

# Projeto e Análise de um Sistema para Aquecimento de Lagos Artificiais para Criação de Carpas-Koi

Gustavo Henrique Muller<sup>1</sup>, Júlia Kuffel<sup>1</sup>, Priscila Tanno Nogueira de Carvalho<sup>1</sup>, Ricardo Jose Pfitscher<sup>1</sup>, Siméia Paula Storch<sup>1</sup>

**gustavo.muller256@gmail.com; juliakuffelo1@gmail.com; priscilatnc@gmail.com; ricardo.pfitscher@gmail.com; storchsimeia@gmail.com**

<sup>1</sup> Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Joinville, Brasil

**DOI: 10.17013/risti.55.58–70**

**Resumo:** O controle da temperatura em lagos para criação de carpas-koi é essencial para o bom desenvolvimento dos animais. Normalmente, a manutenção da temperatura em níveis ideais requer a utilização de aquecedores elétricos, que implicam em custos excessivos aos criadores. Neste trabalho é proposto um sistema de Internet of Things (IoT) que utiliza a combinação de resistências elétricas com canos pretos expostos ao sol para auxiliar no aquecimento da água a mantê-la entre 20 °C e 30 °C. O monitoramento da temperatura da água e do funcionamento do sistema foi feito através de sensores conectados à internet utilizando um micro controlador. Após modelagem matemática da perda de calor e quantidade de energia necessária, chegou-se à conclusão de que com uma resistência de 10KW, o sistema levará cerca de 24 horas para elevar a temperatura de 20 °C para 30 °C sem o auxílio da energia solar e 21 horas com o uso da energia solar, um ganho de 10%.

**Palavras-chave:** Aquecimento de Água; Criação de Carpas; Aquecimento de Lago Artificial, Internet das Coisas

## ***Design and Analysis of an Artificial Pond Heating System for Koi-Carp Breeding***

**Abstract:** Temperature control in ponds for koi farming is essential for the proper development of the animals. Maintaining the temperature at ideal levels typically requires using electric heaters, which entails excessive costs for the breeders. This work proposes an Internet of Things (IoT) system that combines electric resistors with black pipes exposed to the sun to help heat the water and keep it between 20 °C and 30 °C. The system monitored the water temperature through sensors connected to the internet using a microcontroller. After mathematical modeling of the heat loss and amount of energy required, we conclude that with a 10KW resistor, the system will take about 24 hours to raise the temperature from 20 °C to 30 °C without the help of solar energy and 21 hours with the use of solar energy, a gain of 10%.

**Keywords:** Water heating; Carp Breeding; Artificial Lake Heating, Internet of Things

## 1. Introdução

Surgindo entre os séculos 19 e 20 nas regiões montanhosas de Niigata, no Japão (Airinkai, 2010), a beleza e as cores das carpas-koi (*Cyprinus rubrofasciatus* “koi”), ou Nishikigoi, como são chamadas em seu país de origem, conquistaram o mundo e, sendo animais de cuidado relativamente fácil, é comum encontrar criadores da raça, seja por *hobby* ou para comercialização.

Entretanto, como são uma variação da carpa-comum (*Cyprinus carpio*), as Nishikigoi também são sensíveis a mudanças de temperatura na água, que tem papel importante no metabolismo desses animais. A temperatura ideal varia de 24 °C a 28 °C para um bom desenvolvimento e crescimento, mas temperaturas na faixa entre 8 °C e 30 °C são toleráveis (Ferreira et al, 2009).

Sem um sistema de aquecimento, alcançar a temperatura necessária para um bom desenvolvimento das carpas em locais de baixa temperatura se torna uma dificuldade na criação e reprodução desses animais. Normalmente, estratégias para aquecimento de reservatórios de água como lagos e piscinas utilizam sistemas compostos por aquecedores elétricos, a combustão, ou solares. Enquanto sistemas elétricos e a combustão implicam em altos custos financeiros associados ao consumo de energia elétrica e tem um forte impacto ambiente, sistemas solares são difíceis de controlar (Li e Huang, 2019).

Este artigo aborda o problema de controle de temperatura de lagos artificiais de forma composta, utilizando um sistema de controle que gerencia o uso de uma resistência elétrica e uma fonte de calor solar. Com o objetivo de controlar de forma precisa o sistema, o projeto inclui um modelo matemático para cálculo do tempo de aquecimento considerando a composição das duas fontes de calor e as perdas envolvidas no ambiente.

O modelo matemático foi concebido para um cenário de um lago artificial de 20 mil litros de água, e um protótipo foi desenvolvido com ESP32 para validação em escala reduzida. Assim, as contribuições deste artigo são: (i) apresenta um projeto de arquitetura de sistema para aquecimento de lagos artificiais para criação de carpas-koi utilizando componentes de baixo custo; (ii) modela analiticamente o tempo de aquecimento do reservatório, e (iii) avalia experimentalmente a arquitetura do sistema com um protótipo.

O restante deste artigo está organizado da seguinte forma. Na Seção 2 é apresentado o projeto do sistema, um ambiente de simulação e a modelagem analítica para cálculo das perdas de calor e tempo de aquecimento. Na Seção 3 é apresentada a concepção do protótipo e a validação experimental. Por fim, na Seção 4 são apresentadas as conclusões e os trabalhos futuros.

### 1.1. Trabalhos Relacionados

Alguns trabalhos da literatura propõem soluções próximas para o problema do aquecimento de aquários utilizando IoT. Por exemplo, Oliveira Junior et al. (2019) conduziram um monitoramento da temperatura da água em um aquário utilizando o sensor DS18B20 integrado a um Arduino e um módulo Bluetooth para visualizar a temperatura remotamente integrado a um aplicativo para smartphone. O controle da temperatura do aquário foi realizado por meio de um botão de pulso em conjunto com um relé. Apesar de os resultados mostrarem que o dispositivo é capaz de manter

a temperatura no alvo desejado, a solução utiliza unicamente uma resistência sem combinar com fontes de energia renovável, que é o diferencial do presente artigo.

Por sua vez, Souza et al. (2017) propuseram um sistema completo para manutenção de um aquário utilizando tecnologias IoT. A solução envolve controle e monitoramento, para o controle, são utilizados sensores (temperatura, ph, nível de água) e acionadores que ativam e desativam (iluminação, filtro de água, injetor de gás carbônico, aquecedor e alimentador). Para o monitoramento é exibido no display de LCD, que mostra os valores de retorno dos sensores (valor da temperatura, valor do PH, nível de água). A proposta desse artigo se diferencia do trabalho de Souza et al. (2017) por focar no aquecimento do aquário e por adicionar um modelo matemático para estimar o consumo energético de um sistema com e sem o uso da energia solar para o aquecimento.

Com a mesma característica de modelagem matemática, Kuyumcu e Ymrutas (2017) se dedicaram à análise e modelagem matemática de um sistema de aquecimento para piscinas olímpicas, utilizando o calor não aproveitado pelo sistema de resfriamento de um ringue de patinação. Os resultados do trabalho mostram a viabilidade da utilização do calor desperdiçado pelo sistema de patinação, mostrando que um ringue de patinação de 600 m<sup>2</sup> consegue manter aquecida uma piscina olímpica. Diferentemente do trabalho de Kuyumcu e Ymrutas, este artigo avalia o quanto um aquecedor baseado em energia solar pode beneficiar um sistema de aquecimento de lagos baseado em resistências elétricas.

Similar a nossa proposta, Li e Huang (2019), se dedicaram à modelagem matemática de um sistema de aquecimento para piscinas, porém com duas fontes de energia: energia e solar uma bomba de fonte de ar, juntamente com tanques PMC que possibilitam o armazenamento de calor. Os resultados de Li e Huang (2019) corroboram com os nossos achados, demonstrando ganhos econômicos significativos ao se utilizar energia solar. Diferentemente do trabalho de Li e Huang, o presente artigo realiza uma análise experimental além da simulação, desenvolvendo um protótipo com IoT para validar os resultados encontrados.

Ainda no escopo de IoT, mas em um contexto diferente do aquecimento de água, de Oliveira et al. (2021) desenvolveram um sistema de monitoramento e controle automatizado de temperatura para um aviário. Os resultados mostram que o sistema automatizado, utilizando um ESP32 é capaz de manter a temperatura do aviário em valores mais estáveis que um ajuste manual. Em uma abordagem similar, só que no contexto de manutenção de temperatura de construções, Rojas et al. (2020) projeta um sistema para controle de temperatura em residências utilizando um controlador Arduino e a contabilidade do número de pessoas em cada ambiente. Os resultados da implementação de um protótipo mostram a viabilidade técnica da implementação do projeto proposto.

## **2. Projeto do Sistema de Aquecimento**

Para o desenvolvimento do sistema de aquecimento composto, estipulou-se primeiro a quantidade de água a ser aquecida. Estabeleceu-se um reservatório retangular com 5 metros de comprimento, 5 metros de largura e 2 metros de profundidade, comportando

50 mil litros de água, simulando um lago artificial que proporcione um bom espaço para o desenvolvimento das carpas-koi.

Para corroborar o quão representativo o reservatório idealizado seria de um criadouro de carpas real, contactou-se um criador profissional local, que por questões comerciais não será divulgado. Após esclarecimento de dúvidas, constatou-se que o tamanho do reservatório depende do objetivo de criação desses animais: exposição, reprodução, crescimento etc. Quanto maior o local e menor a quantidade de carpas juntas, com a devida alimentação e temperatura adequada de água, maior o seu desenvolvimento.

Entretanto, o volume de água também influencia na quantidade de energia necessária para aquecer e manter a temperatura do líquido dentro do reservatório. Sendo assim, a faixa tolerável de temperatura da água foi estipulada entre 20 °C e 30 °C e o tamanho do reservatório foi alterado para 5 metros de comprimento, 2 metros de largura e 2 metros de profundidade, respeitando também a necessidade de pelo menos mil litros de água por carpa (Bastos, 2023).

O reservatório conta com duas aberturas: uma superior para entrada de água onde haverá o aquecimento, e uma inferior para saída da água aquecida, estimulando a circulação e a troca de temperatura. Tendo em vista as dimensões e a quantidade de água no reservatório, o controle da temperatura será feito com a utilização de dois termostatos, um perto da superfície da água e um na parte inferior, ambos longe da saída aquecida para aferição adequada. Há também uma segunda saída de água para resfriamento quando necessário. A Figura 1 ilustra o projeto do sistema, onde é possível observar os dois métodos de aquecimento em conjunto.

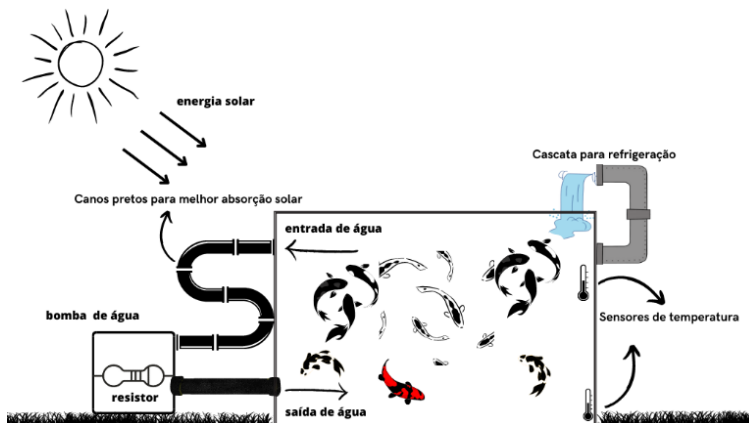


Figura 1 – Ilustração do Projeto Preliminar

No lado esquerdo, há um cano preto exposto ao sol para absorção de calor e a resistência em seguida para garantir o aquecimento quando necessário, o comprimento deste cano pode variar conforme o espaço disponível no local, na Seção 2.3 é discutido o impacto

deste comprimento na manutenção da temperatura do reservatório. As setas apontam a direção em que a água deverá entrar, fria ou em temperatura ambiente, e sair do cano, reentrando no reservatório já aquecida. No lado direito da imagem é possível também notar os dois termostatos mencionados e seus devidos locais de acoplamento.

## 2.1. Funcionamento e Arquitetura do Sistema

O sistema ligará automaticamente o aquecimento se a média das temperaturas aferidas pelos dois termostatos for menor ou igual a 25 °C, e desligará o aquecimento se a média chegar em 29,5 °C, para garantir que a água do lago artificial esteja na faixa de temperatura adequada e não ultrapasse o limite de 30 °C.

Tendo em vista o objetivo de prover um sistema preciso e de baixo custo, fez uma simulação do funcionamento do sistema de aquecimento utilizando o programa de modelagem tridimensional online gratuito TinkerCAD (Storch, 2023). Para a simulação no software foram utilizados o Arduíno, um sensor de temperatura, dois LEDs e um servo motor. As Figuras 2.a e 2.b a seguir ilustram o sistema quando está ligado e desligado, respectivamente.

É possível observar no lado direito da Figura 2.a o LED vermelho aceso, simbolizando que a resistência está ligada e gerando calor, enquanto o servomotor com as hastes maiores posicionadas em 180° representa a passagem liberada de água aquecida pelo cano em direção ao reservatório. Na Figura 2.b tem-se o LED azul aceso no lado esquerdo, representando o sistema de aquecimento desligado, e as hastes maiores do servomotor em 90° com a horizontal para circulação da água sem aquecimento.

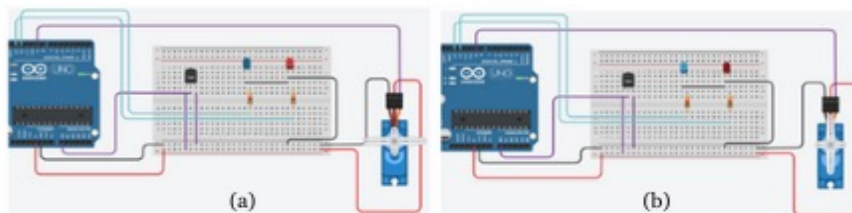


Figura 2 – Sistema ligado (a) e desligado (b)

## 2.2. Modelagem do Calor Perdido pela Água por Convecção com o Ar

Considerando o pior cenário como sendo a ausência de sol (onde não há absorção de energia solar para aquecimento), temperatura ambiente de 20 °C e vento a 2m/s, aproximadamente a temperatura e velocidade médias do vento no Brasil (Lopes & Moura, 2002), o calor é ganho somente pela resistência e perda por convecção na superfície da água e do cano.

Considerou-se que as paredes não trocam calor e não há evaporação, nem irradiação. Para saber quanto calor é necessário para esquentar a água de 20 °C para 30 °C, usamos a fórmula de quantidade de calor sensível:

$$Q = m \times c \times \Delta t = 873,2 \text{ MJ}$$

Onde:

- $m = \text{massa da água} = 20 \text{ m}^3 \times 100 \text{ kg/m}^3$
- $c = 4186 = \text{calor específico da água em J/Kg}$
- $\Delta T = (30 - 20) \text{ em graus Celsius}$
- $V = \text{velocidade do vento} = 20 \text{ m/s}$
- $L = \text{comprimento do reservatório} = 2 \text{ m}$
- $\nu = \text{viscosidade cinemática do ar} = 1,516 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$
- $\mu = \text{viscosidade dinâmica do ar} = 1,8215 \times 10^{-5}$
- $c_p = \text{calor específico do ar} = 1007 \text{ J/Kg}$
- $k = \text{condutividade térmica do ar} = 0,02514$
- $k, c_p, \nu$  e  $\mu$  são dados à  $20^\circ\text{C}$

Precisa-se encontrar o calor perdido por convecção na superfície da água devido ao vento. Para isso, utiliza-se o coeficiente de convecção obtido através da relação entre Reynolds (Re), Prandtl (Pr) e Nusselt (Nu) na superfície de uma placa. Para fins matemáticos considerou-se a água como um sólido. (Kuyumcu & Yumrutas, 2017).

O Reynolds depende do comprimento do reservatório, da velocidade e da viscosidade cinemática do ar, esses valores são relacionados por:

$$Re = \frac{V \times L}{\nu} = \frac{2 \times 2}{1,516 \times 10^{-5}} = 263.852,243$$

O Prandtl depende apenas das propriedades e da temperatura do ar:

$$Pr = \frac{\mu \times c_p}{k} = \frac{1,825 \times 10^{-5} \times 1007}{0,02514} = 0,7309$$

O Nusselt, por sua vez, depende do Reynolds e do Prandtl. A fórmula para encontrar o Nusselt depende do valor de Reynolds, como  $Re < 5 \times 10^5$  o Nusselt utilizado será dado por:  $0,664 \times \sqrt[3]{Pr} \times \sqrt{Re}$ . Desse modo, obtemos um Nusselt de:  $Nu = 307,23$  e com esse valor conseguimos encontrar o coeficiente de convecção (h) através da equação:

$$Nu = \frac{h \times k}{L}, h = \frac{307,23 \times k}{L} = 3,862$$

Assim, é possível obter o calor perdido pela superfície da água em função da diferença de temperatura entre ela e o meio:

$$q_{\text{água}} = h \times A_{\text{superfície}} \times \Delta T = 3,862 \times 2 \times 5 \times \Delta T$$

$$\therefore q_{\text{água}} = 38,62\Delta T J$$

### 2.3. Modelagem do Calor Perdido pelo Cano

Para encontrar o calor perdido pelo cano, é primeiramente necessário encontrar o coeficiente de convecção, chamamos o caso em que o calor é perdido pelo vento batendo no cano de escoamento cruzado. O procedimento é o mesmo que o anterior, todavia, o Reynolds e Nusselt são calculados de forma diferente, enquanto o Prandtl se mantém constante. Com  $D = 3,5\text{cm}$  sendo o diâmetro e  $L = 10\text{m}$  o comprimento do cano.

O Reynolds depende do diâmetro do cano, da velocidade do ar e de sua viscosidade cinemática:

$$Re = \frac{V \times D}{\nu} = 4617$$

Como o Reynolds se encontra dentro da faixa entre 4.000 e 40.000, utilizaremos o Nusselt da forma:

$$Nu = 0,193 \times Re^{0,618} \times Pr^{\frac{1}{3}} = 31,97$$

Assim, é possível obter  $h$ :

$$h = Nu \times \frac{K}{D} = 22,964$$

E em seguida o calor perdido por convecção no cano em função da diferença de temperatura com o meio:

$$q = h \times A_{\text{superfície}} \times \Delta T = 22,964 \times \pi \times D \times L \times \Delta T$$

$$\therefore q = 25,25\Delta T J$$

A escolha do valor da resistência foi baseada em pesquisa de mercado e cálculos testes para diferentes tempos de aquecimento. Para a aplicação, foi escolhida uma resistência de 10KW, que funcionará eficientemente para a faixa de temperatura escolhida. Supondo que todo o calor gerado pela resistência seja transferido para a água, conclui-se que o calor (J/s) gerado menos o calor perdido ao longo do tempo (t) deve alcançar a energia necessária para aquecer a água (837,2 MJ).

$$(q_{\text{resistência}} - q_{\text{água}} - q_{\text{ar}}) \times t = 837.200.000$$

O calor perdido depende da temperatura, todavia, o mesmo varia linearmente, então fez-se a média de modo a obter um valor equivalente:

$$\frac{(q_{\text{cano}} + q_{\text{água}}) \times 10}{2} = 318,02 \text{ J/s de perda}$$

Onde 10 é a variação máxima de temperatura entre a água e o ambiente.

$$(10\text{Kw} - 319,25\text{W}) \times t = 837,2\text{MJ}$$

$$\therefore t = 86481,8\text{s} = 24 \text{ horas}$$

Logo, leva-se aproximadamente 24 horas para aquecer a água de 20 °C a 30 °C sem a influência solar.

#### 2.4. Análise do Melhor Caso

De modo a calcular o calor recebido em um dia ensolarado, utilizou-se a equação de absorção de calor por superfícies negras:

$$q = \sigma \times T^4$$

Onde  $q$  representa o calor absorvido,  $\sigma = 5,67 \times 10^{-8}$  a constante de Stefan-Boltzmann e  $T$  a temperatura em Kelvin.

O solo recebe aproximadamente 1000 Watts/m<sup>2</sup> de energia através da luz solar (Murphy, 2012). Ao utilizar esse valor para  $q$ , obtém-se uma temperatura de superfície do cano de 91 °C, no entanto, tal aproximação não é realista por não considerar a perda por convecção. Utilizou-se então o coeficiente de convecção para o cano obtido anteriormente ( $h = 22,964$ ) para estimar sua temperatura da superfície através da seguinte equação:

$$q \times A = h \times A \times (T_f - T_{\text{amb}})$$

Onde  $q$  representa os 1000 Watts/m<sup>2</sup>,  $h$  o coeficiente de convecção,  $A$  representa a área do cano e  $T_{\text{amb}}$  a temperatura ambiente (20 °C). A temperatura final na superfície  $T_f$  do cano obtida então foi de 63,55 °C. Assumiu-se que essa temperatura é homogênea em torno do cano e então utilizou-se a equação:

$$T_0 = T_s - (T_s - T_i) \times e^{\frac{-h \times A}{\dot{m} \times c_p}}$$



Onde  $T_0$  é a temperatura de saída da água,  $T_s$  a temperatura na superfície do cano,  $T_i$  a temperatura da água na entrada do reservatório (assumida como 20 °C),  $h$  o coeficiente de convecção e  $C_p$  o calor específico da água (4186 J/Kg). Obtém-se assim uma temperatura  $T_0$  de 20,02 °C. Utilizando a temperatura  $T_0$  na equação de calor:

$$q = \dot{m} \times C_p \times (T_0 - T_i)$$

Obtém-se que  $q$ , representando o calor fornecido pela luz solar no sistema, é de 1099 W. Com esse calor, é possível aquecer a água em aproximadamente 21 horas, uma redução de 3 horas em relação ao pior caso, com 1,099 kW/h fornecidos pela presença constante e intensa da luz solar.

### 3. Validação Experimental

Os elementos para a criação do protótipo foram escolhidos com base na escala necessária para a utilização da modelagem matemática feita para a simulação do sistema de aquecimento do lago artificial, bem como pelo custo de aquisição.

A placa de desenvolvimento utilizada para o sistema de checagem de temperatura foi o ESP32 por ter módulo Wi-Fi integrado, de utilização similar ao Arduíno e mais barato quando comparado a outras placas com propriedades parecidas, como o RaspBerry Pi.

Para simular o lago artificial foi utilizado um reservatório de plástico de 20 litros. Tendo em vista a faixa de temperatura escolhida para a operação do sistema, os canos do projeto idealizado foram substituídos por dois metros de mangueira cristal de PVC, que suportam até 55 °C e são maleáveis, permitindo o transporte do protótipo sem risco de quebra.

O aferimento da temperatura da água foi realizado com o sensor DS18B20, por ser à prova d'água e aferir com precisão de  $\pm 0,5$  °C, o tornando suficiente para a faixa de temperatura idealizada para o projeto. É compatível com o ESP32 e similarmente utilizado por (Junior et al, 2019) e (Souza et al, 2017) para realizar o monitoramento da temperatura em aquários para peixes.

A resistência utilizada foi um aquecedor de água “rabo quente” de 830 W, conectada a um módulo relé para o controle de funcionamento. Para o bombeamento da água foi utilizada uma minibomba submersível com vazão de 1,6 litros/minuto. A Figura 3 mostra como o protótipo foi construído e utilizado para a validação do projeto.

Em (1) tem-se um recipiente onde a bomba de água foi instalada, juntamente com a resistência “rabo quente”. A água absorve o calor solar ao sair do reservatório pela mangueira preta e então deságua no recipiente. O aquecimento da água é feito com o auxílio da resistência e então bombeada de volta ao reservatório através da mangueira transparente.

Em (2) tem-se a parte elétrica, responsável pelo controle do sistema de aquecimento. O ESP32 recebe a informação de temperatura aferida pelo termostato dentro do

reservatório, exibe o valor lido e o utiliza para controlar o relé, ao lado direito da imagem, que determina se a resistência será ligada ou desligada.



Figura 3 – Montagem do protótipo para validação do projeto. (1) Aquecimento e bombeamento de água. (2) Controle elétrico do protótipo. (3) Posicionamento para realização dos experimentos.

Em (3) tem-se o posicionamento do reservatório e do recipiente para a realização dos experimentos. O reservatório utilizado para simular o aquário de carpas encontra-se a uma altura mais elevada em relação ao recipiente, para que a água flua pela mangueira preta sem esforço adicional.

### 3.1. Análise de Dados

Foram realizados três experimentos para cada um de dois cenários - no cenário I, a temperatura inicial era cerca de 20 °C, próxima a temperatura ambiente, e no cenário II a temperatura inicial era próxima a 10 °C, para simular região com temperaturas mais amenas - ambos sob incidência solar, intercalando-os entre si para evitar resultado enviesados. O tempo decorrido para o aquecimento da temperatura inicial até 25 °C (em minutos), a temperatura ambiente e o horário do dia em que os experimentos foram realizados podem ser visualizados na Figura 4 a seguir.

Inicialmente, a fim de comparação de dados, elaborou-se um programa em Python para a inserção dos dados de temperatura inicial da água e tempo de aquecimento, também em minutos, obtido com a modelagem matemática do projeto aplicada ao protótipo, para visualização da relação esperada entre as variáveis. Após a realização dos experimentos e obtenção de dados reais, elaborou-se um gráfico, exibido na Figura 5, para análise dos resultados obtidos.

Cenário		I			II		
Experimento		1°	2°	3°	1°	2°	3°
Aproximadamente, o horário do experimento		13:30	15:30	10:00	11:30	14:00	09:00
Variável(s) independente	Temperatura inicial no reservatório (°C)	21,6	21,44	19	9,5	8,31	8,81
	Incidência solar	sim					
	Temperatura ambiente aproximadamente (°C)	22	24	20	23	24	18
Tempo para chegar na faixa de temperatura segundo o <b>cálculo analítico</b> (minutos)		5,54	5,78	9,82	25,27	27,09	26,63
Tempo para chegar na faixa de temperatura no <b>experimento</b> (minutos)		5,42	5,47	8,42	22,45	23,85	26,22
Diferença do analítico e o experimental		0,12	0,31	1,4	2,82	3,24	0,41
Dados estatísticos	média	6,44			24,17		
	desvio padrão	1,72			1,91		
	erro quadrático médio	0,69			6,21		

Figura 4 – Registro de Dados

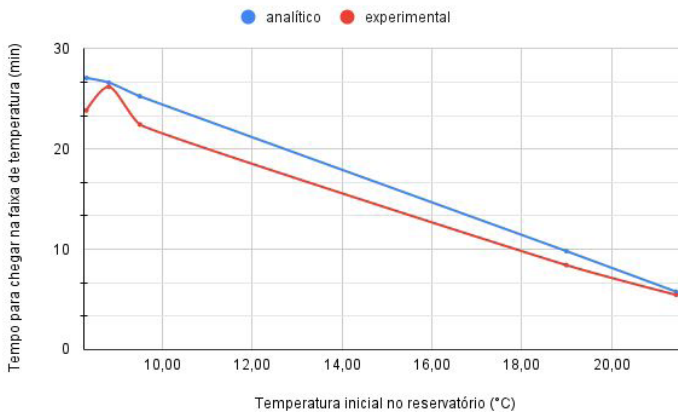


Figura 5 – Comportamento esperado obtido através da modelagem matemática e comportamento real.

Foi considerada uma perda média de calor, acarretando a linearização dos gráficos. A curva superior apresenta o comportamento esperado, obtido através da análise feita em Python, e a curva inferior apresenta o comportamento obtido através da coleta de dados experimental. Nota-se que não há grande diferença de comportamento no aquecimento da água, exceto pelo pico da curva inferior quando a temperatura inicial da água está abaixo de 10 °C.

Dado o número reduzido de experimentos realizados e o fato de que a incidência solar e velocidade do vento, que desempenham um papel significativo na perda de calor, não foram consideradas como variáveis, o erro experimental obtido não possui um impacto considerável em relação aos objetivos estabelecidos para o protótipo. Assume-se que a relação de aquecimento obtida para o protótipo seja comparável à do projeto do lago artificial para carpas, levando em consideração que os experimentos foram conduzidos em uma escala menor, mas correspondente ao projeto original.

#### 4. Conclusões

Para a criação de Carpas-koi em lagos artificiais com um crescimento adequado é necessário controlar a temperatura do reservatório em uma faixa ideal entre 24 e 28° Celsius. Entretanto, soluções baseadas em uma única fonte de calor podem ter custo de operação alta. Para atacar esse problema, foi idealizado um sistema de aquecimento para lagos artificiais utilizando controle de tensão em uma resistência e a própria luz solar em canos pretos para aquecer a água.

Foi apresentado um projeto do sistema, uma simulação de funcionamento e e uma modelagem analítica para os cálculos de perda de calor e quantidade necessária de energia para aquecer a água no reservatório.

Para validação do modelo matemático foram conduzidos experimentos com um protótipo em escala menor, correspondente ao projeto original, e os dados experimentais foram comparados aos dados obtidos com a modelagem matemática através de um gráfico. A partir da análise gráfica constatou-se que o comportamento experimental corresponde ao comportamento previsto matematicamente, confirmando a acurácia da análise feita para o projeto do sistema de aquecimento para lago artificial.

Como trabalhos futuros, espera-se incluir um sistema de controle inteligente com interface de comunicação para a internet que permita coletar dados de previsão do tempo. Tal sistema poderia, por exemplo, coletar dados de previsão de tempo e ajustar o uso de fontes de calor de forma adequada.

#### Referências

- Bastos, T. R. (2023). Carpa koi: Mil litros por carpa, por quê? *Betta Conscience*. <https://bettaconscience.wordpress.com/carpa-koi-mil-litros-por-carpa-por-que/>
- Ferreira, P. M. F., Barbosa, J. M., Santos, E. L., Lima, M. R., & Cabral, G. A. L. (2009). Efeito da temperatura sobre a taxa metabólica da carpa-comum (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758). *Revista Brasileira de Engenharia de Pesca*, 4(2), 2. <https://ppg.revistas.uema.br/index.php/REPESCA/article/view/106>
- The History of Nishikigoi. (2010). *Zen Nippon Airinkai*. <https://zna.jp/en/keep-nishikigoi/>
- Kuyumcu, M. E. (2017). Thermal analysis and modeling of a swimming pool heating system. *Thermal Science*, 21(6A), 2661-2672. <https://doi.org/10.2298/TSCI151225148K>

- Li, Y., & Huang, G. (2019). Development of an integrated low-carbon heating system for outdoor swimming pools for winter application. *E3S Web of Conferences*, 111, 03031. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911103031>
- Mangueiras de Sucção. (n.d.). *Mangueira PVC cristal trancada*. <https://www.mangueirasdesucacao.com.br/mangueira-pvc-cristal-trancada>
- Morais, G. M. de, Sobrinho, J. E., Santos, W. de O., Costa, D. de O., Silva, S. T. A. da, & Maniçoba, R. M. (2014). Caracterização da Velocidade e Direção do Vento em Mossoró/RN. *Revista Brasileira De Geografia Física*, 7(4), 746–754. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v7.4.p746-754>
- Murphy, T. (2012). Basking in the sun. *Do The Math*. <https://dothemath.ucsd.edu/2012/01/basking-in-the-sun/>
- O clima no Brasil. (2023). *Dados Mundiais*. <https://www.dadosmundiais.com/america/brasil/clima.php>
- Oliveira, M. E., de Oliveira, R. L. Z., Trujillo, P. A. R., Trigoso, J. A. C., & Tech, A. R. B. (2021). Desarrollo de un sistema automatizado de monitoreo y control térmico para un aviario convencional mediante tecnología IoT. *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, (E44), 49-62. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8668393>
- Oliveira Junior, A. J. R. de, Oliveira, E. H. H. de, & Marques, L. D. (2019). Sistema de monitoramento e controle de temperatura da água de um aquário. [Trabalho de Conclusão de Curso em Tecnologia em Automação Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa]. Repositório da UTFPR. <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/16956>
- Rojas, C. A. T., Chanchí, G. E. G., & Villalba, K. M. (2020). Propuesta de una arquitectura IoT para el control domótico e inmótico de edificaciones. *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, (E27), 28-40. <https://www.risti.xyz/issues/ristie27.pdf>
- Souza, P. H. A., da Silva, M. H. R., de Mello, R. B., Piurcosky, F. P., & Pereira, W. F. (2019). Automação e monitoramento em aquários utilizando Arduino. *Interação - Revista De Ensino, Pesquisa E Extensão*, 19(2), 162–181. <https://doi.org/10.33836/interacao.v19i2.144>
- Storch, S. P. (2023). Funcionamento sistema de aquecimento. *TinkerCAD*. <https://www.tinkercad.com/things/iE8QzIMxX7W>
- Viscosity of air, dynamic and kinematic. (n.d.). *Engineers Edge*. [https://www.engineersedge.com/physics/viscosity\\_of\\_air\\_dynamic\\_and\\_kinematic\\_14483.htm](https://www.engineersedge.com/physics/viscosity_of_air_dynamic_and_kinematic_14483.htm)
- Vivanco-Herrera, E. V., Mayorga-Jácome, T. C., Colmenarez-Mujica, M. C., & Cardoso-Machado, M. F. (2024). Review of Internet of Things applications in photovoltaic systems. *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*. (E65), 543-553. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85187124370&partnerID=40&md5=1b9f83154dd41e50b22e3d18c2d65d2a>