

GLICOCON - Aplicação Web para Identificação do Modelo Dinâmico da Curva Glicêmica de Indivíduos para Auxílio de Profissionais da Saúde

Anielly Gonçalves¹, Bárbara B. G. Correa¹, Julia M. L. Gonçalves¹,
Kemily R. Silva¹, Thaissa Vitória G. D. de Sousa¹

¹Engenharia de Computação – Centro Federal de Educação Tecnológica
de Minas Gerais (CEFET-MG) – Divinópolis – MG – Brazil

anielly@aluno.cefetmg.br, {barbarabgual,julia.goncalves}@cefetmg.br,
{kemily,thaissa}@aluno.cefetmg.br

Abstract. *The present article describes the development of a web system to monitor the glycemic curve, assisting healthcare professionals in treating patients with diabetes. The application, utilizing Node.js as backend and Flask in Python, generates customized glycemic curve graphs. The results indicate that employing higher-order transfer functions can enhance precision in approximating the curve. This application becomes relevant in medical treatment by predicting glucose behavior, enabling personalized approaches.*

Resumo. *O presente trabalho descreve o desenvolvimento de um sistema web para monitorar a curva glicêmica, auxiliando profissionais de saúde no tratamento de pacientes com diabetes. A aplicação, utilizando Node.js como backend e Flask em Python, gera gráficos de curvas glicêmicas personalizadas. Os resultados indicam que o uso de funções de transferência de ordem mais alta pode aprimorar a precisão na aproximação da curva. Esta aplicação torna-se relevante para o tratamento médico ao prever o comportamento da glicose, capacitando abordagens personalizadas.*

1. Introdução

O diabetes mellitus (DM) é um distúrbio metabólico que causa aumento significativo nos níveis de glicose no corpo, gerando complicações agudas e crônicas em órgãos específicos [Oliveira et al. 2017]. Tal doença representa uma questão séria de saúde pública global, sendo uma das principais causas de doenças cardiovasculares na América Latina. Em 2015, o Brasil ocupava a quarta posição entre os países com maior número de pessoas com diabetes, apresentando um desafio significativo para o sistema de saúde nacional [Oliveira et al. 2017].

Nesse contexto, são pensadas e desenvolvidas estratégias diversas para auxiliar no controle e prevenção de complicações pelo diabetes. Dentre essas estratégias, a literatura apresenta o emprego de ferramentas digitais como facilitadoras do cotidiano das pessoas e capazes de promover o acesso dos indivíduos a uma infinidade de recursos, o que inclui a saúde [de Oliveira et al. 2020, Arrais and Crotti 2015].

Estudos atuais revelam que a flutuação dos níveis de glicose ao longo de um dia, conhecida como variabilidade glicêmica, desempenha um papel crucial no manejo do

diabetes. Mesmo quando a média dos níveis de glicose no sangue está dentro dos limites normais, picos significativos ao longo do dia podem resultar nas mesmas complicações associadas à persistente e severa elevação da glicose, como observado na hiperglicemia prolongada [Monnier et al. 2008, Egi et al. 2009].

Portanto, através dessas informações, este trabalho tem como objetivo descrever o desenvolvimento de um sistema web, o GLICOCON, destinado a profissionais de saúde. Este sistema poderá permitir registrar, analisar e modelar os níveis de glicose de pacientes diabéticos por meio de técnicas de identificação de sistemas, a fim de poder fornecer suporte eficaz no acompanhamento e tratamento do diabetes. A aplicação foi desenvolvida utilizando tecnologias como HTML e CSS para a interface, Node.js e Express.js para o back-end, empregando um ORM (Object-Relational Mapper) Sequelize e um servidor local gerenciado pelo MySQL para o armazenamento dos dados do usuário. Além disso, os cálculos para identificação do sistema foram realizados em Python, fazendo uso das bibliotecas como NumPy, SciPy e Matplotlib. Essas análises são fundamentais para compreender a dinâmica do comportamento dos níveis de glicose ao longo do tempo, oferecendo informações que podem ser valiosas para os profissionais de saúde no ajuste e personalização dos tratamentos de pacientes diabéticos.

O artigo está organizado em quatro seções. Inicialmente, a seção de referencial teórico aborda os fundamentos e as técnicas relacionadas ao controle dinâmico. Em seguida, a seção do método detalha o processo de concepção, planejamento da aplicação e explora as tecnologias empregadas em seu desenvolvimento. Na terceira seção, resultados e discussões, são apresentados os dados obtidos com a aplicação, enfatizando suas principais funcionalidades e avaliando sua eficiência no monitoramento dos níveis glicêmicos e no cálculo da dosagem de insulina. Por fim, as conclusões reúnem os objetivos conquistados durante a pesquisa e delineiam perspectivas para futuras melhorias e refinamentos do sistema proposto.

2. Referencial Teórico

Para o devido entendimento da proposta do trabalho, é necessário revisar alguns conceitos teóricos. Nessa perspectiva, iremos abordar sobre a identificação de sistemas, sobre o método de mínimos quadrados no ajuste de dados à funções e sobre funções de transferência e as ordens que elas podem assumir.

2.1. Identificação de Sistemas

A Identificação de Sistemas desempenha um papel crucial na modelagem quando a obtenção direta de modelos matemáticos é desafiadora [Aguirre 2004]. Esta abordagem envolve o uso de ferramentas matemáticas e algoritmos para construir modelos dinâmicos a partir de dados observados.

Três etapas fundamentais orientam o processo: aquisição de dados, escolha da representação do sistema e validação do modelo. A escolha da representação é particularmente crítica, exigindo uma compreensão aprofundada das características do sistema [Aguirre 2004].

Este trabalho concentra-se na função de transferência como uma representação-chave na Identificação de Sistemas. Definida por Silva [Aguirre 2004], a função de transferência expressa a relação dinâmica entre a entrada e a saída do sistema. Explorar essa

representação visa contribuir para a eficácia da Identificação de Sistemas no contexto de análise da curva glicêmica do paciente.

2.2. Métodos de Mínimos Quadrados

A análise de regressão é uma ferramenta crucial para explorar relações entre variáveis em uma população. Utilizando dados amostrais, a abordagem linear simples procura estabelecer equações matemáticas que descrevam essas relações. Essa técnica desempenha um papel crucial em diversos contextos, permitindo a estimativa, explicação e previsão de valores [Vilhena 2013].

Para realizar a análise de regressão, é comum empregar o método dos Mínimos Quadrados. Este método busca minimizar a soma dos quadrados das diferenças entre os valores observados (y_i) e os valores previstos (\hat{y}_i) pela equação de regressão. As fórmulas para os coeficientes da regressão linear são:

$$m = \frac{n(\sum_{i=1}^n x_i y_i) - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{n(\sum_{i=1}^n x_i^2) - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \quad (1)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - m(\sum_{i=1}^n x_i)}{n} \quad (2)$$

Essas fórmulas representam os coeficientes da reta, com forma $mx + b$, de regressão linear que melhor se ajustam aos dados, minimizando a soma dos quadrados das diferenças entre os valores observados e os valores previstos. Para entender isso mais detalhadamente, a inclinação (m) é calculada considerando a covariância entre x e y em relação à variância de x , enquanto a interceptação (b) é determinada usando a média dos valores observados de y e a inclinação [da Silva and Almeida 2019].

Essa técnica é fundamental para compreender e modelar relações em conjuntos de dados.

É importante destacar que a partir de uma regressão linear bem-sucedida, é possível derivar uma função de transferência. A função de transferência, representada por $G(s)$, onde s é uma variável complexa, descreve a relação matemática entre a entrada e a saída de um sistema dinâmico. Assim, a regressão linear não apenas modela relações lineares, mas também pode servir como base para encontrar modelos de sistemas dinâmicos por meio da obtenção de suas funções de transferência.

2.3. Funções de Transferência

Em sistemas dinâmicos, a função de transferência emerge como uma ferramenta fundamental para descrever e compreender o comportamento dinâmico de um processo. A função de transferência é uma representação matemática que estabelece a relação entre a entrada e a saída de um sistema, fornecendo uma visão abstrata e poderosa da dinâmica subjacente.

Matematicamente expressa como

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)}, \quad (3)$$

Onde $Y(s)$ é a transformada de Laplace da saída, $U(s)$ é a transformada de Laplace da entrada e $G(s)$ é a função de transferência, essa abordagem simplificada permite uma compreensão mais acessível e analítica do sistema em estudo [Richard and Bishop 2016].

A função de transferência é especialmente relevante em contextos onde a dinâmica temporal é crucial, como em sistemas físicos ou biológicos. A sua utilidade reside na capacidade de proporcionar uma descrição eficiente e geral do comportamento do sistema, simplificando a análise e possibilitando a aplicação de técnicas de controle e otimização.

É relevante ressaltar a existência de várias formas de funções de transferência, cada uma delas projetada para se adequar a diferentes tipos de sistemas dinâmicos. Entre elas, destacam-se as funções de transferência de primeira e segunda ordem, comuns na literatura.

2.4. Ordens de Funções de Transferências

Ao explorarmos a ordem das funções de transferência, encontramos uma variedade de classes que categorizam a complexidade das dinâmicas dos sistemas. Cada ordem reflete a quantidade de polos presentes na função de transferência, influenciando diretamente a resposta do sistema a estímulos externos.

A primeira ordem, em particular, destaca-se por sua simplicidade. Sistemas modelados com funções de transferência de primeira ordem apresentam uma única constante de tempo (τ), o que significa que sua dinâmica é caracterizada por uma resposta suave e gradual a mudanças na entrada. Essa simplicidade torna as funções de transferência de primeira ordem extremamente úteis na modelagem de sistemas que exibem comportamentos lineares e processos físicos ou biológicos com inércia controlada [Richard and Bishop 2016].

A análise de sistemas de primeira ordem é frequentemente mais acessível, proporcionando uma compreensão clara e concisa do comportamento dinâmico. A equação de transferência para uma função de primeira ordem é expressa como:

$$G(s) = \frac{K}{1 + \tau s} \quad (4)$$

Onde $G(s)$ é a função de transferência, K é o ganho estático, τ é a constante de tempo do sistema e s é a variável complexa [Richard and Bishop 2016].

Destacar a primeira ordem nas funções de transferência não apenas simplifica a análise, mas também oferece uma base sólida para abordagens de controle e otimização. Portanto, ao considerar a modelagem dinâmica de sistemas, a de primeira ordem revela-se uma escolha estratégica e eficaz.

3. Métodos

Este projeto visa a criação de uma solução destinada a auxiliar e facilitar o trabalho dos médicos no gerenciamento do diabetes mellitus por meio de um sistema web. Inicialmente, foi determinado que a plataforma se concentrará no registro dos níveis glicêmicos. Os dados desse registro posteriormente serão ajustados em uma curva para análise da glicemia.

Assim, para fundamentar o desenvolvimento, realizou-se uma pesquisa bibliográfica extensiva, explorando recursos como o PubMed, ScienceDirect e Google Scholar. A estratégia adotada consistiu no uso de palavras-chave específicas, incluindo "diabetes mellitus", "curva glicêmica" e "identificação de sistemas por função de transferência", com o intuito de extrair informações sobre as tendências atuais e práticas associadas à integração de tecnologia no auxílio ao tratamento do diabetes.

3.1. Requisitos do sistema

Após a pesquisa, foi feito o levantamento detalhado de requisitos, com enfoque nos principais usuários, que são médicos e profissionais de saúde, e foram identificadas funcionalidades básicas para a utilização, descritas na Tabela 1.

Table 1. Tabela de requisitos

Requisito	Descrição
Registro do médico	Cadastro do médico com nome, CRM, e-mail e senha.
Registro de dados de glicose	Registro medições de glicose no sangue inseridas manualmente. Geração do gráfico da curva glicêmica para identificação de sistema.
Geração do modelo dinâmico	Ajuste dos dados de glicose inseridos para encontrar um modelo dinâmico a partir deles.
Edição de perfil	O médico poderá editar as informações de seu perfil.
Informativo sobre diabetes	Espaço destinado a falar sobre a proposta do site e um pouco sobre a diabetes e seus tipos
Informativo sobre as integrantes do grupo	Apresenta as integrantes do grupo, seus papéis e suas formas de contato.

3.2. Diagrama de Caso de Uso

O diagrama de caso de uso (Figura 1) foi elaborado para proporcionar uma visão clara das interações entre o sistema e os médicos, visando fornecer recursos essenciais para o gerenciamento eficaz do diabetes mellitus. No âmbito do cadastro, novos profissionais de saúde podem se registrar no sistema, fornecendo algumas informações pessoais como e-mail, nome e CRM. Uma vez cadastrados, o médico poderá realizar o processo de login e acessar o sistema.

Ao acessar o sistema, os médicos têm a capacidade de visualizar e editar seus perfis, garantindo a possibilidade de atualização contínua das informações. Além disso, a página "About Us" e "Home" promove transparência e compreensão, oferecendo dados informativos sobre o sistema e a equipe por trás dele.

Destaca-se a inserção manual de medições de glicose como uma característica específica, possibilitando o ajuste a uma curva glicêmica para análise dos profissionais de saúde. O médico pode inserir os valores que tiver e solicitar ao sistema a geração do modelo. Por fim, ele pode limpar o gráfico gerado para poder inserir novos valores para novas aproximações.

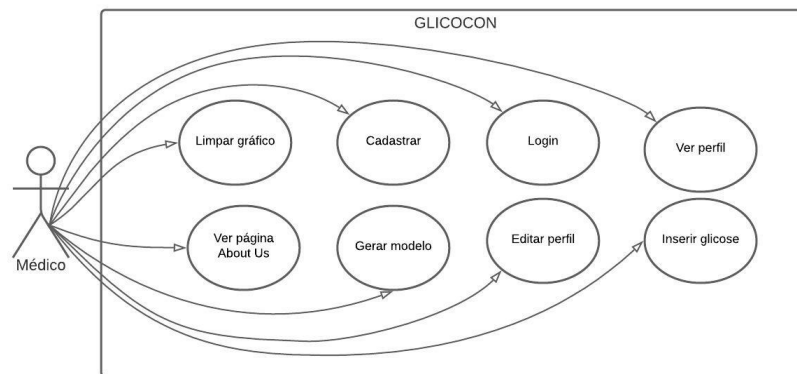


Figure 1. Diagrama de Caso de Uso

3.3. Desenvolvimento

O primeiro passo foi a prototipação do site, para visualizar as possibilidades de organização e visualização do sistema para que ele cumprisse com todos os requisitos. Após essa etapa, iniciou-se o desenvolvimento.

Todo o processo de desenvolvimento foi conduzido no Visual Studio Code, proporcionando um ambiente integrado e eficaz para a equipe. A escolha do Node.js para o backend permitiu a manipulação eficiente dos dados e a execução dos cálculos necessários. Adicionalmente, optou-se por utilizar da biblioteca Flask, do Python para uma integração fluida com JavaScript. Na interface do usuário, adotou-se o CSS e o HTML, garantindo uma experiência leve e simplificada.

Para realizar cálculos, utilizamos a biblioteca scipy, que possui uma função que realiza o método de mínimos quadrados explicados na seção 2.2 para ajustar os dados a função de transferência de primeira ordem. Também utilizamos das bibliotecas numpy para operações numéricas e matplotlib para visualização de dados.

Por fim, o sistema de gerenciamento de banco de dados escolhido foi o MySQL, proporcionando uma estrutura sólida para o armazenamento e a recuperação eficientes de informações dos agentes de saúde cadastrados.

Ao final do desenvolvimento, foi conduzida a fase de teste das funcionalidades, verificando o devido ajuste dos valores inseridos a uma curva de glicose e a eficácia de outro componentes do sistema. Esses testes foram essenciais para garantir que a aplicação atenda as necessidades dos profissionais de saúde. É importante destacar que a validação dos resultados deve ser feita pelos profissionais de saúde que utilizarão o software.

4. Resultados e Discussões

4.1. Fluxograma de Processos

O desenvolvimento do GLICOCON resultou na criação de um fluxograma que detalha os processos do sistema do ponto de vista do usuário. Este fluxograma, conforme ilustrado na Figura 2, oferece uma representação visual das etapas envolvidas na utilização da aplicação, facilitando a compreensão e a interação dos profissionais de saúde com o sistema.

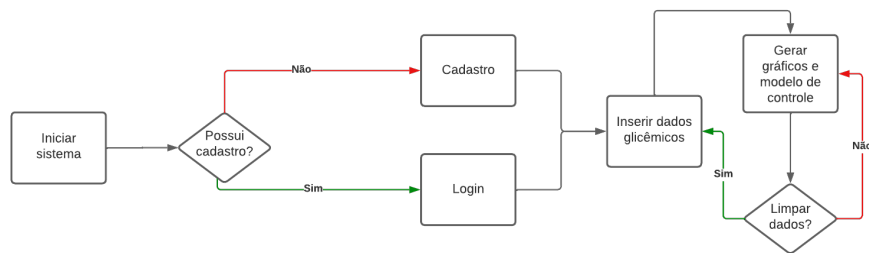


Figure 2. Fluxograma de Processos

Esse fluxo direcionado torna a utilização da aplicação web mais intuitiva e orientada para as necessidades dos profissionais de saúde, garantindo uma interação flexível, possibilitando a adaptação do sistema às necessidades específicas de cada paciente.

4.2. Funcionamento do sistema

O GLICOCON construído com tecnologias como Node.js e MySQL para o back-end, Flask em Python para cálculos e representação gráfica, juntamente com HTML, CSS e Chart.js para o frontend, oferece um ambiente altamente funcional para o registro, análise e modelagem dos níveis de glicose.

Este software demanda autenticação prévia do médico para acesso. Caso não esteja registrado, é direcionado a realizar o cadastro. Uma vez autenticado, o médico tem a capacidade de inserir manualmente os dados de glicose ao longo do tempo, conforme ilustrado na Figura 3. A página inicial permite solicitar a geração de gráficos e modelos matemáticos correspondentes. Além disso, o sistema oferece a opção de limpar os dados, possibilitando a repetição do procedimento conforme necessário.

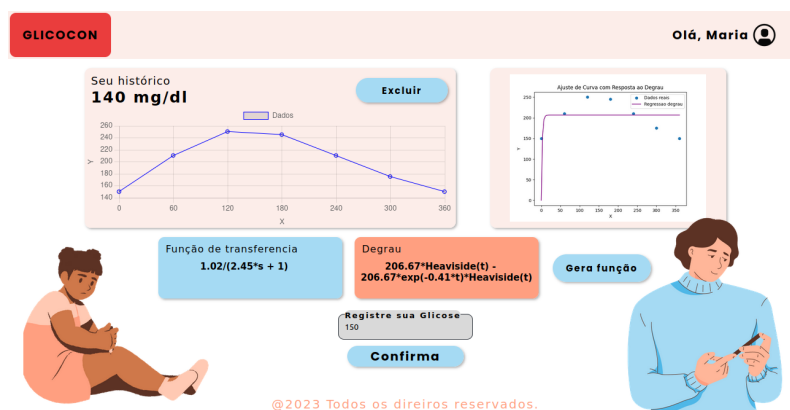


Figure 3. Tela principal do sistema

Para realização de testes, inseriu-se manualmente sete valores de glicose e observou-se a geração dinâmica do gráfico de glicose a esquerda da tela da Figura 3. Solicitou-se então a geração da função. Após esse procedimento, o programa realiza os cálculos de ajuste para aproximar o sistema a uma função de transferência de primeira ordem. Obtidos os parâmetros, ambas as fórmulas da função de transferência e da sua resposta ao degrau são mostrados na interface.

Por fim, o código realizou uma comparação entre os valores de entrada e a aproximação realizada para encontrar o erro percentual médio e o erro percentual absoluto médio. Por a aproximação ter sido feita com uma função de primeira ordem, era esperado um erro maior, visto que o comportamento do corpo humano não segue o modelo do gráfico de primeira ordem. Foi encontrado um erro absoluto médio de aproximadamente 27,5

5. Conclusão

O GLICOCON, um sistema web desenvolvido para profissionais de saúde, oferece um ambiente virtual funcional para o registro e identificação do modelo dinâmico da curva glicêmica de pacientes diabéticos. A aplicação busca preencher a necessidade de um monitoramento preciso e contínuo dos níveis de glicose, fornecendo informações valiosas para os profissionais de saúde no controle do diabetes.

A incorporação de novas tecnologias na área da saúde pode aprimorar significativamente o acompanhamento de condições crônicas como o diabetes. O sistema não apenas registra, mas também analisa as tendências glicêmicas ao longo do tempo, identificando padrões que poderiam passar despercebidos.

Conclui-se que o GLICOCON pode contribuir consideravelmente para a prática clínica, auxiliando os profissionais de saúde em decisões fundamentadas e acompanhamento preciso dos pacientes diabéticos. Sua flexibilidade permite futuras melhorias e expansões, consolidando-o como uma ferramenta dinâmica e adaptável na abordagem personalizada do tratamento do diabetes. Para trabalhos futuros, considerar a utilização de funções de transferência de graus mais elevados pode ser uma estratégia promissora para aprimorar ainda mais a precisão na modelagem dos dados glicêmicos.

6. Referências Bibliográficas

- Aguirre, L. A. (2004). Introdução à identificação de sistemas – técnicas lineares e não lineares aplicadas a sistemas reais. *Editora UFMG*, 2.
- Arrais, R. F. and Crotti, P. L. R. (2015). Revisão: aplicativos para dispositivos móveis (“apps”) na automonitorização em pacientes diabéticos. *Journal of Health Informatics*, 7(4).
- da Silva, C. A. P. and Almeida, D. F. S. (2019). Métodos dos mínimos quadrados e regressão linear com ambiente jupyter e linguagem python. *IFMA*.
- de Oliveira, J. M., Percário, S., Brito, M. V. H., de Oliveira, G. C., da Silva Alexandre, A. D., dos Santos Júnior, H. S., and Alves, M. B. M. (2020). Contribuições dos instrumentos e tecnologias digitais para o monitoramento e controle do diabetes mellitus: revisão integrativa. *Brazilian Journal of Development*, 6(12):99564–99574.
- Egi, M., Bellomo, R., and Reade, M. (2009). Is reducing variability of blood glucose the real but hidden target of intensive insulin therapy? *BioMed Central*, 13(2):302.
- Monnier, L., Colette, C., and Owens, D. (2008). Glycemic variability: The third component of the dysglycemia in diabetes. is it important? *Journal of Diabetic Science and Technology*, 2(6):1094–1100.

- Oliveira, J. E. P. d., Montenegro Junior, R. M., and Vencio, S. (2017). *Diretrizes da Sociedade Brasileira de Diabetes 2017-2018*. Editora Clannad.
- Richard, R. C. D. and Bishop, H. (2016). *Modern Control Systems*. Pearson.
- Vilhena, G. J. (2013). Modelos lineares mistos aplicado na modelagem de niveis de glicemia. *Universidade de Brasilia IE-Departamento de Estatistica*.