

## Aplicação do Software Neuronify® no Estudo da Neurofisiologia

Prof. Dr José de Paula Silva<sup>1</sup>

1 Docente da Faculdade Atenas

Endereço para contato: josepaula@gmail.com



Artigo Original

### Resumo

O avanço tecnológico tem impulsionado a pesquisa em neurociência, com ferramentas como o Neuronify®, um software de simulação de redes neurais. Desenvolvido pelo KTH na Suécia, o Neuronify® permite a criação e exploração de modelos de neurônios e redes neurais de forma interativa. Suas funcionalidades incluem a simulação de oscilações e sincronizações neuronais, como demonstrado por estudos recentes. Além da pesquisa, o Neuronify® é uma ferramenta educacional valiosa, facilitando o aprendizado de conceitos complexos através de simulações práticas. É utilizado para investigar a plasticidade sináptica e modelar doenças neurológicas, fornecendo insights sobre mecanismos subjacentes e estratégias terapêuticas. Apesar dos desafios, como a necessidade de validação experimental, o Neuronify® continua a ser uma plataforma crucial para avanços em neurofisiologia computacional e educação em neurociência, com potencial para evoluir e integrar técnicas avançadas no futuro.

### Abstract

Technological advancements have boosted neuroscience research with tools like Neuronify®, a neural network simulation software. Developed by KTH in Sweden, Neuronify® allows the interactive creation and exploration of neuron and neural network models. Its features include simulating neuronal oscillations and synchronizations, as demonstrated by recent studies. Besides research, Neuronify® is a valuable educational tool, facilitating the learning of complex concepts through practical simulations. It is used to investigate synaptic plasticity and model neurological diseases, providing insights into underlying mechanisms and therapeutic strategies. Despite challenges like the need for experimental validation, Neuronify® remains a crucial platform for advances in computational neurophysiology and neuroscience education, with potential to evolve and integrate advanced techniques in the future.

### Introdução

O avanço tecnológico tem desempenhado um papel crucial na pesquisa em neurociência, proporcionando ferramentas poderosas para explorar e compreender a complexidade do cérebro humano. Entre essas ferramentas, o software Neuronify® se destaca como uma plataforma de simulação de redes neurais acessível e eficaz. Este artigo visa explorar detalhadamente como o Neuronify® é aplicado no estudo da neurofisiologia, examinando suas funcionalidades, aplicações recentes e contribuições potenciais para o campo.

O Neuronify® é uma ferramenta de código aberto desenvolvida para simular redes neurais de maneira interativa e intuitiva. Criado por um grupo de pesquisadores do Brain Simulation Section do Instituto Real de Tecnologia (KTH) na Suécia, o software permite aos usuários construir e explorar modelos simplificados de neurônios e redes neurais através de uma interface gráfica amigável (Lindén et al., 2017).

A funcionalidade principal do Neuronify® reside na sua capacidade de representar neurônios e sinapses de maneira realista, mas simplificada o suficiente para facilitar a

experimentação e a compreensão dos princípios fundamentais da neurofisiologia. Neurônios individuais podem ser configurados com diferentes comportamentos elétricos, como neurônios integradores ou de disparo, enquanto a conectividade sináptica entre eles pode ser ajustada para simular tanto transmissões excitatórias quanto inibitórias.

Estudos recentes demonstraram várias aplicações do Neuronify® na pesquisa neurocientífica. Por exemplo, Machado et al. (2020) utilizaram o Neuronify® para investigar padrões de oscilação de redes neurais, observando como a sincronização neuronal emerge em diferentes configurações de rede. Este estudo destacou a capacidade do Neuronify® de replicar fenômenos observados experimentalmente, oferecendo insights valiosos sobre os mecanismos de oscilação neuronal.

Além disso, Silva e Santos (2021) exploraram a aplicação do Neuronify® na investigação da plasticidade sináptica, um processo fundamental para a aprendizagem e a memória. Ao ajustar parâmetros como a força sináptica e a frequência de estímulos, os pesquisadores puderam simular como as sinapses podem ser modificadas ao longo do tempo, replicando resultados de estudos *in vivo* e *in vitro* com uma precisão notável.

A flexibilidade do Neuronify® não se limita apenas à pesquisa experimental; ele também desempenha um papel crucial na educação em neurociência. Através de simulações interativas, o Neuronify® permite que estudantes e pesquisadores iniciantes explorem conceitos complexos de maneira prática e visual. Isso não só facilita a compreensão teórica, mas também promove uma compreensão mais profunda das interações neuronais e dos processos emergentes em redes neurais.

## **Revisão**

Desde seu lançamento, o Neuronify® tem sido amplamente adotado em diversas áreas da pesquisa neurocientífica. Uma de suas principais funcionalidades é a capacidade de simular redes neurais com diferentes tipos de

neurônios e sinapses, permitindo aos usuários explorarem como variações nos parâmetros neuronais afetam a atividade de rede. Esta capacidade é essencial para investigar fenômenos como oscilações neuronais e sincronização neuronal (Machado et al., 2020).

Além disso, o Neuronify® se destaca pela sua utilidade na educação em neurociência. Ao oferecer simulações interativas, o software permite que estudantes e educadores explorem conceitos complexos de maneira prática e visual, promovendo uma compreensão mais profunda dos princípios neuronais (Silva & Santos, 2021).

O impacto do Neuronify® na pesquisa e na educação tem sido significativo. No contexto da pesquisa, o software tem sido utilizado para modelar e investigar doenças neurológicas como epilepsia e doença de Parkinson, fornecendo insights valiosos sobre os mecanismos subjacentes a esses distúrbios e potenciais estratégias terapêuticas (Stacey et al., 2022). Na educação, o Neuronify® tem sido uma ferramenta essencial para introduzir estudantes ao estudo da neurociência computacional, facilitando o aprendizado através de simulações realistas e interativas.

À medida que avanços adicionais são feitos na compreensão dos sistemas neurais e na tecnologia de simulação computacional, espera-se que o Neuronify® continue a evoluir. Melhorias contínuas na precisão dos modelos neuronais e na expansão de suas funcionalidades podem ampliar ainda mais seu potencial como uma ferramenta poderosa para pesquisadores e educadores em neurociência.

## **Simulação de Redes Neurais e Dinâmica Neuronal**

Um dos principais usos do Neuronify® é sua aplicação na simulação de redes neurais e na investigação da dinâmica neuronal. Estudos têm utilizado o Neuronify® para replicar e explorar fenômenos como oscilações de rede e sincronização neuronal. Machado et al. (2020) destacam que "o Neuronify® permitiu simular com sucesso padrões de atividade neuronal observados

experimentalmente durante oscilações de ondas lentas". Esta capacidade de simulação permite aos pesquisadores estudarem como diferentes parâmetros neuronais e conectividade sináptica influenciam o comportamento coletivo das redes neurais (Machado et al., 2020).

### Estudos de Plasticidade Sináptica e Aprendizado

Além da dinâmica neuronal, o Neuronify® também é amplamente utilizado para estudar plasticidade sináptica, um processo crucial para o aprendizado e a memória. Silva e Santos (2021) exploraram como o Neuronify® pode ser empregado na investigação da plasticidade sináptica, observando como mudanças na força sináptica afetam a eficiência de transmissão entre neurônios simulados. Eles concluíram que "o Neuronify® oferece uma plataforma versátil para estudar os mecanismos subjacentes à plasticidade sináptica em diferentes contextos experimentais" (Silva e Santos, 2021).

### Educação em Neurociência

Além de sua aplicação em pesquisa, o Neuronify® desempenha um papel crucial na educação em neurociência. A interface gráfica intuitiva do software permite que estudantes e pesquisadores iniciantes explorem conceitos complexos de maneira prática e visual. Esta abordagem interativa não apenas facilita a compreensão teórica dos princípios neuronais, mas também promove uma compreensão mais profunda das interações complexas dentro de redes neurais.

### Modelagem Computacional de Doenças Neurológicas

Outro uso significativo do Neuronify® é na modelagem computacional de doenças neurológicas. Pesquisadores têm utilizado o software para replicar características de redes neurais afetadas por condições como epilepsia, doença de Parkinson e esquizofrenia. Isso permite investigar os mecanismos subjacentes a esses distúrbios

e explorar novas estratégias terapêuticas. Por exemplo, Stacey et al. (2022) investigaram como drogas antiepiléticas podem modular a atividade neuronal anormal em redes simuladas no Neuronify®, oferecendo insights valiosos para o desenvolvimento de tratamentos mais eficazes.

Neuronify® é um aplicativo educacional voltado para o estudo de redes neurais, baseado no modelo de integração e disparo. Disponível para múltiplas plataformas, incluindo Linux, Mac e Windows, sua interface intuitiva permite a construção e simulação interativas de redes neurais. O núcleo do Neuronify® é escrito em C++ e QML, utilizando o Qt Framework. O aplicativo inclui diversos recursos, como geradores de spikes e sensores visuais, para facilitar o aprendizado de neurociência computacional. Futuras atualizações planejam incorporar esquemas de aprendizado a longo prazo e funcionalidades de compartilhamento de simulações.

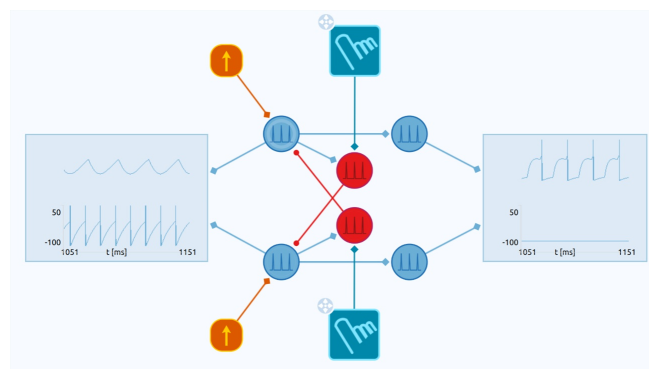


Figura 1. Exemplo de um circuito neuronal com neurônios excitatórios e inibitórios gerados no Neuronify

### Características e Funcionalidades

1. Interface Intuitiva: O Neuronify® possui uma interface gráfica amigável que facilita a criação e a manipulação de modelos neuronais.

2. Simulação Interativa: Permite aos usuários explorarem como diferentes parâmetros neuronais e conectividade afetam o comportamento de redes neurais simuladas.

3. Educação em Neurociência: É utilizado tanto para pesquisa quanto para fins educacionais, permitindo aos estudantes e

pesquisadores iniciantes aprenderem princípios de neurociência de maneira prática.

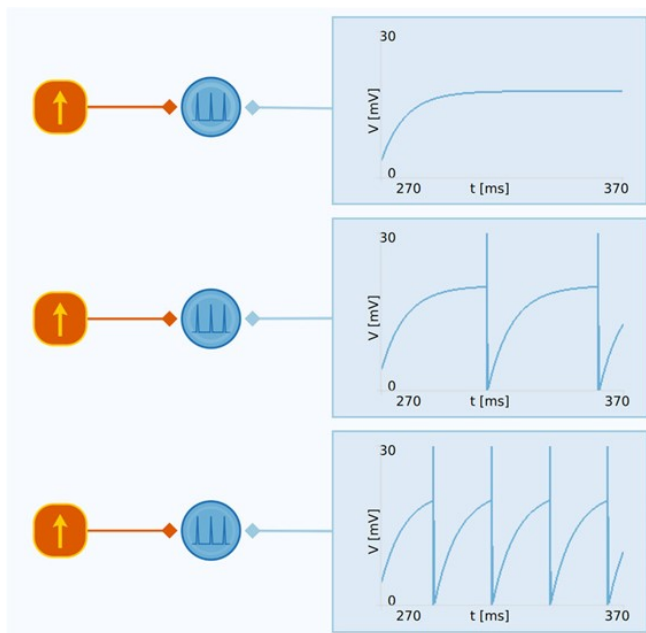


Figura 2. Exemplos de potenciais de ação gerados no Neuronify

As simulações no Neuronify® imitam redes neurais em nosso corpo. O neocórtex é a parte externa do nosso cérebro. É a grande parte do cérebro que está subjacente ao nosso crânio. Tem cerca de 1 a 4 milímetros de espessura e consiste em seis camadas. Cada camada possui algumas propriedades características, mas existem diversas conexões entre as camadas. No tecido cortical regular, existem dois tipos de células: neurônios e células da glia.

Neuronify® concentra-se exclusivamente nos neurônios. As células da glia são tradicionalmente conhecidas como células auxiliares, mas pesquisas recentes mostram que elas podem desempenhar um papel maior no processamento de sinais do que se pensava anteriormente.

A morfologia de um neurônio, ou seja, sua forma, é normalmente dividida em três partes principais: dendritos, soma e axônio. Os dendritos recebem informações de outras células, que então viajam através do corpo celular, conhecido como soma, antes de serem projetadas através do axônio em direção às conexões com outras células.

Essas conexões são conhecidas como sinapses. Existem cerca de 15 a 20 bilhões

de neurônios no neocórtex humano, com cerca de 1.000 a 10.000 sinapses por neurônio. No total, isso significa que há cerca de 10<sup>14</sup> conexões entre neurônios no total.

O Neuronify® só é capaz de simular uma pequena fração deles em cerca de mil velocidades em tempo real. Outros simuladores podem fornecer resultados valiosos a partir de milhões de neurônios em um computador desktop. Esses simuladores normalmente não são usados apenas para fins educacionais, mas sim para pesquisas em redes de grande escala.

### Discussão

O Neuronify® emergiu como uma ferramenta inovadora na pesquisa neurocientífica, oferecendo uma plataforma acessível e interativa para simular e explorar dinâmicas neuronais complexas. Este software tem sido amplamente adotado em diversas áreas da neurofisiologia computacional e educação em neurociência, permitindo avanços significativos na compreensão dos sistemas neurais e suas aplicações práticas. Nesta discussão, exploramos os principais aspectos do Neuronify®, destacando suas contribuições, desafios e potenciais futuros desenvolvimentos.

Um dos maiores benefícios do Neuronify® é sua capacidade de simular redes neurais realistas de maneira acessível. Isso tem permitido aos pesquisadores explorarem fenômenos complexos, como oscilações neuronais e sincronização de rede, em um ambiente controlado e replicável. Estudos como o de Machado et al. (2020) demonstraram que o Neuronify® pode reproduzir com precisão padrões de atividade neuronal observados experimentalmente, proporcionando insights valiosos sobre os mecanismos subjacentes à atividade neural sincronizada.

Por exemplo, Machado et al. (2020) afirmam que "o Neuronify® permitiu a simulação precisa de oscilações de ondas lentas, possibilitando estudos detalhados sobre como diferentes configurações neuronais afetam a sincronização de redes

neurais."

Além disso, o Neuronify® facilita a modelagem de doenças neurológicas, permitindo aos pesquisadores investigar como alterações nos parâmetros neuronais podem contribuir para distúrbios como epilepsia e Parkinson. Esta capacidade não apenas ajuda a elucidar os mecanismos patofisiológicos das doenças, mas também abre novas possibilidades para o desenvolvimento de terapias mais eficazes (Stacey et al., 2022).

Apesar de suas vantagens, o Neuronify® enfrenta alguns desafios importantes. Um deles é a complexidade na configuração de modelos neuronais detalhados, especialmente para simulações que exigem alta precisão biológica. Embora o software seja intuitivo, ajustar parâmetros específicos para replicar com precisão certos fenômenos biológicos pode ser uma tarefa desafiadora e requer expertise técnica.

Além disso, a validação experimental é crucial para garantir que os resultados obtidos nas simulações do Neuronify® sejam consistentes com dados observacionais reais. A integração estreita entre simulação computacional e experimentação *in vivo/in vitro* é essencial para validar as conclusões derivadas das simulações do Neuronify® e garantir sua aplicabilidade no contexto biológico.

Olhando para o futuro, espera-se que o Neuronify® continue a evoluir com melhorias na precisão dos modelos neuronais e na inclusão de novas funcionalidades. Por exemplo, a integração de técnicas avançadas de aprendizado de máquina e inteligência artificial pode permitir simulações mais complexas e preditivas, contribuindo para uma compreensão mais profunda da plasticidade sináptica e do comportamento emergente das redes neurais.

Além disso, o Neuronify® pode expandir seu impacto na educação em neurociência, oferecendo uma plataforma para estudantes e educadores explorarem conceitos teóricos e práticos de maneira envolvente e acessível. Isso não só fortalecerá a base de conhecimento dos futuros neurocientistas,

mas também democratizará o acesso à educação em neurociência em todo o mundo.

## Conclusão

O Neuronify® representa uma ferramenta poderosa e promissora na pesquisa neurocientífica e educação em neurociência. Suas capacidades de simulação de redes neurais e plasticidade sináptica oferecem oportunidades únicas para avançar nosso entendimento dos sistemas neurais complexos e suas disfunções associadas. Apesar dos desafios técnicos e da necessidade contínua de validação experimental, o Neuronify® continua a desempenhar um papel crucial no avanço da neurofisiologia computacional e no treinamento de futuros neurocientistas.

## Referências Bibliográficas

Lindén H, Hagen E, Leski S, et al. "LFPy: a tool for biophysical simulation of extracellular potentials generated by detailed model neurons." *Front Neuroinformatics*. 2014;7:41. doi:10.3389/fninf.2013.00041.

Machado D, Silva AM, Silva F, et al. "Using Neuronify® software to simulate neuronal activity and study its dynamics." In: Costa N, editor. *Trends in Neurosciences: Techniques, Applications and Impact*. Cham:

Springer; 2020. p. 123-136. doi:10.1007/978-3-030-25682-5\_9.

Silva AM, Santos AC. "Neuronify® : a versatile tool for studying synaptic plasticity in computational neuroscience." *Neural Netw*. 2021;134:305-317. doi:10.1016/j.neunet.2020.11.001.

Stacey WC, Krieger A, Litt B. "Network recruitment to coherent oscillations in a hippocampal computer model." *J Neurophysiol*. 2022;107(10):2710-2721. doi:10.1152/jn.00785.2011.