

## Color Selection System Based on Linear Regression and ANN

Júlio César Pinheiro Pires, Olavo Avalone Neto, Laline Elisangela Cenci

Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

[julio.pires@ufsm.br](mailto:julio.pires@ufsm.br)

[olavo.neto@ufsm.br](mailto:olavo.neto@ufsm.br)

[laline.cenci@ufsm.br](mailto:laline.cenci@ufsm.br)

**Abstract.** Color selection is one of several abilities necessary for architectural design. This study presents a web-based JavaScript application capable of foreseeing a color scheme combination that matches a client's choice pattern based on previous choices made by them. It uses linear regression and Adapted Artificial Neural Network (ANN) for color and shade selection. First, it estimates users' choice patterns through least mean squares and applies that in the generation of other patterns. It then considers the least square means through a weight factor for the training stage. This study presents the validation of the first process and the correlation between the application's estimated results and users' color match expectations. 81.9% of participants found estimated responses to be similar or very similar to the choices they would make; 88% found usage intuitive or very intuitive, and 88.6% agrees the application has some utility to their professional life.

**Keywords:** Color, Linear Regression, Information System, Usability analysis, Moodboard

### 1 Introdução

A escolha de cores na arquitetura é uma tarefa complexa. Existem aspectos diversos envolvidos tanto na aplicação da cor em superfícies externas de edificações quanto em ambientes internos. Tais aspectos se referem às percepções fisiológicas, parâmetros culturais e simbólicos e características físicas da cor.

Silveira (2015) aborda o estudo e a aplicação da cor relacionados aos aspectos culturais e simbólicos como algo complexo, principalmente porque os profissionais que elaboram tais estudos também estão inseridos na construção cultural simbólica. Para a autora, é preciso estudar o significado das cores, para aplicação em projetos, com objetivo de separar o que é construção cultural coletiva do que é construção cultural individual. Assim torna-se possível ter uma visão externa, evitando considerar o gosto pessoal na designação da cor no projeto.

Para Nunes et al (2020), a percepção das cores vai além da capacidade fisiológica ou física e tem como principal fator a associação ao comportamento humano. Tais comportamentos têm a ver com as estruturas neurais relacionadas à emoção. As autoras apontam para uma relação entre os processos emocionais e a capacidade de concentração diante de estímulos cromáticos.

A relação da aplicação da cor na arquitetura e seu resultado esperado pode ser estreita, porém não é simples nem trivial. Nem sempre o que se prefere é o que efetivamente se escolhe. Além disso, é mais fácil comparar opções do que explicitar o processo de escolha. Este processo se torna ainda mais complexo quando a escolha é mediada por um agente externo. Em arquitetura, o arquiteto é encarregado de fazer escolhas que irão refletir, ao menos em parte, o gosto do cliente, mas nem sempre o gosto do cliente é evidente, mesmo quando este busca expressá-lo explicitamente. Por vezes, este processo pode ser lapidado por reuniões de entregas intermediárias na qual o projetista apresenta uma proposta que poderá agradar ao cliente, e avalia o sucesso desta proposta pela reação do mesmo.

Um sistema de seleção de cores pode deixar explícito preferências implícitas do cliente, facilitando o trabalho do projetista em propor alternativas que irão atender as demandas do cliente, sem que este precise ser repetidas vezes consultado. A possibilidade de verificar se uma escolha de combinação de cores está de acordo com a preferência implícita do cliente permite agilidade no processo de projeto, redução do trabalho de geração de alternativas e retrabalhos de adequação.

Neste sentido, o uso de conceitos matemáticos de probabilidade e previsão pode viabilizar tal possibilidade.

## **1.1 Probabilidade**

A observação de fenômenos e suposições adequadas pode caracterizar um método para criação de modelos teóricos capazes de reproduzir distribuição de frequências.

Segundo Correa (2003), os fenômenos aleatórios podem ser explicados com a adoção de modelos matemáticos probabilísticos.

O método das probabilidades só tem sentido em um contexto de amostragem, cujo objeto deve ser o conjunto dos resultados possíveis em um experimento que considera incertezas antes das observações (CORREA, 2003).

Neste contexto, considera-se a correlação (relação entre duas variáveis) de certo modo importante na construção de um processo onde se leva em consideração as estimativas. Correa (2003) descreve correlação linear como sendo uma linha de tendência ou uma linha média, onde um conjunto de variáveis (distribuição de pontos) tendem a formar uma linha reta expressando uma predisposição. Essa reta chama-se reta de regressão. Desta forma, a regressão pode ser linear ou não linear.

Regressão linear é o nome dado ao modelo matemático onde há uma única variável dependente 'y' que depende de 'k' variáveis independentes (ex.:  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_k$ ). Este modelo é utilizado para inferir dados a partir de um conjunto de respostas de exemplo conhecidas (MONTGOMERY, 2013). Desta forma, modelos de regressão podem ser aplicados para prever saídas a entradas específicas.

Por outro lado, a previsão de fenômenos ou de ocorrências, assim como a previsão de escolhas pessoais, pode ser feita através de uma rede neural artificial.

## 1.2 Neurônio Artificial

Desde a década de 40 com o modelo matemático do neurônio biológico de McCulloch e Pitts (1943), busca-se modelar a maneira como o cérebro realiza uma determinada tarefa. O trabalho foi desenvolvido por Rosenblatt (1958) que propôs uma topologia que denominou de *percéptron* e que poderia ser organizada em duas camadas de neurônios denominados MLP (Multi Layer Perceptron) ampliando os trabalhos em redes neurais até 1969 quando Minsky e Papert (1988) apontaram limitações ao modelo, o que resultou em desinteresse no campo até a década de 80. Em 1982, Hopfield revigora o interesse no campo que tem aumentado exponencialmente desde então com os avanços na capacidade de processamento e acessibilidade de computadores pessoais.

Atualmente é possível classificar redes neurais artificiais (RNA) em três categorias: redes alimentadas adiante com camada única, redes alimentadas diretamente com múltiplas camadas e redes recorrentes (FLECK et al., 2016). Redes neurais artificiais são caracterizadas por adquirir o conhecimento a partir de um processo de aprendizagem e por utilizar forças de conexões (pesos sinápticos) entre neurônios para armazenar o conhecimento adquirido. O aprendizado acontece à medida que a rede é estimulada pelo ambiente (input), ela então faz ajustes aos pesos sinápticos por processos iterativos e atinge uma solução a determinado problema (output). O treinamento da rede

pode então ser definido como o ajuste dos pesos sinápticos para que o vetor de saída coincida com o valor desejado para cada vetor de entrada. (FLECK et al., 2016).

Pode-se ainda diferenciar as RNAs em função do tipo de aprendizado, podendo ser supervisionado ou não supervisionado. No treinamento supervisionado um supervisor externo fornece a saída desejada a cada entrada da base de dados de treinamento, permitindo à rede comparar sua previsão com a saída fornecida e identificando o erro referente a cada resposta. Os pesos sinápticos são então ajustados de forma a minimizar o erro. Já no treinamento não supervisionado não há acompanhamento do processo de aprendizagem por um supervisor externo, de forma que cabe a RNA encontrar algum tipo de correlação ou redundância nos dados de entrada.

### 1.3 Objetivo da pesquisa

Este trabalho propõe uma interface que busca identificar a preferência do usuário por determinadas combinações de cores a partir da avaliação de três combinações prévias. Feitas as avaliações, dada uma determinada cor, o algoritmo pretende prever, através de regressão linear, a combinação de cor que agradará ao usuário.

Alguns métodos de escolha de cores já existem e estão disponíveis, principalmente na internet em formato de aplicativos *web-based*.

Entre alguns dos aplicativos citados estão o Canvy, o Pintura Virtual, da empresa Suvnil e o Simulador de ambientes, da empresa Renner. Cada um conta com métodos próprios que convergem para resultados similares, onde o objetivo é encontrar a combinação de cores que mais agrada o usuário.

A utilização dos aplicativos existentes está baseada na escolha de uma grande variedade de cores ofertada durante o processo de interação. É possível extrair, em alguns casos, uma paleta de cores de uma imagem para ser utilizada como referência. Existe interatividade no uso e, na maioria dos casos, os aplicativos são intuitivos. Entretanto, não foram encontrados similares que utilizem técnica relacionada à aprendizagem de máquina para fornecer respostas ao usuário.

## 2 Materiais e Métodos

O aplicativo criado nesta pesquisa permite a realização de simulações computacionais para auxiliar na escolha de combinações de cores. Este processo é feito, normalmente, de maneira manual e intuitiva, baseado em uma prática de escolha a partir de amostras.

Pode-se afirmar que a seleção de combinações pertinentes realizada de maneira empírica fornece resultados adequados ou inadequados. O fator

subjetivo está presente nesta prática e isto gera dificuldade para se obter padrões de combinações pré estabelecidas.

A definição de padrões dificilmente poderia ser feita a partir de análises de catálogos ou por combinações excludentes. Cada profissional que precisa definir combinações de cores terá sua ideia de adequação. Não há um padrão que atenda a todos.

Por haver essa particularidade subjetiva, elaborou-se uma metodologia objetivando reduzir a diferença entre disparidade de gostos e padrões preestabelecidos. A dedução da combinação mais adequada para certa situação deve estar relacionada às referências do proponente, e não a um arquétipo existente. Por isso propõe-se a elaboração de um sistema de informação que utiliza aprendizagem de padrão de combinações de cores de acordo com escolhas prévias.

## **2.1 Requisitos do Sistema**

O sistema a ser elaborado deve ter a capacidade de se adaptar às experiências anteriores do usuário a fim de aprender padrões e sugerir respostas a partir desses padrões.

Assim a elaboração do aplicativo foi dividida em etapas. Primeiramente foi estruturado o sistema de aprendizagem baseado em Regressão Linear (RL). Este sistema permite realizar um treinamento prévio, uma gravação de padrão e a proposição de respostas. Após a criação do sistema RL propôs-se um outro sistema baseado em Redes Neurais Artificiais Adaptadas (RNAA). Este sistema pressupõe a modelagem de um Perceptron considerando pesos no treinamento e oferecimento de respostas baseadas também nas informações prévias prestadas durante a fase de treinamento.

Como principais requisitos, entende-se que o sistema deva ter caráter intuitivo no uso, de modo a estimular a permanência do usuário na realização de simulações completas. Outro requisito foi o uso de imagem ilustrativa de um ambiente onde se vê as cores escolhidas em tempo real, para que as simulações façam sentido para o usuário, ao invés de apresentar apenas as cores sem contexto de utilização.

## **2.2 Elaboração do Sistema**

O aplicativo *web-based* foi desenvolvido em HTML e JavaScript. A interface (Figura 1) foi projetada em aba única para ser simples e direcionar direto para realização de simulações. Foi criado um elemento canvas HTML onde renderiza a imagem de um ambiente interno com as cores a serem simuladas. Foi também inserido um campo com instruções relacionadas à utilização do simulador.

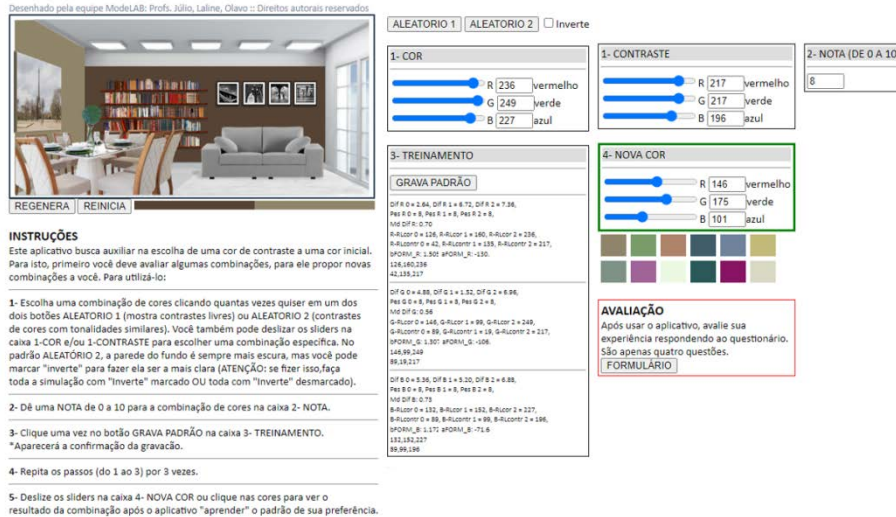


Figura 1. Interface do aplicativo. Fonte: Autores, 2021.

A parte lógica foi implementada em JavaScript, sem bibliotecas ou *frameworks*. A aplicação da Regressão Linear foi feita a partir das equações (1), (2) e (3) considerando o método dos mínimos quadrados

$$b = \frac{XY - \frac{XY}{n}}{X^2 - \frac{(X)^2}{n}} \quad (1)$$

$$a = \underline{Y} - b\underline{X} \quad (2)$$

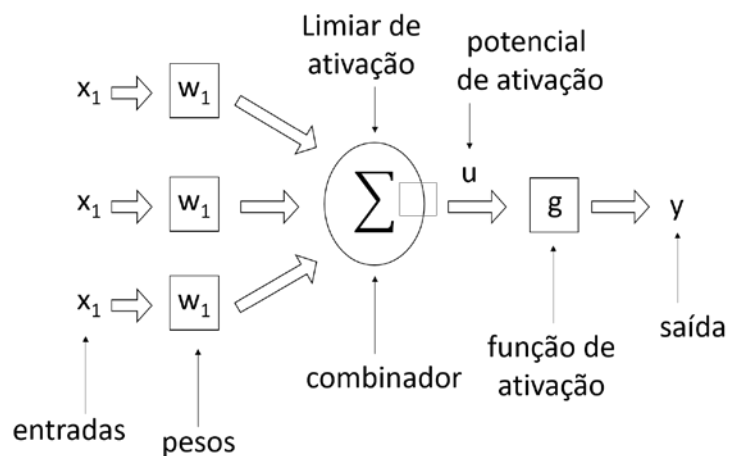
onde  $\underline{Y}$  e  $\underline{X}$  são as médias para Y e X, respectivamente, n é o número de elementos (para o aplicativo desta pesquisa considera-se  $n = 3$ , pois foram propostas 3 fases de treinamento na qual constroem-se 3 vezes a cor e 3 vezes o contraste); e

$$\underline{Y} = a + b\underline{X} \quad (3)$$

onde  $\underline{Y}$  é o valor esperado de Y para cada valor de X.

Assim foi possível definir que os valores X seriam a cor e os valores Y o contraste a ser encontrado. Como um tipo de definição de cores em HTML pode ser por RGB (Red, Green e Blue), então toda a construção das cores foi decomposta em componentes RGB. A equação da RL foi aplicada a cada componente de contraste e a cada componente de cor durante o treinamento, e somente para componentes de contraste após o treinamento, uma vez que

O método foi denominado, nesta pesquisa, de RNAA, ou Rede Neural Artificial Adaptada. A implementação considerou a modelagem de um Perceptron simples, com apenas uma camada, conforme a figura 2.



Na implementação, foram consideradas 3 entradas (x), uma para cada etapa do treinamento. Para os pesos, foram consideradas as notas atribuídas às



combinações de cores das cenas pelo usuário em cada etapa também. Com isso obteve-se um conjunto de 3 médias ponderadas. Esses valores foram decompostos na lógica RGB de constituição de cores, como no sistema RL.

As etapas de treinamento, deste modelo, foram realizadas da mesma maneira do sistema RL, em que o usuário escolheu três combinações de cores que lhe agradou. O viés ou limiar de ativação, tradicional de um neurônio artificial, foi desconsiderado devido ao fato de o treinamento levar em conta apenas as escolhas do usuário e não outras opções que este não conheça. Por outro lado, sabe-se que um Perceptron pode melhorar a aprendizagem à medida em que se manipulem os pesos e vieses para que sejam produzidas saídas mais próximas do esperado. Nesse sentido, no método proposto, a própria escolha da combinação, associada à nota emitida para essa combinação produzirá um viés que se aproxime do gosto do usuário. Assim, para cada gravação de padrão de combinação que lhe agrada, será gerado o viés que ajudará na definição da cor de contraste de seu gosto após o treinamento.

Como consequência tem-se uma equação simples, que considera a decomposição das cores em RGB e os pesos das notas. Esses pesos são incluídos nas diferenças entre os componentes RGB de cada cor e de cada contraste gravados durante o treinamento. O resultado desse processo não pode ser testado ou verificado neste estudo, ficando como tema para próximas etapas da pesquisa.

### 2.3 Testes de Utilização

O aplicativo foi testado, entre 1 e 8 de junho de 2021, por 45 alunos entre o segundo e nono semestre de um curso de Arquitetura e Urbanismo. O objetivo foi medir a adequação das previsões do algoritmo implementado. Os alunos assistiram a uma demonstração do uso do aplicativo, onde se explicou o processo de avaliação e registro das três combinações de cores iniciais. Os alunos então passaram a utilizar o aplicativo livremente. Após a utilização, os alunos responderam a um pequeno questionário composto das seguintes perguntas:

1. Você conseguiu utilizar o aplicativo? (sim / não)
2. Usar o aplicativo foi (confuso / intuitivo)
3. O aplicativo está oferecendo respostas a novas cores (diferentes do que eu escolheria / similares ao que eu escolheria)
4. Você vê utilidade no uso do aplicativo na sua vida profissional? (nenhuma / muita).

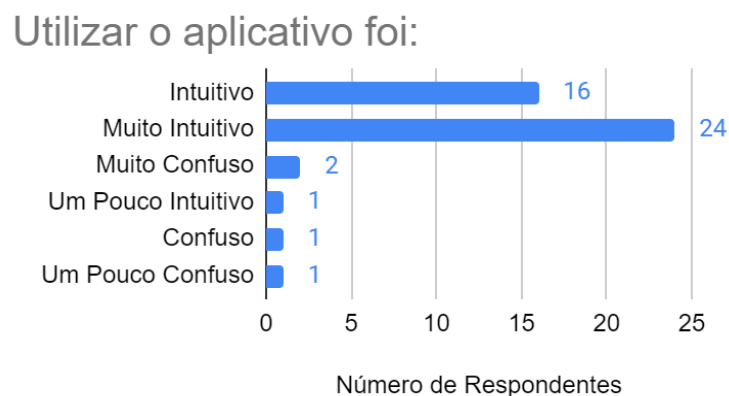
A primeira questão era binária, ao passo que as outras três questões eram de diferencial semântico, com escalas lineares de 10 pontos. Para facilitar o entendimento das respostas, estas foram convertidas e recodificadas da



seguinte forma: valores 1 e 2 para *Muito Negativo*; 3 e 4 para *Negativo*, 5 para *Pouco Negativo*, 6 para *Pouco Positivo*, 7 e 8 para *Positivo* e 9 e 10 para *Muito Positivo*. Desta forma, a questão 'Usar o aplicativo foi' ficou codificada como *Muito Confuso* (1, 2); *Confuso* (3, 4); *Pouco Confuso* (5); *Pouco Intuitivo* (6); *Intuitivo* (7, 8) e *Muito Intuitivo* (9, 10). A questão 3 foi recodificada da mesma forma, mas a questão 4, por conter a expressão *Nenhuma* em seu lado negativo, foi recodificada como *Nenhuma Utilidade* (1 a 5); *Alguma Utilidade* (6), *tem utilidade* (7, 8) e *muita utilidade* (9, 10).

### 3 Resultados

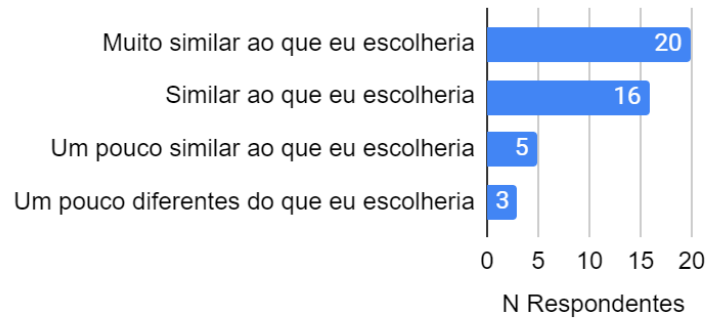
Dos 45 respondentes, apenas 1 (2,2%) afirmou não conseguir utilizar o aplicativo. Em relação a usabilidade, 53% achou o aplicativo muito intuitivo e 35% o acharam intuitivo. Três respondentes (6,6%) acharam o uso confuso ou muito confuso, um respondente achou pouco intuitivo e outro pouco confuso (Figura 3).



**Figura 3.** Respostas à pergunta "Usar o aplicativo foi intuitivo ou confuso?". Fonte: Autores, 2021.

Em relação à correspondência entre as escolhas do usuário e a previsão do aplicativo, 45,5% dos participantes acharam que as respostas do aplicativo foram muito similar as escolhas de combinação de cores que eles fariam, 36,4% responderam que é similar ao que escolheriam, 11,4% disseram que era um pouco similar as combinações que escolheriam, 6,8% disseram que era um pouco diferente do que fariam. Ninguém respondeu que a previsão do aplicativo era diferente ou muito diferente do que escolheriam (Figura 4).

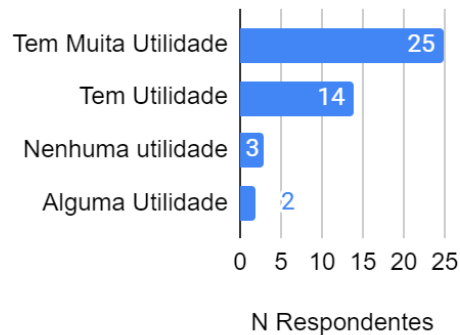
### O APP oferece respostas:



**Figura 4.** Respostas à pergunta “O aplicativo está oferecendo respostas diferentes ou similares às que eu escolheria?”. Fonte: Autores, 2021.

Em relação a utilidade do aplicativo, 56,8% julgaram que o aplicativo tem muita utilidade para sua vida profissional, 31,8% que tem utilidade, 4,5% que tem alguma utilidade e 6,8% que não têm nenhuma utilidade para sua vida profissional (Figura 5).

### Utilidade na sua vida profissional?



**Figura 5.** Respostas à pergunta “Você vê utilidade no uso do aplicativo na sua vida profissional?”. Fonte: Autores, 2021.

## 4 Discussão

A equação de regressão linear foi capaz de estimar a escolha dos usuários, no teste de utilização, de forma altamente satisfatória, com 81,9% dos participantes afirmando que as previsões do aplicativo eram muito similares ou similares às escolhas que eles mesmos fariam.


Além disso, a interface do aplicativo, embora relativamente simples, foi percebida como muito intuitiva ou intuitiva por 88% dos participantes e 88,7% dos participantes julgaram que o aplicativo teria utilidade ou muita utilidade em sua vida profissional.

Validada a estimativa por regressão linear, espera-se estruturar o aplicativo para estimar a combinação de cores à partir das cores predominantes em imagens de referência fornecidas pelo usuário, utilizando RNA para estimar a preferência do usuário sem que este precise expressá-la conscientemente. Tal ferramenta irá permitir ao projetista propor combinações de cor e contraste que atendam às preferências do cliente, independentemente do padrão de seleção inerente do arquiteto.

O aplicativo apresentado funciona em *browsers*, ou seja, pode ser disponibilizado na *web*. Esse aspecto possibilita a coleta de uma série de dados, tanto de uso quanto de resultados de simulações. Esses resultados podem, para futuras pesquisas, retroalimentar uma RNA tornando-a capaz de realizar previsões mais sofisticadas acerca das escolhas de usuários.

## Referências

- Correa, S. M. B. B. (2003). *Probabilidade e Estatística* (2ª edição). PUC Minas Virtual.
- Fleck, L., Tavares, M. H. F., Eyng, E., Helmann, A. C., Andrade, M. A. M. (2016). Redes Neurais Artificiais: Princípios Básicos. *Revista Eletrônica Científica Inovação & Tecnologia*, v. 1, n. 13, p. 47-57.
- Hopfield, J. J. (1982). Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. *Proceedings of the National Academy of Science of the USA*. v.79, n.8, p.2554-2558.
- McCulloch, W., Pitts, W. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *Bulletin of Mathematical Biophysics*, v.5, p.115-133.
- Minsky, M. L., Papert, S. A. (1988). *Perceptrons: An Introduction to Computational Geometry*. (Expanded edition). MIT Press.
- Montgomery, D. C. (2013). *Design and Analysis of Experiments*. (8th ed.). John Wiley & Sons.
- Nunes, P. C. C. *et al.* (2020). Cor na Arquitetura: estudo de caso da sua influência no comportamento humano. *Tecnologias em Projeção*. V.11, n.1, p. 29-38.
- Rosenblatt, F. (1958). The perceptron: A probabilistic model for information storage and organization in the brain. *Psychological Review*. v.65, n.6, p. 386-408.



Silveira, L. M. (2015). *Introdução à teoria da cor*. (2º ed). Ed. UTFPR.