* no tecido social e industrial, redefine a maneira como interagimos com o mundo e tomamos decisões (Samudio, 2023). Nesse contexto, a capacidade de realizar uma tomada de decisão qualificada torna-se ainda mais crucial, especialmente em ambientes complexos como as Cidades Inteligentes (Bali et al., 2022). Autores como Samudio (2023) destacam o papel da IA nos processos decisórios em *smart cities* dentro da estrutura da Sociedade 5.0, corroborado por outros autores que enfatizam a importância da análise de dados e de modelos matemáticos para fundamentar escolhas eficazes (Lachtermacher, 2016), (Simão et al., 2021) e (Glória Junior et al., 2021). A compreensão dos princípios de otimização linear, portanto, oferece uma base essencial para que tomadores de decisão possam utilizar as ferramentas tecnológicas de forma crítica e eficiente, evitando a dependência de 'caixas pretas' e promovendo decisões mais conscientes e alinhadas com os objetivos da Sociedade 5.0.

Embora a prática profissional frequentemente envolva o uso de softwares sofisticados como lpSolve (Berkelaar, 2024) no ambiente R ou plataformas comerciais como LINDO (Lindo System, 2003) para resolver problemas de otimização linear complexos, a formação de tomadores de decisão verdadeiramente competentes transcende a mera habilidade de operar essas ferramentas. A ausência de uma compreensão conceitual robusta do algoritmo subjacente, especialmente no que tange às operações matriciais que impulsionam o método Simplex, pode levar a uma utilização superficial e potencialmente falha desses softwares. Decisões podem ser tomadas com base em resultados gerados sem a devida capacidade de interpretação, diagnóstico de problemas ou mesmo formulação adequada dos modelos de otimização.

Reconhecendo essa lacuna na formação de tomadores de decisão, surge a proposta do "Simplex Journey", um sistema de aplicativos interativos construídos no ambiente R utilizando o *framework* Shiny. Estes aplicativos têm como objetivo primordial desmistificar o algoritmo Simplex, focando na construção de uma compreensão intuitiva de seus conceitos fundamentais e das operações matriciais que o sustentam. Acreditamos que munir os futuros tomadores de decisão com essa base conceitual sólida lhes permitirá utilizar softwares de otimização linear de forma mais consciente, crítica e eficaz, aplicando os princípios da programação linear para enfrentar os desafios complexos da Sociedade 5.0, incluindo o desenvolvimento e a gestão de *Smart Cities*.

O algoritmo Simplex é um procedimento iterativo que busca a solução ótima para um problema de programação linear através da exploração sistemática dos vértices da região factível. No cerne desse processo iterativo residem as operações matriciais envolvendo os elementos resultantes do particionamento básico e não básico do modelo na sua forma padrão. Compreender a natureza e o impacto dessas operações é fundamental para internalizar a lógica do algoritmo.

A cada iteração do Simplex, as operações matriciais desempenham um papel crucial em:

- **Representação do Problema em uma Nova Base:** A escolha de uma nova variável básica entrante e uma variável básica *sainte* implica uma mudança na base do espaço vetorial que representa o problema. As operações matriciais garantem que o sistema de equações lineares que define as restrições seja reescrito em termos dessa nova base, mantendo a equivalência do problema original.
- **Cálculo dos Custos Relativos:** Os custos relativos indicam o potencial de melhoria da função objetivo ao introduzir uma variável não básica na base. Seu cálculo envolve operações matriciais que refletem o impacto dessa introdução na função objetivo, considerando as restrições ativas.
- **Determinação da Variável Básica Entrante e Sainte:** Os critérios para selecionar a variável entrante (aquela com o custo relativo mais negativo em problemas de minimização) e a variável *sainte* (determinada pelo tamanho de passo mínimo) são intrinsecamente ligados às operações matriciais com escolhas restritas para manter a factibilidade do modelo,

A dificuldade frequentemente enfrentada pelos estudantes reside na natureza abstrata dessas operações matriciais e na falta de uma visualização clara de como elas transformam o problema e o movem em direção à solução ótima. O "Simplex Journey" busca superar essa barreira pedagógica através da representação visual utilizando o método gráfico e das iterações encadeadas do algoritmo simplex.

Objetivo

O objetivo principal é apresentar o sistema de aplicativos "Simplex Journey", um conjunto de quatro aplicativos interativos desenvolvidos em Shiny (R), como uma ferramenta pedagógica inovadora para o ensino dos fundamentos conceituais do algoritmo Simplex, incluindo suas intrínsecas operações matriciais.

Mais especificamente, o artigo visa:

- Demonstrar a importância da compreensão conceitual do método Simplex para a formação de tomadores de decisão competentes na Sociedade 5.0, mesmo diante da disponibilidade de softwares de otimização.
- Descrever a arquitetura e a implementação técnica dos aplicativos "Simplex Journey" em R/Shiny, destacando como a interatividade é utilizada para facilitar a visualização e a internalização dos conceitos do algoritmo.
- Detalhar a proposta pedagógica de cada um dos quatro aplicativos, mostrando como eles contribuem para a construção progressiva da compreensão do método Simplex, desde a terminologia básica até a execução passo a passo das iterações do algoritmo Simplex.
- Argumentar sobre o potencial pedagógico dos aplicativos para formar tomadores de decisão com uma base conceitual sólida em otimização linear, permitindo-lhes utilizar softwares de programação linear de forma mais informada e aplicar os princípios da otimização em contextos práticos, como o desenvolvimento de *Smart Cities*.

Material e Método

Materiais:

- **Linguagem de Programação:** R (versão $\geq 4.4.1$) foi utilizada como a linguagem principal para o desenvolvimento de todos os componentes do sistema. A escolha do R se deve à sua robustez em computação estatística e numérica, à vasta disponibilidade de pacotes para manipulação de dados e visualização, e à sua crescente adoção na academia e na indústria.
- **Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE):** RStudio (versão 2024.09.0+375 "Cranberry Hibiscus") foi utilizado como o IDE principal para o desenvolvimento, depuração e organização do código R e dos aplicativos Shiny.
- **Framework Shiny:** O *framework* Shiny (versão $\geq 1.10.0$) foi empregado para a construção das interfaces web interativas dos quatro aplicativos ("Simplex Journey Termos", "Simplex Journey Gráficos", "Simplex Journey Formas" e "Simplex Journey

Iterações"). O Shiny permite a criação de aplicativos web reativos diretamente a partir do R, facilitando a prototipagem rápida e a implementação de funcionalidades interativas sem a necessidade de conhecimento extensivo em desenvolvimento web tradicional (HTML, CSS, JavaScript).

- **Pacotes R Adicionais:**

- ggplot2 (versão $\geq 3.5.1$): Empregado no aplicativo "Simplex Journey Gráficos" para a geração de visualizações gráficas da região factível e da reta da função objetivo.
- DT (versão ≥ 0.33): Empregado no aplicativo "Simplex Journey Gráficos" para criação de uma tabela contendo os vértices viáveis do modelo interativo.
- Mathjaxr (versão $\geq 1.6-0$): Empregado no aplicativo "Simplex Journey Formas" para exibição das fórmulas matemáticas, especialmente as formas matriciais, o que melhora a legibilidade das expressões, permitindo a apresentação adequada de notações matriciais e outras fórmulas.
- Funções base do R: Foram extensivamente utilizadas para a implementação da lógica do algoritmo Simplex, incluindo operações matriciais, manipulação de vetores e data frames, e controle de fluxo.

Desenvolvimento:

O desenvolvimento do "Simplex Journey" seguiu uma abordagem iterativa e centrada no usuário, com as seguintes etapas principais:

1. **Análise Pedagógica e Design Conceitual:** Inicialmente, foi realizada uma análise detalhada das dificuldades comuns enfrentadas pelos estudantes no aprendizado do método Simplex, com foco nas operações matriciais e na compreensão conceitual. Com base nessa análise, foram definidos os objetivos de aprendizado e o design conceitual de cada um dos quatro aplicativos, buscando uma progressão lógica e complementar no ensino do método.
2. **Prototipagem e Desenvolvimento Iterativo:** Protótipos iniciais das interfaces dos aplicativos foram desenvolvidos utilizando as funcionalidades básicas do Shiny. O desenvolvimento de cada aplicativo ocorreu de forma iterativa, com a implementação gradual das funcionalidades interativas e da lógica do algoritmo Simplex. Feedback contínuo (auto-avaliação e feedback de usuários) guiou as decisões de design e implementação.
3. **Implementação da Lógica do Algoritmo Simplex:** A lógica computacional do algoritmo Simplex, incluindo a seleção da variável de entrada na base, a determinação da variável de saída da base e a execução das operações matriciais, foi

implementada utilizando funções personalizadas em R. Especial atenção foi dada à integração com a interface Shiny para garantir a reatividade desejada.

4. **Design da Interface do Usuário (UI) e Experiência do Usuário (UX):** O design da interface de cada aplicativo foi elaborado para ser intuitivo e focado nos objetivos de aprendizado específicos. Elementos interativos como botões, controles deslizantes, caixas de texto e tabelas reativas foram utilizados para facilitar a interação do usuário com o conteúdo e o algoritmo.
5. **Testes e Depuração:** Ao longo do processo de desenvolvimento, testes foram realizados para identificar e corrigir erros de lógica e de interface. Foram utilizados exemplos de problemas de programação linear de diferentes níveis de complexidade para verificar a correção da implementação dos resultados apresentados pelos aplicativos.
6. **Documentação:** O código R de cada aplicativo foi documentado com comentários detalhados para facilitar a compreensão e a manutenção futura. Foram elaborados manuais de uso dos aplicativos para orientar os usuários na melhor forma de utilizá-los.

Resultados e Discussão

A Centralidade da Compreensão Conceitual do Simplex na Formação de Tomadores de Decisão para a Sociedade 5.0:

O desenvolvimento do "Simplex Journey" foi motivado pela convicção de que, na Sociedade 5.0, a mera habilidade de operar softwares de otimização linear não é suficiente para formar tomadores de decisão competentes. A crescente sofisticação dos desafios de otimização em contextos como *Smart Cities* exige uma compreensão profunda dos fundamentos algorítmicos subjacentes às ferramentas computacionais utilizadas. Acreditamos que a familiaridade com o "como funciona" do método Simplex, mesmo que a resolução prática de problemas complexos seja delegada a softwares como lpSolve ou LINDO, é crucial por diversas razões:

- **Interpretação Crítica de Resultados:** Um tomador de decisão com conhecimento conceitual do Simplex está mais apto a interpretar os resultados fornecidos por softwares, compreendendo o significado das variáveis básicas e não básicas, dos custos relativos e da natureza da solução (ótima, ilimitada, inviável). Essa compreensão permite uma avaliação mais crítica da validade e da aplicabilidade dos resultados no contexto do problema real.
- **Diagnóstico de Problemas de Modelagem:** A familiaridade com o processo iterativo do Simplex e com a estrutura matricial do problema auxilia na identi-

cação de potenciais erros na formulação do modelo de programação linear. Um entendimento das condições de otimalidade e factibilidade pode guiar a revisão das restrições e da função objetivo.

- **Comunicação Informada:** Tomadores de decisão com uma base conceitual sólida em otimização linear podem comunicar de forma mais eficaz com especialistas em pesquisa operacional e ciência de dados, participando ativamente na discussão dos modelos e na interpretação dos resultados.
- **Adaptação a Novos Desafios:** Os princípios fundamentais do Simplex fornecem uma base sólida para a compreensão de outros métodos de otimização mais avançados. Um bom entendimento do Simplex facilita a aprendizagem e a aplicação de novas técnicas para lidar com problemas mais complexos e específicos da Sociedade 5.0.

O "Simplex Journey" foi concebido como uma resposta direta à necessidade de fortalecer essa compreensão conceitual, oferecendo uma alternativa interativa ao ensino tradicional do método Simplex.

Arquitetura e Implementação Técnica do "Simplex Journey" em R/Shiny:

O sistema "Simplex Journey" é composto por quatro aplicativos web interativos, desenvolvidos utilizando a linguagem R e o *framework* Shiny. A arquitetura de cada aplicativo segue o padrão reativo do Shiny, onde os elementos da interface do usuário (inputs) são vinculados à lógica de processamento (reativações) e às saídas visuais (outputs).

- **Estrutura Geral:** Cada aplicativo é implementado como um script R (app.R) e pode ser executado localmente no RStudio ou hospedado em plataformas como Shiny Server ou ShinyApps.io para acesso via navegador web.
- **Interatividade como Ferramenta Pedagógica:** A interatividade é o pilar central do "Simplex Journey". Em cada aplicativo, os usuários podem manipular parâmetros, inserir dados e avançar no processo de aprendizado em seu próprio ritmo, recebendo feedback imediato sobre suas ações. Essa abordagem ativa promove um engajamento mais profundo com o material e facilita a internalização dos conceitos.
- **Visualização para a Compreensão:** A visualização de conceitos abstratos é fundamental para o aprendizado eficaz. O aplicativo "Simplex Journey Gráficos" utiliza o pacote ggplot2 para representar graficamente a região factível e a análise da função objetivo. O aplicativo "Simplex Journey Formas" apresenta o modelo original na forma padrão, na forma matricial, bem como seu particionamento básico e não básico, permitindo ao usuário uma rápida visualização destes elementos. O aplicativo "Simplex Journey Iterações" apresenta os elementos chave de cada iteração

e as operações matriciais, permitindo ao usuário treinar a lógica do Simplex e a conferência dos cálculos.

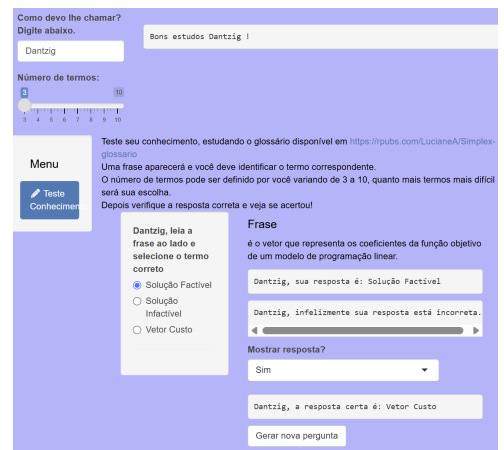
• Implementação Específica dos Aplicativos:

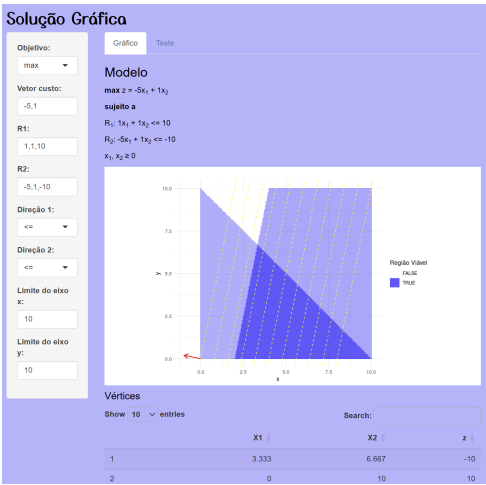
- **Simplex Journey Termos:** Utiliza principalmente elementos de texto reativo (renderText) e controles de entrada (radioButtons, checkboxGroupInput) para apresentar definições e permitir que os usuários testem seu conhecimento através de exercícios interativos com feedback imediato.
- **Simplex Journey Gráficos:** Emprega funções reativas (reactive) para gerar e atualizar dinamicamente gráficos ggplot2 com base nos textInput que permitem a manipulação dos coeficientes da função objetivo e das restrições.
- **Simplex Journey Formas:** Manipula dados reativos (reactiveValues) para armazenar e exibir as diferentes formas do problema de programação linear (primal, padrão, matricial), permitindo ao usuário visualizar as transformações necessárias.
- **Simplex Journey Iterações:** Contém a lógica mais complexa, com funções R para realizar cada etapa do algoritmo Simplex. As iterações são controladas por mudanças nos valores dos índices das variáveis básicas, e a cada passo, as operações matriciais são atualizadas com mensagens orientando o usuário na condução da lógica do Simplex.

Proposta Pedagógica dos Aplicativos "Simplex Journey"

Foi adotado uma abordagem pedagógica progressiva, onde cada aplicativo constrói sobre o conhecimento adquirido nos anteriores, visando uma compreensão holística do método Simplex. A tabela 1 apresenta cada um dos aplicativos e sua descrição.

Tabela 1: Aplicativos do sistema Simplex Journey

Aplicativo	Descrição	Tela Inicial
Simplex Journey Termos	Inicia o aprendizado pela base, garantindo que o estudante domine a linguagem fundamental da programação linear e do método Simplex. A clareza na terminologia é essencial para evitar confusões em etapas posteriores.	

Aplicativo	Descrição	Tela Inicial
Simplex Journey Gráficos	Oferece uma intuição geométrica do problema de otimização linear e do processo de busca pela solução ótima. A visualização da região factível e da movimentação da função objetivo proporciona um entendimento mais concreto dos conceitos abstratos da programação linear.	
Simplex Journey Formas	Prepara o terreno para a implementação do algoritmo Simplex, mostrando a importância da conversão do problema para a forma padrão e matricial. A compreensão da estrutura matricial do problema é crucial para entender as operações realizadas pelo Simplex.	
Simplex Journey Iterações	Permite que o estudante vivencie o "motor" do método Simplex, acompanhando cada iteração e visualizando as operações matriciais que conduzem em direção à solução ótima. A capacidade de avançar passo a passo e observar o impacto de cada operação contribui significativamente para a internalização do algoritmo.	

Fonte: Autor, 2025

Através dessa sequência planejada, o "Simplex Journey" busca guiar o estudante desde os conceitos básicos até a compreensão da mecânica computacional do método Simplex, com ênfase na interatividade e na visualização para facilitar a aprendizagem.

Potencial Pedagógico para a Formação de Tomadores de Decisão e Aplicações em *Smart Cities*:

Ao desmistificar o algoritmo Simplex e suas operações matriciais, o sistema "Simplex Journey" procura capacitar os futuros profissionais a:

- **Utilizar Softwares de Otimização de Forma Mais Informada:** A compreensão dos fundamentos do Simplex permite que os usuários de softwares como lpSolve e LINDO interpretem os resultados com maior confiança, diagnostiquem problemas de modelagem e compreendam as limitações e potencialidades das ferramentas que utilizam.
- **Aplicar os Princípios da Otimização em Contextos Práticos:** Uma base conceitual sólida facilita a transferência dos princípios da programação linear para a resolução de problemas reais em diversos domínios, incluindo o desenvolvimento e a gestão de *Smart Cities*.
- **Desenvolver o Pensamento Analítico e a Capacidade de Modelagem:** O estímulo ao desenvolvimento do pensamento analítico e da capacidade de traduzir problemas do mundo real para modelos quantitativos são habilidades essenciais para a tomada de decisão eficaz na Sociedade 5.0.

Em contextos de *Smart Cities*, onde a otimização desempenha um papel crucial na gestão de recursos, no planejamento urbano, na logística e em muitos outros aspectos, tomadores de decisão com uma compreensão fundamental do método Simplex estarão mais bem preparados para compreender os Modelos de Otimização Linear utilizados em Sistemas Urbanos Inteligentes e colaborar com Especialistas em Ciência de Dados e Pesquisa Operacional.

Exemplo de Aplicação em *Smart Cities* utilizando o "Simplex Journey" (Alocação de Recursos Limitados)

Cenário Simplificado:

Uma prefeitura possui um orçamento limitado e uma quantidade limitada de horas de trabalho disponíveis para investir em três projetos distintos que visam melhorar a qualidade de vida na cidade:

- **Projeto 1: Instalação de Iluminação LED Inteligente:** Melhora a segurança e reduz o consumo de energia.
- **Projeto 2: Criação de Hortas Comunitárias em Espaços Ociosos:** Promove a alimentação saudável e o engajamento da comunidade.
- **Projeto 3: Implementação de um Sistema de Monitoramento da Qualidade do Ar:** Fornece dados importantes para a saúde pública e o planejamento ambiental.

Cada projeto requer um certo investimento financeiro e uma certa quantidade de horas de trabalho, e estima-se que gere um determinado benefício (em uma unidade de medida arbitrária).

- **Recursos Necessários por Projeto:**

- Projeto 1: Custo = R\$ 4.000, Horas de Trabalho = 300, Benefício = 7 unidades
- Projeto 2: Custo = R\$ 3.000, Horas de Trabalho = 200, Benefício = 5 unidades
- Projeto 3: Custo = R\$ 5.000, Horas de Trabalho = 400, Benefício = 9 unidades

- **Recursos Disponíveis:**

- Orçamento Total: R\$ 20.000
- Horas de Trabalho Totais: 1.500 horas

O objetivo é determinar quantos projetos de cada tipo devem ser implementados (podemos considerar níveis de implementação fracionários para simplificar o exemplo para o Simplex) para maximizar o benefício total, sem exceder o orçamento e as horas de trabalho disponíveis.

Modelagem como um Problema de Programação Linear:

Critério de Otimalidade: Maximizar o benefício total para a melhoria da qualidade de vida no município.

Variáveis de decisão:

- x_1 : Nível de implementação do Projeto 1 (em unidades de projeto)
- x_2 : Nível de implementação do Projeto 2 (em unidades de projeto)
- x_3 : Nível de implementação do Projeto 3 (em unidades de projeto)

Função Objetivo (Maximizar o benefício total): $Max Z = 7x_1 + 5x_2 + 9x_3$

Restrições:

- **Restrição Orçamentária:** $4000x_1 + 3000x_2 + 5000x_3 \leq 20000$
- **Restrição de Horas de Trabalho:** $300x_1 + 200x_2 + 400x_3 \leq 1500$
- **Não Negatividade:** $x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, x_3 \geq 0$

Emprego do "Simplex Journey":

1. Simplex Journey Termos:

Um gestor de projetos de *Smart City* em formação poderia usar este aplicativo para entender os termos: variáveis de decisão (nível de implementação dos projetos), função objetivo (maximizar o benefício), restrições (orçamento e horas de trabalho, todas do tipo "menor ou igual a"). A Figura 1 exibe parte do aplicativo na sua função teste de

conhecimento. A frase do teste é sorteada aleatoriamente de acordo com um glossário de termos disponível ao usuário do aplicativo e o número de alternativas pode ser estabelecido por controle deslizante, podendo variar de 3 a 10 termos. O usuário pode exibir ou não a resposta correta e gerar novas perguntas.

Figura 1: Teste de conhecimento dos termos utilizados em Programação Linear.

Fonte: Autor, 2025

2. **Simplex Journey Formas:** Este problema está em uma forma de maximização. O usuário aprenderia como colocar o modelo na forma de minimização e introduzir variáveis de folga para transformar as desigualdades em igualdades, obtendo a forma padrão que seria utilizada no emprego do Simplex:

- a. Minimizar $w = -Z = -7x_1 - 5x_2 - 9x_3$
- b. $4000x_1 + 3000x_2 + 5000x_3 + x_4 = 20000$ (x_4 representa o orçamento não utilizado, ou seja, a folga no orçamento)
- c. $300x_1 + 200x_2 + 400x_3 + x_5 = 1500$ (x_5 representa as horas de trabalho não utilizadas, ou seja, a folga de horas de trabalho)
- d. $x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, x_3 \geq 0, x_4 \geq 0, x_5 \geq 0$

A Figura 2 ilustra o procedimento que deverá ser realizado pelo usuário como informar o número de variáveis e restrições, os dados do modelo e visualizar a estrutura das formas primal e padrão. Em outras abas pode explorar a forma matricial e os procedimentos iniciais do Simplex.

Nota: Certifique-se de que a quantidade de valores informados entre vírgulas seja coerente com o número de variáveis e restrições.

Número de Variáveis:

2 3 5

Número de Restrições:

2 6

Objetivo:

max

Vetor custo:

7,5,9

R1:

4000,5000,3000,20000

R2:

300, 200, 400 , 1500|

Direção 1:

<=

Direção 2:

<=

Forma Padrão Forma Matricial Particionamento Operações Iniciais

Modelo

max $z = 7x_1 + 5x_2 + 9x_3$

sujeito a

$R_1: 4000x_1 + 5000x_2 + 3000x_3 \leq 20000$

$R_2: 300x_1 + 200x_2 + 400x_3 \leq 1500$

$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, x_3 \geq 0$

Forma Padrão

min $w = -7x_1 + -5x_2 + -9x_3 + 0x_4 + 0x_5$

sujeito a

$R_1: 4000x_1 + 5000x_2 + 3000x_3 + 1x_4 + 0x_5 = 20000$

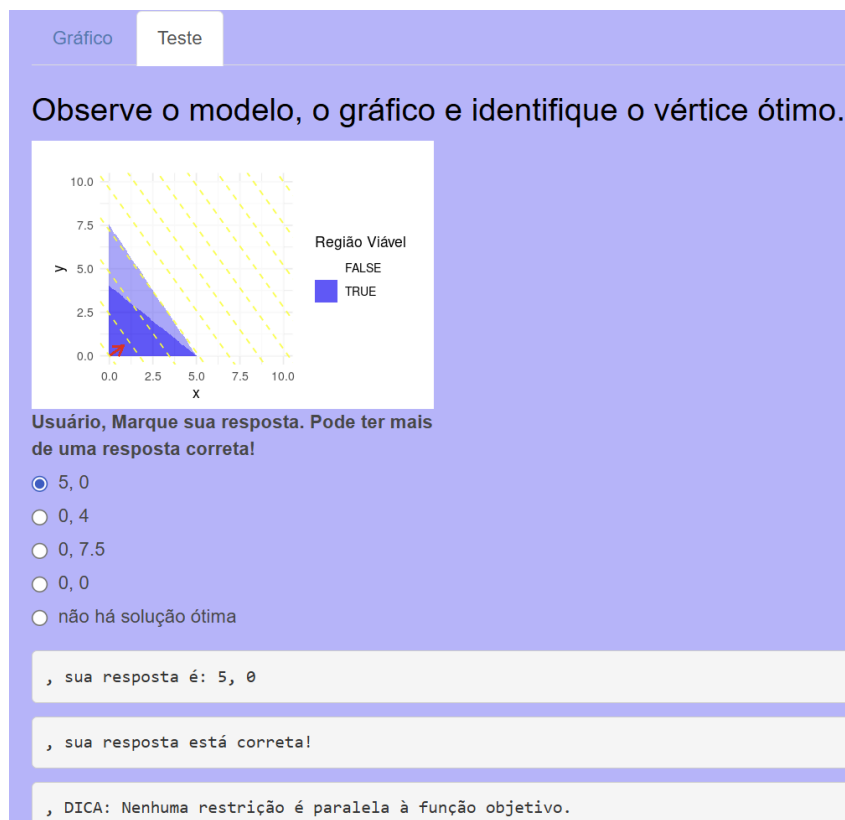
$R_2: 300x_1 + 200x_2 + 400x_3 + 0x_4 + 1x_5 = 1500$

$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, x_3 \geq 0, x_4 \geq 0, x_5 \geq 0$

Figura 2: Dados do modelo e sua forma padrão.

Fonte: Autor, 2025

- Simplex Journey Gráficos:** Para uma versão ainda mais simplificada com apenas duas variáveis (por exemplo, alocação entre Projeto 1 e Projeto 2 com duas restrições), o aplicativo gráfico (Figura 3) permitiria visualizar a região factível definida pelas restrições (incluindo os eixos não negativos) e como a reta da função objetivo se move para encontrar o ponto ótimo dentro dessa região.



Vértices

Show 10 entries

Search:

	X1	X2	z
1	5	0	35
2	0	4	20
3	5	0	35
4	0	7.5	37.5
5	5	0	35
6	0	0	0

Showing 1 to 6 of 6 entries

Previous 1 Next

Figura 3: Solução Gráfica para o modelo considerando duas variáveis.

Fonte: Autor, 2025

1. **Simplex Journey Iterações:** O usuário poderia inserir o problema na forma de minimização no aplicativo "Simplex Journey Iterações", conforme Figura 4. Ao avançar pelas iterações, ele observaria a partição inicial (com as variáveis de folga como variáveis básicas iniciais); a seleção da variável entrante (o projeto que oferece o maior aumento no benefício por unidade de recurso consumido); a determinação da variável saínte (a restrição que primeiro se torna ativa ao aumentar a variável entrante); as operações matriciais sendo realizadas para encontrar soluções básicas factíveis que geram um benefício cada vez maior e pôr fim a identificação da solução

ótima, indicando o nível de implementação ideal para cada projeto que maximiza o benefício total dentro das restrições de orçamento e horas de trabalho.

The screenshot shows a web interface with a light blue background. At the top, there are three tabs: 'Solução Corrente', 'Próxima Iteração', and 'Consulte as Fórmulas'. The main title is 'Formulário Método Simplex'. Below the title, there are several rows, each with a label on the left and a mathematical formula on the right:

- Solução Básica Corrente x_B : $Bx_B = b$
- Solução Não Básica é sempre nula: $x_N = 0$:
- Lambda λ : $B^T \lambda = c_B$
- Custo Relativo c'_N : $c'_i = c_i - \lambda^T \cdot a_i, i \in I_N$
- Direção Simplex y : $By = a_k$
- Tamanho de Passo ϵ : $\epsilon_z = x_z / y_z, z \in I_B$

Figura 4: Iterações do algoritmo Simplex.

Fonte: Autor, 2025

Benefícios para a Formação de Tomadores de Decisão:

Ao trabalhar com este exemplo de alocação de recursos limitados para projetos de *Smart City* no "Simplex Journey", um futuro gestor público ou líder de projetos aprende:

- Como identificar e modelar problemas de decisão envolvendo recursos limitados usando a programação linear.
- A importância de definir claramente os objetivos (maximizar o benefício) e as restrições (orçamento, mão de obra).
- Como transformar as desigualdades "menor ou igual a" em igualdades com a introdução de variáveis de folga, representando os recursos não utilizados.
- O processo iterativo do Simplex para encontrar a alocação ótima que maximiza o objetivo dentro das limitações.
- A interpretação da solução ótima em termos de quais projetos priorizar e em que nível de implementação para obter o maior impacto com os recursos disponíveis.

Este exemplo demonstra como o "Simplex Journey" pode ser utilizado para construir a compreensão conceitual do método Simplex em um cenário prático na implementação de iniciativas de *Smart City*, onde a alocação eficiente de recursos limitados é fundamental.

Conclusão

Apresentamos o sistema de aplicativos "Simplex Journey" numa abordagem pedagógica inovadora para o ensino do método Simplex, com foco na compreensão conceitual e das operações matriciais. Especificamente, os resultados apresentados demonstram a importância dessa compreensão para tomadores de decisão na Sociedade 5.0, detalham a arquitetura interativa dos aplicativos em R/Shiny, evidenciam a progressão pedagógica dos quatro módulos na construção do conhecimento do Simplex. Argumentamos sobre o potencial do sistema para formar profissionais capazes de aplicar os princípios da otimização linear de forma informada, inclusive em contextos de *Smart Cities*. O "Simplex Journey" se mostra uma ferramenta valiosa para fortalecer a base conceitual da otimização linear na formação de futuros líderes. A aplicação do sistema em um exemplo prático de alocação de recursos limitados para projetos de *Smart City* ilustra concretamente como os usuários podem internalizar os fundamentos do método Simplex. Ao modelar o problema, transformar as restrições e simular as iterações em um problema simplificado, os futuros tomadores de decisão desenvolvem uma compreensão intuitiva do processo de otimização. Essa base conceitual é essencial para uma utilização mais eficaz de softwares especializados e para a formulação de estratégias de decisão otimizadas em cenários reais e complexos de cidades inteligentes.

Referências

- BALI, VIKRAM; BHATNAGAR, VISHAL; LU, JOAN; BANERJEE, KAKOLI. (Editors). **Decision Analytics for Sustainable Development in Smart Society 5.0: Issues, Challenges and Opportunities**. Springer, 2022.
- BERKELAAR, M. **lpSolve**: Interface to 'Lp_solve' v. 5.5 to Solve Linear/Integer Programs. R package version 5.6.23, <<https://CRAN.R-project.org/package=lpSolve>>. 2024.
- FONSECA I CASAS, Pau; PI, Xavier. **Building Society 5.0: A Foundation for Decision-Making Based on Open Models and Digital Twins**. Open Research, Espanha, fev. 2025.
- GLÓRIA JÚNIOR, I.; REIS, J. Gi. M. dos. Logística 4.0 e Inteligência Artificial na Sociedade 5.0. In: **ANAIS DO XLI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (ENEGEP)**, Foz do Iguaçu - PR. ABEPRO, 2021. Disponível em: 10.14488/enegep2021_tn_sto_355_1828_41654. Acesso em: 06 abr. 2025.
- LINDO SYSTEMS, Inc. **LINDO Users Manual**. Manual técnico Chicago. 2003.

LACHTERMACHER, G., **Pesquisa operacional na tomada de decisões**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

SAMUDIO, Ruben. **AI Decision-making in Smart Cities, Japan's Society 5.0**. In book: Challenges of Law and Technology, (pp.183-200), ISBN: 978-3-86395-612-7, DOI: 10.17875/gup2023-2499, 2023.

SIMÃO, A. dos S.; DE OLIVEIRA, E. A. S.; DE MEIRELLES JUNIOR, J. C.; DA SILVA, A. C.; LEITE, C. G. A sociedade 5.0 e as transformações na educação / Society 5.0 and transformations in education. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 6, p. 64111–64120, DOI: 10.34117/bjdv7n6-678. 2021.

Anexo

<https://github.com/Lucianea/SimplexJourney>