



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

Ministério da  
**Ciência, Tecnologia  
e Inovação**



# **ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE ALGORITMOS DE TRATAMENTO DE DADOS APLICADOS AO LEVANTAMENTO DE RECURSO SOLAR**

Ana Carolina Quiqueto

INPE  
São José dos Campos  
2019

**ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE ALGORITMOS DE  
TRATAMENTO DE DADOS APLICADOS AO LEVANTAMENTO  
DE RECURSO SOLAR**

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA  
(PIBIC/CNPq/INPE)**

Ana Carolina Quiqueto (Universidade Federal de São Paulo, Bolsista  
PIBIC/CNPq)

E-mail: [anacquiqueto@gmail.com](mailto:anacquiqueto@gmail.com)

Dr. Enio Bueno Pereira (INPE, Orientador)

E-mail: [enio.pereira@inpe.br](mailto:enio.pereira@inpe.br)

Dr. Fernando Ramos Martins (UNIFESP/INPE, Co-Orientador)

E-mail: [fernando.martins@unifesp.br](mailto:fernando.martins@unifesp.br)

Julho de 2019

## **RESUMO**

O avanço do desenvolvimento econômico e o estilo de vida moderno têm provocado um crescente aumento na demanda energética. Junto a isso, as preocupações ambientais decorrentes do crescimento das emissões de poluentes atmosféricos e o cenário de vulnerabilidade do recurso hídrico no país, provocado pelas oscilações climáticas, têm apresentado importantes desafios científicos no âmbito da inovação e no desenvolvimento de alternativas para produção de energia através de fontes renováveis e de baixo impacto ambiental. Nesse contexto, a energia solar emerge com destaque. Para uma avaliação consistente do potencial e viabilidade econômica do aproveitamento solar, estudos são necessários não só para quantificar a disponibilidade, mas também a variabilidade deste recurso, tanto em escala espacial quanto temporal. Desta forma, o objetivo deste trabalho é o estudo de métodos de tratamento de dados meteorológicos para disponibilização de séries temporais que possam contribuir para o atendimento da demanda de informações confiáveis relativos ao recurso solar para o setor energético nacional.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - (a) Matriz energética brasileira e (b) Matriz de energia elétrica brasileira. ....	2
Figura 2 - Espectro de radiação eletromagnética emitida pelo Sol e pela Terra. ....	4
Figura 3 - Diagrama simbólico dos processos de interação da radiação solar com a atmosfera terrestre. ....	6
Figura 4 - (a) Piranômetros sem e com a banda de sombreamento e (b) Pireliômetro da Estação de Cachoeira Paulista. Fonte: INPE (2016). ....	7
Figura 5 - Modelo de uma RNA de camadas múltiplas.....	9

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	3
2.1 Energia solar .....	3
2.2 Balanço radioativo da atmosfera e seus efeitos .....	4
2.3 Equipamentos de medição da radiação solar e seu funcionamento .....	6
2.4 Rede SONDA .....	8
2.5 Redes Neurais Artificiais .....	8
<b>3 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS</b> .....	10
<b>4 ATIVIDADES FUTURAS</b> .....	10
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	11

## **1. INTRODUÇÃO**

A relação entre os estágios de desenvolvimento humano e consumo de energia demonstra como a evolução no uso dos recursos energéticos propiciou o desenvolvimento da sociedade humana ao longo do tempo, desde a Idade Antiga até a sociedade altamente tecnológica (GOLDEMBERG e VILLANUEVA, 2003). A questão energética é de suma importância no desenvolvimento da sociedade e da economia, basta analisar o progresso das técnicas de trabalho em diferentes áreas das atividades humanas, como a indústria, alimentação, agricultura, moradia, comércio e locomoção, que foram proporcionadas através do consumo e uso de recursos energéticos.

O aumento da demanda e consumo de energia decorrente do progresso tecnológico e do avanço no desenvolvimento humano, são apontados como os principais fatores na aceleração das alterações climáticas e ambientais (MARTINS e PEREIRA, 2007). O uso de recursos fósseis como o petróleo e o carvão, representam aproximadamente, 79% da matriz de consumo final mundial (KUMAR et al., 2010). A queima desses combustíveis fósseis, causam grandes quantidades de emissões de gases poluentes atmosféricos, principalmente do efeito estufa (GEE), gerando grandes alterações climáticas e ambientais, como o fenômeno de aquecimento global.

A sociedade, juntamente com a comunidade científica e os governos, têm procurado opções de fontes energéticas limpas e de baixo impacto ambiental, motivados não só pela busca de meios que venham a complementar a atual demanda de energia e seus cenários de crescimento, como também pelo apelo da diminuição do uso de combustíveis fósseis, em função dos problemas ambientais e do possível esgotamento destes recursos nas próximas décadas (BENTLEY, 2002 e GELLER, 2003).

Neste cenário atual, onde é considerado como certo a continuação do aumento da demanda energética mundial, em contrapartida, uma diminuição no uso de combustíveis fósseis, as fontes renováveis de energia com baixa emissão de carbono vêm ganhando um papel fundamental nesta discussão, gerando acordos internacionais e previsões de grandes investimentos para os próximos anos. A tendência geral é que os preços das tecnologias para aproveitamento de fontes renováveis de energia venham a diminuir com o aumento dos estudos e aprimoramento das técnicas já conhecidas. O Brasil já possui uma matriz energética e uma matriz elétrica com participação ampla de fontes renováveis, principalmente o recurso hidroelétrico, conforme mostra a Figura 1.

Neste contexto, destaca-se o uso da energia solar, que apresenta diversos benefícios, como a viabilização de atendimento de regiões remotas onde o custo é demasiadamente elevado

em termos de sistemas convencionais, regulação da oferta de energia em períodos de estiagem, além de permitir a diminuição do uso de combustíveis fósseis para a geração de eletricidade.

O Brasil, por estar localizado em sua maior parte na região tropical, possui grande potencial de energia solar durante todo o ano. Pode-se dizer que a utilização de energia solar traria um gama de benefícios a longo prazo, principalmente em regiões remotas onde o custo da eletricidade pela rede convencional é extremamente alta, viabilizando o desenvolvimento socioeconômico destas áreas. Esta fonte energética apresenta elevado potencial de crescimento no Brasil, contudo seu crescimento comercial e investimentos em larga escala vêm esbarrando-se na escassez de informações sobre a disponibilidade e viabilidade relacionadas a esse recurso. A maior parte dessas informações provem do setor de pesquisa básica e climatológica, sendo constituída por séries incompletas e dispersas, pois essas informações geralmente foram coletadas para outros fins que não aquele do setor energético, portanto constituem uma base de dados inadequadas e insuficientes para esse fim (MARTINS et al., 2008).

Para que sejam implementados e desenvolvidos os sistemas de conversão de energia solar no Brasil, tanto autônomas quanto nas grandes centrais, é muito importante o mapeamento do potencial solar no território brasileiro, de modo a fomentar a migração para uma matriz energética limpa e menos dependente dos recursos hídricos e fósseis. Estudos para o mapeamento do potencial de energia solar podem ser desenvolvidos por meio de diferentes métodos. As principais metodologias são a utilização de uma rede de radiômetros, que devem estar distribuídos de forma estratégica sobre uma região de interesse; ou o uso de modelos computacionais para parametrização dos processos radiativos e solução da equação da transferência radiativa na atmosfera.

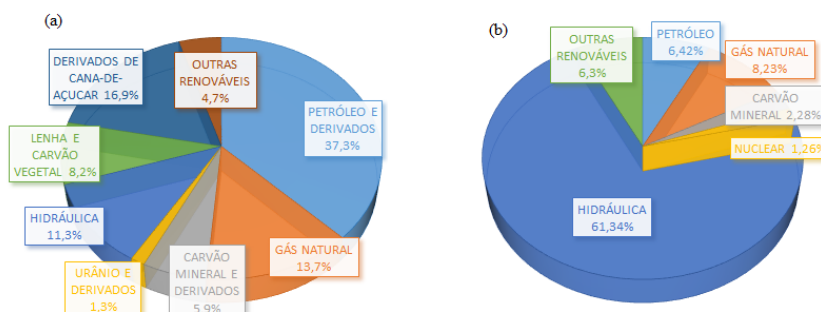


Figura 1 - (a) Matriz energética brasileira e (b) Matriz de energia elétrica brasileira. Fonte: ANEEL (2016).

É muito importante que para uma avaliação consistente destes mencionados potenciais, sejam realizados estudos que não só quantifiquem sua disponibilidade, mas também a sua variabilidade, em escala tanto espacial quanto temporal. Sendo assim, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, no âmbito das atividades desenvolvidas dentro do Centro de Ciência do Sistema Terrestre, possui competência em estudos de fontes renováveis de energia através do LABREN – Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia. Este grupo realiza de pesquisa em meteorologia aplicada ao setor de energia e sobre seus impactos no sistema climático, com foco na observação, na modelagem computacional e no desenvolvimento de cenários face às mudanças ambientais globais. Para quantificar o recurso solar, deve-se valer de dados observacionais, que envolvem variáveis meteorológicas medidas em diversas estações. Por conta disso, em função do elevado volume de dados gerados pelos diferentes sistemas observacionais disponíveis, é comum estabelecer rotinas computacionais para verificar e certificar a qualidade da base de dados, sinalizando possíveis inconsistências.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 Energia solar**

O Sol é a maior fonte de energia do sistema Terra-Atmosfera, possuindo um diâmetro de  $1,39 \times 10^6$  km e um volume de  $1,412 \times 10^{18}$  km<sup>3</sup>. A energia proveniente do Sol que chega até a superfície terrestre, propagando-se como energia radiante, é denominada de radiação solar. A energia solar é produzida através de reações químicas e nucleares (ou fusão nuclear), que consiste basicamente na reação de dois átomos de hidrogênio formando um átomo de hélio. A radiação solar apresenta um papel fundamental por constituir na principal força motriz para processos térmicos, dinâmicos e químicos da Terra, como a circulação geral da atmosfera.

A quantidade de energia radiante, num intervalo unitário de comprimento de onda, que atravessa uma unidade de área tomada perpendicularmente a direção considerada, na unidade de tempo, é a radiância, sendo a principal característica de um campo de radiação.

A constante solar, é a irradiância solar que atinge o topo da atmosfera terrestre, apresenta o valor aproximado de  $1367 \text{ W/m}^2$ . Esse parâmetro apresenta variações ao longo do ano, devido aos efeitos astronômicos, principalmente aqueles ligados a órbita da Terra ao redor do Sol. A irradiância solar que incide na superfície da Terra depende de alguns fatores, como o comprimento de onda, de fenômenos que ocorrem na própria fonte de energia (erupções solares, manchas solares, variações de temperatura na atmosfera solar), da distância do Sol-Terra (associado ao movimento de rotação da Terra e à órbita da Terra em torno do Sol), além



de outros fatores associados a interações da radiação eletromagnética com os constituintes da atmosfera da Terra (como as nuvens, umidade, ozônio e aerossóis), que alteram a disponibilidade de energia solar na superfície em faixas específicas de comprimentos de onda. A razão entre a irradiância solar incidente na superfície terrestre e no topo da atmosfera, é definida como transmitância atmosférica (IQBAL, 2012).

## 2.2 Balanço radioativo da atmosfera e seus efeitos

A radiação eletromagnética solar, normalmente nomeada como “radiação de ondas curtas”, apresenta comprimentos de ondas entre 0 e 4 micrometros. Parte dessa radiação incide na superfície terrestre é absorvida e reemitida para o espaço. A radiação que é reemitida para o espaço é conhecida como radiação terrestre, normalmente nomeadas como “radiação de ondas longas”, por apresentarem comprimentos de onda superiores a 4 micrometros. A Figura 2 apresenta o espectro da radiação solar e da radiação terrestre de forma a facilitar a compreensão dos termos de radiação de ondas curtas e ondas longas, respectivamente.



Figura 2 - Espectro de radiação eletromagnética emitida pelo Sol e pela Terra. Fonte: Adaptado de IQBAL (2012).

Ao atravessar a atmosfera, há três tipos de incidência de energia na superfície terrestre: a radiação direta presente no feixe de energia emitida pelo Sol e que não sofre processos de interação com os constituintes atmosféricos; a radiação difusa, que devido as interferências de fatores atmosféricos, faz com que parte da energia seja espalhada em diversas direções; e por último, a radiação global, que é o conjunto da radiação direta e radiação difusa.

A radiação eletromagnética é atenuada por processos de espalhamento e absorção pelas partículas (denominados aerossóis) e moléculas de gases atmosféricos. Os coeficientes de

absorção e de espalhamento dependem do comprimento de onda da radiação, além das espécies de gases e aerossóis presentes na atmosfera.

Aproximadamente 30% da radiação incidente no topo da atmosfera são refletidos de volta para o espaço pelas nuvens, pela superfície do planeta, e pelos gases e partículas atmosféricas. Os outros 70% são absorvidos produzindo aquecimento do sistema e causando evaporação de água (calor latente) ou convecção (calor sensível). A Figura 3 apresenta um diagrama simplificado para representação dos processos radiativos na atmosfera.

O processo de absorção da energia solar por constituintes atmosféricos, alteram o espectro eletromagnético da radiação solar incidente, à medida que a mesma percorre a atmosfera terrestre, atenuando principalmente a radiação eletromagnética na região da radiação ultravioleta. A radiação nesta faixa de comprimento de onda é intensamente absorvida na camada de Ozônio (situada cerca de 35 km acima da superfície) em razão das reações fotoquímicas que ocorrem nessa camada da atmosfera. O processo de absorção da radiação solar é seletivo, destacando o ozônio ( $O_3$ ), o vapor d' água e o dióxido de carbono ( $CO_2$ ) como os principais agentes absorvedores, sendo os dois últimos os principais gases do efeito estufa. A energia absorvida pelo sistema Terra-Atmosfera é reemitida na faixa do infravermelho do espectro de radiação eletromagnética, sendo que aproximadamente 6% são provenientes da superfície e aproximadamente 64% tem origem em nuvens e constituintes atmosféricos.

O processo de espalhamento é um fenômeno natural no qual a radiação incidente interage com os constituintes atmosféricos de forma a alterar a direção de propagação das ondas eletromagnéticas. Destacam-se dois processos de espalhamentos: Mie, onde partículas grandes (com tamanhos próximos ao do comprimento de onda da radiação) são responsáveis pela tonalidade branca, exibida por nuvens, nevoeiros e a abundância de particulados na atmosfera de núcleos urbanos; e Rayleigh, onde partículas pequenas (com dimensões muito menores que o comprimento de onda da radiação) são responsáveis pela tonalidade azul do céu durante o dia (IQBAL, 2012).

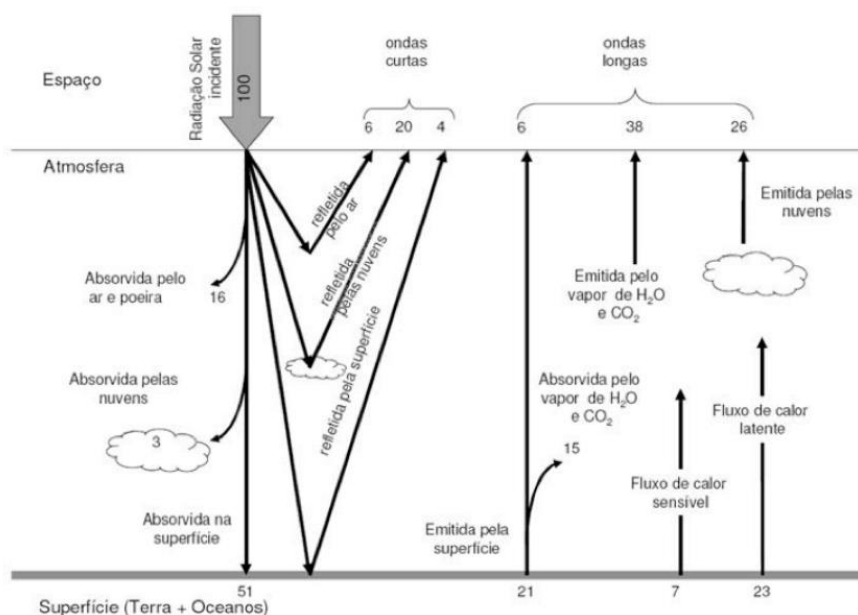


Figura 3 - Diagrama simbólico dos processos de interação da radiação solar com a atmosfera terrestre. Fonte: PEREIRA et al.(2014).

### 2.3 Equipamentos de medição da radiação solar e seu funcionamento

Os dois principais equipamentos utilizados na medição da radiação solar, tanto da global como das componentes direta e difusa, na superfície terrestre são o piranômetro e o pireliômetro, o primeiro para medidas de irradiação global e difusa; e o segundo para medidas da irradiação direta.

O piranômetro se diferencia em dois tipos: o piranômetro termoeletrico e o piranometro fotovoltaico. O primeiro, utilizado para medir a irradiância solar global, normalmente no plano horizontal, tem como sensor uma termopilha colocada no interior de duas semiesferas de vidro concêntricas. A termopilha é construída com múltiplos termopares em série, que medem a diferença de temperatura entre as duas superfícies, uma pintada de preto e outra de branco igualmente iluminadas. A expansão sofrida pelas superfícies provoca um diferencial de potencial que, ao ser medida, mostra o valor instantâneo da energia solar. Já o segundo, utiliza uma célula fotovoltaica de silício monocristalino para coletar medidas solarimétricas. Os piranômetros fotovoltaicos tem como vantagem apresentar um custo bem menor, contudo tem como desvantagem o fornecimento de medidas com menor precisão.

O pireliômetro é um instrumento utilizado para medir a irradiância direta com incidência normal a superfície. A irradiância difusa é bloqueada instalando-se o sensor termoeletrico dentro de um tubo de colimação, com paredes enegrecidas e apontado diretamente ao Sol (dispositivo de rastreamento). O instrumento caracteriza-se por apresentar uma pequena

abertura de forma a “visualizar” apenas o disco solar e a região vizinha denominada circumsolar. O instrumento precisa estar acoplado a um sistema de rastreamento do movimento solar para que esteja constantemente ajustado para a direção do Sol.

O valor da irradiação difusa é medido com um piranômetro ao qual é acoplado uma banda ou um disco de sombreamento para bloquear a componente direta. Ao combinar os valores medidos pelo piranômetro bloqueado com o outro sem o dispositivo de bloqueio pode-se obter a componente direta pela subtração dos valores da irradiância global e da sua componente difusa. A banda de sombreamento necessita de ajuste manual de acordo com a declinação solar, diferentemente do disco de sombreamento, que é utilizado em conjunto com um rastreador solar. Em ambos os casos são necessárias correções das medições, que envolvam a compensação do sombreamento do céu causado pelo anel ou disco (PEREIRA et al., 2014).

A Figura 4 apresenta os principais equipamentos utilizados na medição da radiação solar: (a) Piranômetros sem a banda de sombreamento e com a banda de sombreamento e (b) Pireliômetro, da estação localizada em Cachoeira Paulista.



Figura 4 - (a) Piranômetros sem e com a banda de sombreamento e (b) Pireliômetro da Estação de Cachoeira Paulista. Fonte: INPE (2018).

Os instrumentos de medição da radiação solar global, direta e difusa são classificados conforme a sua precisão. De acordo com a norma ISO 9060, os instrumentos são classificados em três categorias: padrão secundário, primeira classe e segunda classe. Segundo a WMO, os instrumentos podem ser classificados em alta qualidade (erro máximo de 2%), boa qualidade (5%) e qualidade razoável (10%).

## **2.4 Rede SONDA**

A rede SONDA (Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais) é um projeto executado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) para a implementação de infraestrutura física e de recursos humanos destinados a instalar, operar e disponibilizar uma base de dados de superfície que atenda a demanda de informações sobre recursos de energia solar e eólica no Brasil.

Atualmente, a rede SONDA conta com um total de 18 estações distribuídas em todo território nacional, para que assim possa abranger todos os climas típicos do Brasil. Das 18 estações, 13 são próprias e as outras 5 são de empresas e instituições parceiras.

As estações coletam dados meteorológicos básicos, como temperatura, pressão atmosférica, umidade e cobertura de nuvens. As estações solarimétricas, também coletam dados relacionadas a energia solar, como as componentes global, direta e difusa do fluxo de radiação solar incidente. Já as estações anemométricas, coletam dados relacionadas a caracterização dos ventos, como direção e velocidade do vento em 10m, 25m e 50m de altura. Como este trabalho é direcionado a energia solar, o foco deste artigo é dado apenas nas estações solarimétricas.

Todos os instrumentos de coleta de dados utilizados na rede SONDA são de primeira classe, de modo a atender os padrões estabelecidos pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM) para a rede internacional BSRN (Baseline Surface Radiation Network). Todos os piranômetros e pirheliômetros são manufaturados por Eppley Lab. ou Kipp&Zonen. Quatro estações da rede SONDA, integram a BSRN e atendem todos os padrões de qualidade exigidos para a instrumentação instalada, operação/manutenção e controle de qualidade de dados. As demais estações não possuem instrumentação para aquisição de dados de irradiação solar direta e, por essa razão, não estão integradas a BSRN (INPE, 2018).

## **2.5 Redes Neurais Artificiais**

As Redes Neurais Artificiais (RNAs) são ferramentas estatísticas capazes de armazenar conhecimento empírico a partir de treinamentos (exemplos). Tais ferramentas destacam-se por possuírem um amplo campo de aplicação, em virtude de sua capacidade de generalização, auto-organização e processamento temporal, possibilitando a resolução de diversos problemas, com diferentes graus de complexidade (Fiorin et al, 2011).

As RNAs constituem-se por unidades de processamento simples, os neurônios ou nodos, que possuem a função de computar e elaborar relações matemáticas (lineares e especialmente não-lineares) a partir de dados de entrada recebidos. Esses neurônios são dispostos em uma ou mais camadas e interligados por conexões denominadas sinapses. Existe um valor associado a essas

conexões, denominado peso sináptico, este determina a relevância de cada sinapse para o processo em estudo, ponderando as entradas recebidas por cada neurônio.

A arquitetura de uma RNA será influenciada pelo tipo do problema a ser resolvido e depende de 4 parâmetros principais: número de camadas da rede, número de nodos em cada camada, tipo de conexão entre nodos, e a topologia da rede (Fiorin et al, 2011). Uma rede com múltiplas camadas possui uma camada de entrada, uma de saída e uma ou mais camadas intermediárias, como pode ser visto na Figura 5. Nesta imagem pode-se observar três neurônios de entrada, duas camadas intermediárias com quatro neurônios cada e uma camada de saída com apenas um neurônio, produzindo uma única informação de saída.

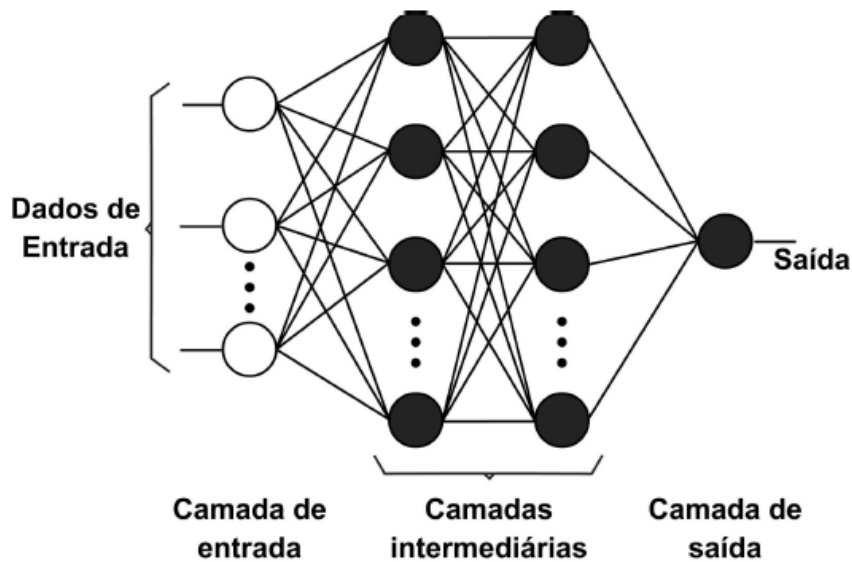


Figura 5 – Modelo de uma RNA de camadas múltiplas. Fonte: Fiorin et al. (2011).

A solução de um problema que utiliza RNA inicia-se por uma fase de aprendizagem (treinamento). Nesta fase, são fornecidos exemplos para a rede, que é responsável por ajustar os pesos sinápticos de modo aleatório até proporcionarem a capacidade de representar os dados do problema da melhor forma possível. Após a fase de treinamento, os pesos são fixados e a rede pode ser empregada como um modelo, sendo capaz de estimar saídas através de um conjunto de dados previamente disponibilizados como entrada.

### **3. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS**

As atuais atividades de pesquisa foram iniciadas em março de 2019. Durante este período, as atividades se concentraram em estudos voltados às metodologias de aprendizado de máquina, incluindo principalmente métodos de redes neurais artificiais, o quais foram apresentados neste relatório.

Inicialmente, foram revisados e aprofundados conceitos de programação em Python. Em seguida, houve a realização de um curso intitulado “Machine Learning e Data Science com Python” através da plataforma Udeemy. O curso trata das principais bibliotecas para análise de dados e utilização de técnicas de aprendizado de máquina através da linguagem Python.

Ao longo deste período, também foram realizadas reuniões semanais de orientação, em conjunto ao Laboratório de Modelagem Aplicada a Recursos Renováveis de Energia (LABMAR). Nestas reuniões, os principais assuntos discutidos foram voltados à utilização da energia, disponibilidade e utilização do recurso solar, tecnologias para as mesmas, e, também, compartilhados conhecimentos em relação a métodos de rede neurais artificiais.

### **4. ATIVIDADES FUTURAS**

Para continuidade deste projeto, pretende-se aplicar os conhecimentos adquiridos no primeiro período de pesquisa para cumprir o restante dos objetivos propostos inicialmente. Estes incluem a organização das bases de dados observados e modelados (Atlas Brasileiro de Energia Solar) para uso pelos algoritmos desenvolvidos; o desenvolvimento de algoritmos para simulação da irradiação solar em resolução temporal superior aos dados de entrada organizados na etapa anterior; e a validação dos resultados produzidos pelos algoritmos desenvolvidos tomando como base a distribuição de frequência dos dados observados. Como resultado, espera-se a avaliação de métodos computacionais para geração de séries temporais de dados de irradiação solar com resolução temporal minuto a minuto, utilizando modelos computacionais baseados em imagens de satélite com resolução temporal horária e dados observados em superfície para fase de treinamento do algoritmo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Energia Elétrica. **Relatórios e retrospectivas**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: 05 jun. 2018.

BENTLEY, R. W. **Global oil & gas depletion: an overview**, Energy Policy, Volume 30, Issue 3, 2002, Pages 189-205, ISSN 0301-4215. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(01\)00144-6](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(01)00144-6)>. Acesso em: 05 jun. 2018.

FIORIN, D. V.; MARTINS, F. R.; SCHUCH, N. J.; & PEREIRA, E. B. Aplicações de redes neurais e previsões de disponibilidade de recursos energéticos solares. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 1, p. 1319, 2011. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/235932975\\_Aplicacoes\\_de\\_redes\\_neurais\\_e\\_previsoes\\_de\\_disponibilidade\\_de\\_recursos\\_energeticos\\_solares](https://www.researchgate.net/publication/235932975_Aplicacoes_de_redes_neurais_e_previsoes_de_disponibilidade_de_recursos_energeticos_solares)>. Acesso em: 30 maio 2019.

GELLER, H. S., **Revolução energética: políticas para um futuro sustentável**. Tese submetida ao Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo. São Paulo, Julho de 2012. Disponível em: <<http://www.iee.usp.br/producao/2002/Teses/Geller.pdf>>. Acesso em: 6 jun. 2018.

GOLDEMBERG, J., VILLANUEVA, L. D. **Energia, meio ambiente & desenvolvimento**. 2.ed. São Paulo: EDUSP, 2003. 226p.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais**. Disponível em: <<http://sonda.ccst.inpe.br/index.html>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

IQBAL, M. **An introduction to solar radiation**. Elsevier, 2012.

KUMAR, A., KUMAR, K., KAUSHIK, N., SHARMA, S., MISHRA, S. **Renewable energy in India: Current status and future potentials**, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 14, Issue 8, 2010, Pages 2434-2442, ISSN 1364-0321. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.04.003>>. Acesso em: 5 jun. 2018.

MARTINS, F., RUTHER, R., PEREIRA, E. B., ABREU, S. **Solar energy scenarios in Brazil. Part two: Photovoltaics applications**. Energy Policy, v. 36, n. 8, p. 2865-2877, 2008.

PEREIRA, E. B. et al. **Atlas brasileiro de energia solar**. São José dos Campos: INPE, 2017. 88 p. ISBN (978-85-17-00090-4)



PEREIRA, E. B., MARTINS, F., THOMAZ, J. C., NOGUEIRA, J. **Treinamento teórico-prático em avaliação de potencial de recurso energético solar**. Material didático elaborado para curso oferecido no Centro de Tecnologias do Gás e Energias Renováveis (CTGÁS ER), 2014.