

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO**

Edmar Albino da Silva

**CONTROLE E MONITORAMENTO PARA CONSUMO
EFICIENTE DE ENERGIA ELÉTRICA EM UMA SMART
HOME UTILIZANDO REDES NEURAIS ARTIFICIAIS**

Araranguá, Dezembro de 2016.

Edmar Albino da Silva

**CONTROLE E MONITORAMENTO PARA CONSUMO
EFICIENTE DE ENERGIA ELÉTRICA EM UMA SMART
HOME UTILIZANDO REDES NEURAIS ARTIFICIAIS**

**Trabalho de Conclusão de
Curso submetido à Universi-
dade Federal de Santa Cata-
rina, como parte dos requisitos
necessários para a obtenção do
Grau de Bacharel em Engenha-
ria de Computação.**

Araranguá, Dezembro de 2016.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Silva, Edmar Albino da
CONTROLE E MONITORAMENTO PARA CONSUMO EFICIENTE DE
ENERGIA ELÉTRICA EM UMA SMART HOME UTILIZANDO REDES NEURAIAS
ARTIFICIAIS / Edmar Albino da Silva ; orientador, Gustavo
Medeiros de Araujo ; coorientadora, Analucia Schiaffino
Morales. - Araranguá, SC, 2016.
86 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá.
Graduação em Engenharia de Computação.

Inclui referências

1. Engenharia de Computação. 2. Automação Residencial. 3.
Redes Neurais Artificiais. 4. Eficiência Energética. 5.
Smart Homes. I. Araujo, Gustavo Medeiros de. II. Morales,
Analucia Schiaffino. III. Universidade Federal de Santa
Catarina. Graduação em Engenharia de Computação. IV. Título.

Edmar Albino da Silva

**CONTROLE E MONITORAMENTO PARA CONSUMO
EFICIENTE DE ENERGIA ELÉTRICA EM UMA SMART
HOME UTILIZANDO REDES NEURAIS ARTIFICIAIS**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado aprovado para a obtenção do Título de “Bacharel em Engenharia de Computação”, e aprovado em sua forma final pela Curso de Graduação em Engenharia de Computação.

Araranguá, Dezembro de 2016.



Prof. Dr. Anderson Luiz Fernandes Perez
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:



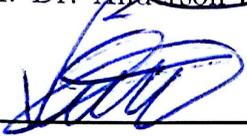
Prof. Dr. Gustavo Medeiros de Araújo
Orientador



Prof. Dra. Analucia Schiaffino Morales



Prof. Dr. Anderson Luiz Fernandes Perez



Prof. Dr. Vinicius Faria Culmant Ramos

Aos meus pais, que sempre apoiaram minhas escolhas e me deram suporte.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela saúde e força a mim concedida para enfrentar as dificuldades. Aos meus pais Paulino Albino da Silva e Solange de Fátima Canani, pelo apoio e motivação, imprescindíveis nessa caminhada. Aos amigos que tive a oportunidade conhecer durante esta jornada, por toda a ajuda e pelo conhecimento compartilhado. À Dienifer Cardeal pelo apoio e motivação, principalmente em momentos difíceis. Ao professor e orientador Gustavo Medeiros de Araujo pelos ensinamentos e conhecimentos compartilhados. À professora e coorientadora Analucia Schiaffino Morales, por todas suas contribuições para este trabalho. Ao professor Anderson Luiz Fernandes Perez, o qual sempre se prontificou para ajudar no que fosse necessário, além de sempre oferecer palavras de motivação. À Universidade Federal de Santa Catarina pela oportunidade, e por oferecer um ensino de excelência e qualidade. À todos que de alguma forma contribuíram, direta ou indiretamente, para conclusão deste trabalho.

*Falta de tempo é desculpa daqueles que
perdem tempo por falta de métodos.*

Albert Einstein

RESUMO

A eficiência energética é um tema bastante discutido e cada vez mais relevante diante da situação atual, onde as matrizes energéticas de fontes não renováveis tem se tornado escassas ou sua extração bastante dificultosas. Além disso, as fontes de energias renováveis possuem, na maioria das vezes, um alto custo para sua implementação, tendo como exemplo os painéis fotovoltaicos, ou ainda, implicam em grandes impactos ambientais, como é o caso das usinas hidroelétricas. Com isso, legislações, projetos e aplicações têm surgido para solucionar problemas de mal uso e de desperdício de energia elétrica. Neste trabalho, é apresentado um sistema de controle e monitoramento para consumo eficiente de energia elétrica em uma *Smart Home*, fazendo o uso de redes neurais artificiais. O sistema efetua a leitura em tempo real dos dados de consumo dos dispositivos da residência e, assim, apresenta sugestões aos habitantes, quanto à utilização dos mesmos, em casos onde o consumo de energia esteja fora do padrão estipulado. O sistema também é responsável pelo controle dos equipamentos baseado no contexto, a fim de otimizar seu uso, evitando assim o desperdício de energia elétrica. Para validação do sistema foi utilizado um chuveiro elétrico como dispositivo de testes. Os resultados obtidos se mostraram bastante eficientes. Com uso do sistema de controle foi possível obter uma economia média aproximada de até R\$2,37 por mês, equivalente a 36%. Já com o sistema de monitoramento, foi obtido uma estimativa de economia média, próxima de R\$2,03 por mês, equivalente à 34% de economia, por cada habitante da residência.

Palavras-chave: automação residencial, redes neurais artificiais, adaptação de contexto, eficiência energética, smart homes

ABSTRACT

Efficient energy is a widely discussed and increasingly relevant subject of the current situation, where the energy matrices of non-renewable sources have been made scarce or their extraction quite difficult. In addition, as a renewable energy source, most of the time, has a high cost for its implementation, taking as an example the photovoltaic panels, or even, imply great environmental impacts, like in the hydroelectric power plants case. With this, legislations, projects and applications have arisen to solve problems of misuse and waste of electricity. This work is a control and monitoring system for the efficient consumption of electricity in a smart home. The system performs a real-time reading of the consumption data of the home's devices and thus presents suggestions to the inhabitants about them in cases where the energy consumption is to the stipulated standard. The system is also responsible for the control of the equipment based on the context, in order to optimize its use, thus avoiding the waste of electricity. For validation of the system for use of an electrical device as a testing device. The results obtained were quite efficient. With the use of the control system to obtain an approximate saving of R\$2,37 per month, equivalent to 36%. Already with the monitoring system, an estimated economy of close to R\$2,03 per month, equivalent to 34% savings was obtained, for each inhabitant.

Keywords: home automation, neural network artificial, context adaptation, energetic efficiency, smart homes

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Principais fontes de geração de energia e suas perspectivas.....	31
Figura 2	Relação Computação Ubíqua, Pervasiva e Móvel.....	37
Figura 3	Sensor de visão BVS-E.....	40
Figura 4	Sensores de temperatura, umidade e luminosidade.....	40
Figura 5	Neurônio biológico.....	43
Figura 6	Neurônio Booleano de McCulloch.....	44
Figura 7	Modelo de um neurônio artificial de McCulloch e Pitts.....	45
Figura 8	Funções de ativação: Linear e Sigmoidal.....	45
Figura 9	Rede alimentada adiante de camada única.....	46
Figura 10	Rede alimentada adiante com camada oculta.....	47
Figura 11	Rede recorrente sem neurônios ocultos.....	48
Figura 12	Arquitetura da RNA de monitoramento.....	58
Figura 13	Arquitetura da RNA de atuação.....	58
Figura 14	Algoritmo Genético utilizado - Fluxograma.....	60
Figura 15	Modulo ACS712 de 30 amperes.....	62
Figura 16	Termistor NTC.....	62
Figura 17	Arduino Board ATmega1280.....	63
Figura 18	Diodo emissor de luz.....	64
Figura 19	Display de LCD 16x2.....	64
Figura 20	Sistema de Monitoramento.....	66
Figura 21	Sensor de temperatura LM35.....	67
Figura 22	Acopladores ópticos utilizados.....	68
Figura 23	Circuito detector de passagem por zero.....	69
Figura 24	Deteção da passagem por zero.....	70
Figura 25	Circuito para controle de potência.....	70
Figura 26	Momentos de ativação do TRIAC, sob a influência do PPM.....	71
Figura 27	Placa do circuito de controle - vista <i>bottom</i>	71
Figura 28	Placa do circuito de controle - vista <i>top</i>	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Consumo de energia elétrica dos principais equipamentos de uma residência	33
Tabela 2	Valores utilizados para configuração das redes	57
Tabela 3	Arquiteturas selecionadas - parâmetros	57
Tabela 4	Testes realizados com a RNA do sistema de controle	59
Tabela 5	Testes realizados com a RNA do sistema de monitoramento	59
Tabela 6	Valores de consumo do chuveiro convencional	76
Tabela 7	Valores de consumo do chuveiro inteligente	76
Tabela 8	Comparativo dos chuveiros utilizados	76
Tabela 9	Notificações e recomendações emitidas pelo sistema de monitoramento	77
Tabela 10	Estimativa de economia ao seguir as recomendações do sistema	77

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

RNA	Rede Neural Artificial.....	26
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica	27
EPE	Empresa de Pesquisa Energética	33
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica	33
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial.....	33
CGIEE	Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética	34
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem	34
MLP	Multy Layer Perceptron.....	60
AG	Algoritmo Genético	60
NTC	<i>Negative Temperature Coeficient</i>	62
IDE	Integrated Development Environment	63
LED	Light Emitting Diode	65
TRIAC	Triode for Alternating Current	73

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	25
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	25
1.2 PROBLEMA	26
1.3 HIPÓTESE	27
1.4 OBJETIVOS	28
1.4.1 Geral	28
1.4.2 Específicos	28
1.5 METODOLOGIA	29
1.6 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	29
2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	31
2.1 CONSUMO E RECURSOS ENERGÉTICOS	31
2.2 PROPOSTAS DE EFICIÊNCIA	33
3 SMART HOMES	35
3.1 COMPUTAÇÃO UBÍQUA	36
3.2 COMPUTAÇÃO SENSÍVEL AO CONTEXTO	38
3.3 SENSORES	39
3.4 ATUADORES	41
4 REDES NEURAIS ARTIFICIAIS	43
4.1 NEURÔNIO ARTIFICIAL	44
4.2 ARQUITETURA DE REDES NEURAIS	46
4.3 APRENDIZADO E TREINAMENTO	48
4.4 TRABALHOS RELACIONADOS	49
4.4.1 Monitoramento de consumo	50
4.4.2 Controle de consumo	51
5 SISTEMAS DESENVOLVIDOS	53
5.1 MODELAGEM E ARQUITETURA DAS RNAs	53
5.1.1 Modelagem	53
5.1.2 Arquitetura das RNAs	55
5.2 SISTEMA DE MONITORAMENTO	61
5.2.1 Aquisição de dados	61
5.2.2 Processamento dos dados	63
5.2.3 Interface	63
5.2.4 Funcionamento	65
5.3 SISTEMA DE CONTROLE	66
5.3.1 Hardware	68
5.3.1.1 Zero crossing circuit	69
5.3.1.2 Circuito de potência	70

5.3.2 Software e funcionamento do sistema	72
6 TESTES E RESULTADOS	75
6.1 METODOLOGIA DOS TESTES	75
6.2 RESULTADOS	75
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	79
7.1 CONCLUSÃO.....	79
7.2 TRABALHOS FUTUROS	79
REFERÊNCIAS	81

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Desde a primeira grande crise do petróleo na década de 70, a eficiência no uso da energia elétrica está em pauta no mundo. Na época foi evidenciado que futuramente não seria possível manter o baixo valor de mercado das reservas fósseis, devido as mesmas não serem fontes renováveis. Além disso, seu uso sem controle causaria sérios prejuízos para o meio ambiente. A partir desses fatos, foi constatado que dispositivos os quais utilizam energia elétrica poderiam ser utilizados com menor consumo energético. Para isso, seu hábito de uso passou a ser observado, assim como, sua eficiência energética. Tal medida causou diversas repercussões, tanto ambientais, culturais e econômicas (EPE, 2007). Portanto, sentiu-se a necessidade de produzir equipamentos com um melhor desempenho referente ao consumo de energia elétrica, bem como, o hábito e o comportamento dos consumidores ao fazerem uso dos mesmos, fossem de alguma forma alterado para este novo cenário, ou até mesmo gerenciado, promovendo um melhor aproveitamento e uma diminuição do desperdício de energia (CHAGAS et al., 2011).

Devido a crescente evolução e difusão das tecnologias, as mesmas encontram-se ao alcance de todos, e são, sem dúvidas, imprescindíveis para a grande maioria das pessoas. Além disso, essa evolução tem alterado constantemente seu cenário de utilização, tornando possível o que antes era apenas sonho ou até mesmo considerado ficção. Um grande exemplo disso são as *Smart Homes*, que atualmente tem despertado bastante interesse, tanto da comunidade acadêmica, como da indústria. As *Smart Homes* são assim denominadas devido ao seu alto grau de inteligência dentro da área de automação residencial. Os benefícios que as mesmas oferecem são muito importantes no cenário atual. Dentre eles, pode-se citar o auxílio à idosos e deficientes (CHAN et al., 1995) e o auxílio para redução do consumo de energia (SCHWEIZER et al., 2015).

Referente ao consumo de energia elétrica, nota-se que grande parte dos usuários realizam atividades em uma residência levando em conta o custo monetário no uso de certos eletrodomésticos. Sendo assim, se for disponibilizado para os usuários as informações em tempo real do consumo e do custo de energia, será possível influenciar-los na economia da energia.

Além disso, aliado ao monitoramento de consumo, o comportamento do usuário e do ambiente também devem ser observados pelo

sistema da casa inteligente. O comportamento do usuário entende-se como entrar e sair de um cômodo deixando luzes acesas e equipamentos ligados. Já o comportamento do ambiente pode ser visto como aumento ou redução natural de luminosidade, de temperatura, de umidade, etc (JAHN et al., 2010). As mudanças de comportamento dos objetos monitorados, geram diferentes contextos. Com identificação de contexto e preferências do usuário, o sistema poderá tomar decisões para atender os requisitos de consumo energético da casa. A adaptação ao contexto nos sistemas de automação residencial é realizada com o auxílio de ferramentas que proporcionem formas de aprendizado. Neste caso, o uso de técnicas de inteligência artificial (IA) é uma escolha adequada (RAMOS; AUGUSTO; SHAPIRO, 2008).

A Rede Neural Artificial (RNA) é uma das técnicas de IA que pode ser utilizada para realizar o aprendizado de vários sistemas. Em geral, uma RNA é formada por um conjunto de unidades de processamento, conhecidas como neurônios, os quais estão conectados através de ligações conhecidas como conexões. Dentre os diversos campos de utilização das RNA's, pode-se citar como exemplos, o reconhecimento de padrões (SETHI; JAIN, 2014), processamento de sinais (HU; HWANG, 2001), etc. Essa aplicabilidade é devida à habilidade de aprender a partir de dados de entrada com ou sem treinamento (HAYKIN, 2001). Além disso, o alto grau de adaptação às mudanças no ambiente, tornam as RNAs uma escolha adequada em projetos cujo o cenário varia com frequência.

Neste trabalho, apresenta-se a proposta de um sistema de automação residencial sensível ao contexto, o qual realiza o monitoramento e o controle do consumo de energia elétrica de equipamentos elétricos, disponibilizando informações dos dados analisados e alertando os usuários quando necessário. O sistema também proverá informações referentes ao custo monetário do uso dos dispositivos monitorados. Dessa forma, os usuários poderão se conscientizar com relação à utilização de determinados equipamentos. A adaptação ao contexto referente ao consumo de energia elétrica será realizado com o auxílio das redes neurais artificiais.

1.2 PROBLEMA

No Brasil o consumo de energia elétrica alcançou o montante de 37.701 GWh no terceiro trimestre de setembro de 2015. Destes quase 38 GWh, 27,58% (10.399 GWh) foram gastos por residências (EPE -

Empresa de Pesquisa Energética, 2015). E segundo os dados levantados pela CEMIG (2014), de toda a energia elétrica consumida por residências, quase 18% é desperdiçada. O desperdício de energia é um problema a ser enfrentado em todos os setores. Ao usar a energia elétrica de forma racional, poupa-se dinheiro e recursos da natureza usados para sua produção.

A fim de resolver os problemas de desperdício, vários projetos foram propostos para realizar o uso eficiente de energia elétrica (BRAGA, 2014). Dentre eles, pode-se citar o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, que tem por objetivo promover o uso eficiente da energia elétrica. A partir deste projeto, surgiu o selo PROCEL, que visa indicar ao consumidor produtos que apresentem altos níveis de eficiência energética (ELETROBRAS/PROCEL, 2014). Com isso, estimula-se a fabricação e a comercialização de produtos mais eficientes, contribuindo para o desenvolvimento tecnológico e a redução de impactos ambientais. Além dos equipamentos, muitas instalações elétricas prediais já vêm sendo desenvolvidas com foco em eficiência energética.

No entanto, estas iniciativas, apesar de melhorarem a eficiência no consumo de energia dentro das residências, não são suficientes para que o desperdício seja consideravelmente reduzido. Isso se deve em grande parte ao mau uso dos aparelhos elétricos. Portanto, ainda é preciso desenvolver mais aplicações e projetos que melhorem a eficiência no uso dos dispositivos.

Um outro problema causador de desperdício, é referente à conscientização dos usuários ao utilizarem os aparelhos elétricos. Tendo em vista que, atualmente, os medidores residenciais não fornecem *feedback* quanto ao consumo e o custo da energia elétrica. Essas informações dariam aos usuários uma ciência sobre o que é consumido, afetando positivamente o comportamento dos mesmos (SGARBI; TONIDANDEL, 2006a). Além disso, os equipamentos de uma casa convencional, não são automatizados para funcionarem de forma energeticamente eficiente, aproveitando, por exemplo, melhor a luz natural, regulando a temperatura de maneira mais eficiente, dentre outras.

1.3 HIPÓTESE

O sistema proposto deverá monitorar o uso dos equipamentos, bem como seu consumo, assim o mesmo irá informar, através de alertas, por quanto tempo a utilização do equipamento é aceitável (sugestão

de uso), qual o valor de energia elétrica por ele consumida e qual o seu gasto monetário. Dessa forma, se o usuário seguir tais sugestões, espera-se que o desperdício seja o mínimo possível. Além disso, com o controle do equipamento, que neste caso será o chuveiro, é esperado que haja uma redução no tempo de ajuste, assim diminuindo o desperdício.

1.4 OBJETIVOS

Esta sessão apresenta o objetivo geral e os objetivos específicos deste trabalho.

1.4.1 Geral

Desenvolver um sistema de automação residencial sensível ao contexto para gerenciar o consumo de energia elétrica. O sistema deverá efetuar a adaptação, controle e emissão de alertas, baseado no estado do ambiente. Além disso, o sistema também será capaz de fornecer informações sobre consumo de energia elétrica, com o propósito de conscientizar os habitantes da residência.

1.4.2 Específicos

1. Pesquisar o estado da arte de trabalhos desenvolvidos na área de *Smart Homes* que efetuem o monitoramento de consumo de energia.
2. Definir os requisitos necessários para um sistema que efetue a automação de uma residência sensível ao contexto e que possa medir e gerenciar o uso eficiente de energia elétrica.
3. Efetuar o levantamento e a escolha de recursos como sensores, atuadores e demais componentes, necessários para o mecanismo de medição e para o sistema de monitoramento e de controle.
4. Estudar e definir a rede neural artificial mais adequada para o sistema proposto.
5. Desenvolver o sistema a partir do que foi definido em (2) (3) e (4).
6. Efetuar os testes com o sistema desenvolvido em (5).

7. Avaliar os resultados obtidos com os testes realizados em (6).

1.5 METODOLOGIA

Este trabalho é uma pesquisa tecnológica aplicada com revisão bibliográfica e projeto de protótipo simulado e experimental.

- Inicialmente pretende-se adquirir o conhecimento necessário, a partir de, uma revisão bibliográfica e levantamento de trabalhos relacionados ao tema proposto.
- Realizar simulações com a RNA escolhida, validando as entradas e saídas utilizadas pelo treinamento, além de verificar sua generalização para valores não presentes na tabela de treinamento.
- Desenvolver o software do sistema, realizando simulações no programa da LABCENTER, PROTEUS design suite, para validação do software.
- Realizar os experimentos necessários.

1.6 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este documento está organizado em 7 (sete) capítulos além deste, o qual refere-se a introdução e define o enquadramento da temática central do trabalho. Os demais capítulos abordam os seguintes conteúdos:

- O **Capítulo 2** apresenta um breve histórico e uma descrição referente a eficiência energética. Suas principais motivações e perspectivas.
- O **Capítulo 3** relata importantes conceitos sobre *Smart Homes*. Descrevendo inicialmente sobre computação ubíqua, em seguida discorre sobre a sensibilidade ao contexto, sensores e atuadores.
- No **Capítulo 4** é apresentada uma visão geral de redes neurais artificiais aplicadas à automação residencial, descrevendo as topologias existentes, o funcionamento do treinamento e aprendizado dessas redes. É apresentado também os trabalhos relacionados ao controle e monitoramento de dispositivos utilizando RNA para o uso eficiente de energia elétrica.
-

- No **Capítulo 5** é descrito o sistema proposto, seus requisitos, suas características, os testes e validações que devem ser executados e verificados e por fim os resultados esperados.
- No **Capítulo 6** são descritos os testes realizados e expostos os resultados.
- O **Capítulo 7** apresenta as considerações finais sobre o trabalho.

2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Neste capítulo, serão apresentados um resumo da situação atual do consumo energético e as perspectivas com relação a eficiência energética.

2.1 CONSUMO E RECURSOS ENERGÉTICOS

Atualmente, a energia elétrica pode ser produzida através de diferentes fontes, tais como carvão mineral, bagaço de cana, derivados de petróleo, etc. A energia produzida no Brasil é proveniente, principalmente, de fontes limpas e renováveis, ou seja, que causam menor impacto ambiental (CPFL, 2014). No Brasil, a principal fonte de geração de energia elétrica é hidráulica, embora tal fonte tenha apresentado uma redução de 4,5% na comparação com o ano de 2014 (BRASIL; Ministério de Minas e Energia, 2015). Na Figura 1, é possível verificar as principais fontes de geração de energia, tendo como referência o ano de 2010. Bem como, é possível visualizar sua evolução, tendo em vista a perspectiva para o ano de 2020.

Além disso, a energia elétrica produzida pelas hidrelétricas, possui um importante papel no desenvolvimento do país, tendo em vista que proporciona auto-suficiência na geração de energia. Segundo Bronzati e Neto (2008), a potência instalada no Brasil, evoluiu de 13.724 MW para quase 69.000 MW, nos anos entre 1975 e 2005.

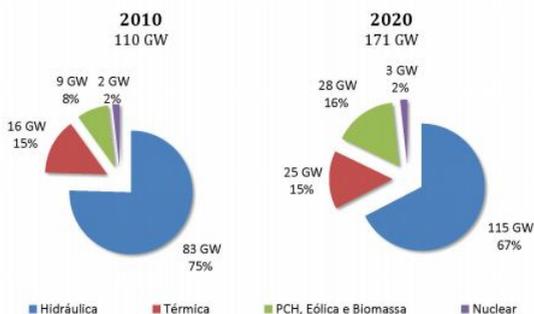


Figura 1 – Principais fontes de geração de energia e suas perspectivas
Fonte: Tolmasquim (2012)

No que diz respeito a geração pelas termo-elétricas, estima-se que a produção de petróleo possa chegar a 2,96 milhões de barris por dia, até 2015, e a partir de então, se estabilizar (EPE, 2007). A demanda pelo consumo de petróleo pode chegar a 3 milhões de barris/dia em 2030, ultrapassando a capacidade projetada (BRONZATI; NETO, 2008).

No Brasil, há ainda a oferta de gás natural, que também utilizada em usinas termo-elétricas. Entretanto, a falta de políticas para o desenvolvimento de infraestrutura para a distribuição, dificulta a expansão da oferta de gás natural (BRONZATI; NETO, 2008). No entanto, no ano de 2008, houve um aumento de 18,98% na produção de gás natural com relação à 2007, chegando a 21,59 bilhões de m^3 . Enquanto, o valor alcançado anteriormente foi de 18,15 bilhões de m^3 (ANP, 2008). Apesar das dificuldades encontradas na distribuição, o gás natural se tornou uma importante matriz energética, devido a dois fatores principais: o racionamento de energia elétrica e as descobertas de bacias de gás natural (BRONZATI; NETO, 2008).

Em 2014, o consumo final de energia elétrica no país registrou um aumento de 2,9% em relação à 2013. A nova demanda foi suprida a partir da expansão da geração térmica, especialmente das usinas movidas a carvão mineral (+24,7%), gás natural (+17,5%), biomassa (+14,1%), cujas participações na matriz elétrica, no mesmo ano, cresceram de 2,6% para 3,2%, de 11,3%, para 13,0% e de 6,6% para 7,4%, respectivamente. Os setores que mais contribuíram para o crescimento da demanda de eletricidade foram residencial (5,7%) e o comercial (7,4%) (EPE; Ministério de Minas e Energia, 2015). Em 2020, estima-se que o consumo de eletricidade será 61% superior ao ano de 2010, atingindo 730 TWh (TOLMASQUIM, 2012). A Tabela 1 apresenta o consumo médio dos principais equipamentos de uma residência.

A partir dos dados de oferta e de consumo apresentados e da preocupação com a questão das mudanças climáticas decorrentes do aquecimento global do planeta, políticas e propostas de eficiência energética começaram a ser discutidas. Na próxima seção serão abordadas as principais políticas e propostas de eficiência energética.

ELETRÔELETRÔNICOS	TEMPO MÉDIO DE UTILIZAÇÃO DIÁRIA	CONSUMO MÉDIO MENSAL (kWh)	PARTICIPAÇÃO NA CONTA DE ENERGIA
Chuveiro elétrico 4400W	32 minutos*	70	33%
Geladeira 2 portas 360L	24 horas	49	23%
Televisor 29"	4 horas	13	6%
Ferro elétrico automático 1000W	1 hora	12	6%
Forno micro-ondas 1200W	20 minutos	12	6%
Microcomputador 120W	3 horas	10,8	5%
Ventilador de teto 80W	4 horas	9,6	5%
Lâmpada incandescente 100W	4 horas	9	4%
Secador de cabelo 1400W	10 minutos	7	3%
Lavadora de roupas 500W	1 hora	6	3%
Lâmpada incandescente 60W	4 horas	5,4	3%
Aparelho de som 80W	30 minutos	4,8	2%
Lâmpada eficiente 15W	4 horas	1,4	1%
Liquidificador 300W	10 minutos	1,1	1%

*Considerando 4 banhos com duração de 8 minutos cada.

Tabela 1 – Consumo de energia elétrica dos principais equipamentos de uma residência

Fonte: Adaptado de CPFL (2014)

2.2 PROPOSTAS DE EFICIÊNCIA

Estima-se, que em 2030, se alcance um consumo anual de energia elétrica entre 950 e 1.250 TWh, um aumento de aproximado de 308% em relação ao consumo atual (405 TWh) (ANEEL, 2008). Investimentos pesados na expansão da oferta de energia elétrica serão imprescindíveis. No entanto, mesmo com esses investimentos a demanda ultrapassaria a oferta. Por exemplo, caso a expansão seja feita por usinas hidrelétricas, injetando 120 mil MW, ainda assim, poderia não ser suficiente para atender a demanda em 2030. Portanto, além de tais expansões, pesquisas e projetos na área de consumo eficiente de energia elétrica são muito importantes e fortes aliados para contenção do crescimento da demanda.

Segundo Michael (2012), o termo "eficiência" descreve a eficácia dos dispositivos que operam em ciclos ou processos, ou seja, a capacidade de equipamentos que operam de tal forma produzirem os resultados esperados. Já a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2010), adota a definição de que eficiência energética é a relação entre a quantidade de energia final utilizada e aquela disponível para sua realização.

O Brasil possui várias instituições responsáveis pela criação e desenvolvimento de políticas e projetos de eficiência energética. Den-

tre elas temos o Ministério de Minas e Energia; a ELETROBRÁS; a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL); as concessionárias distribuidoras; o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO); e algumas grandes empresas industriais, que possuem programas internos de conservação de energia. A Lei nº. 10.295/2001 foi criada para dispor sobre a política nacional de conservação e uso racional de energia, e foi regulamentada pelo Decreto nº 4.059/2001, que criou o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética (CGIEE), com a função, dentre outras, de elaborar um programa de metas com indicação da evolução dos níveis a serem alcançados para cada equipamento regulamentado.

Outro importante instrumento instituído foi o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) e o selo PROCEL de economia de energia, o qual responde atualmente, pela maioria dos resultados obtidos referentes a economia de energia (VIANA et al., 2012). O PBE, é coordenado pelo INMETRO e fornece informações sobre o desempenho dos produtos referentes a eficiência energética, o ruído, dentre outros critérios. Ele também estimula a competitividade da indústria, que deverá fabricar produtos cada vez mais eficientes (INMETRO, 2015; EPE, 2010).

Em residências, a introdução de novas tecnologias é uma excelente opção para alcançar a eficiência energética, assim como, o incentivo a mudança de hábito dos habitantes em relação ao seu consumo de energia, conforme pode ser visto em Rist et al. (2011). Até mesmo através dos programas e políticas de conservação e uso racional de energia, como o PBE citado anteriormente.

3 SMART HOMES

Por muitos anos, a automação residencial tem sido considerada um campo altamente promissor para o desenvolvimento de tecnologias eletrônicas (CHAN et al., 2008). A aplicação das tecnologias da informação e comunicação na automação residencial visa o bem-estar das pessoas, de modo que possa lhes oferecer maior conforto, economia de energia elétrica e segurança. Além disso, a automação também permite controlar uma residência remotamente e poupar tempo com tarefas repetitivas (BOLZANI, 2004).

Atualmente, a automação residencial pode ser realizada de duas formas, com ou sem inteligência. No modo inteligente, a automação pode acontecer de forma reativa ou automática. Por exemplo, se o usuário da residência tem total acesso aos dispositivos eletrônicos, através de um sistema de gerenciamento centralizado, e precisa enviar comandos a fim de utilizá-los, a automação está sendo realizada de maneira reativa. Na automática, o próprio sistema irá efetuar o controle de tais dispositivos, baseado em informações inseridas em um banco de dados para inferência. Muitos dos trabalhos publicados alegam que a abordagem automática é inteligente, pois pode detectar eventos como a presença dos habitantes e suas ações. Porém, conforme é exposto por Sgarbi e Tonidandel (2006b), o conceito de inteligência deve ir além de simplesmente automatizar aplicando regras pré-estabelecidas, o sistema deve interagir com os habitantes e aprender com seus comportamentos.

A automação residencial inteligente deve analisar os dados obtidos pelos sensores de modo a adaptar suas regras baseada no contexto. O contexto pode definido como qualquer informação que pode ser usada para caracterizar a situação de uma entidade (pessoa, lugar, objeto) (DEY, 1998). A caracterização de uma situação é necessária, pois o comportamento dos seres humanos muda ao longo do tempo. Além disso, os ambientes também são dinâmicos, e sem inteligência seria praticamente inviável prever todas os estados do mesmo.

A automação inteligente, que se adapta ao contexto, denomina as residências inteligentes como *Smart Homes*. Nas *Smart Homes* faz-se o uso de automação residencial, seguido, muitas vezes, pela aplicação de técnicas de Inteligência Artificial (SGARBI; TONIDANDEL, 2006a; TAKIUCHI; MELO; TONIDANDEL, 2004). Desse modo, o sistema irá aprender e adaptar suas ações conforme haja alterações no ambiente e no comportamento dos usuários.

Portanto, em uma *Smart Home*, ao invés de os usuários terem

que se adaptar ao funcionamento pré-programado de uma residência automatizada, o sistema é quem se preocupa em mudar sua atuação de modo a satisfazer às necessidades e se adaptar ao comportamento dos habitantes.

Nas próximas seções, serão apresentados conceitos e tecnologias, que foram necessários para o desenvolvimento do sistema inteligente proposto.

3.1 COMPUTAÇÃO UBÍQUA

A computação ubíqua foi assim denominada por Mark Weiser, pesquisador da Xerox, em 1991, que imaginou que a computação viria a se tornar num futuro não muito distante, presente em tudo e em todos os lugares, sem a percepção dos usuários. Além disso, em seu primeiro artigo sobre o tema (WEISER, 1991), idealizou que a computação atuaria em *background* e adaptaria-se às necessidades dos utilizadores. Diferente da situação atual, onde os usuários devem aprender a lidar com o computador e gerir as suas aplicações. Portanto, devido a essas características, seria possível prover um aumento considerável das disponibilidades e funcionalidades dos serviços que os usuários utilizam diariamente.

A computação ubíqua pode ser entendida como sendo o terceiro grande paradigma computacional, precedido apenas pela era dos *main-frames* e pela geração dos computadores pessoais (RODRIGUES, 2010). Isso é possível, pois a computação ubíqua se utiliza de qualquer dispositivo que possa processar informações e efetuar comunicação.

Muitas vezes a computação ubíqua é confundida com a computação pervasiva, mas na verdade ela integra os conceitos da computação pervasiva e computação móvel (COELHO, 2009), conforme é ilustrado na Figura 2. A computação móvel, é caracterizada pela mobilidade dos dispositivos. A computação pervasiva concentra a sua atenção na capacidade de inserção dos dispositivos computacionais no ambiente. Assim, o sistema atua de forma discreta, oferecendo onipresença aos utilizadores e integrando a computação no ambiente físico em que está inserido (WEISER, 1991). Portanto, qualquer dispositivo com capacidade de computação, pode construir de forma dinâmica, modelos computacionais dos ambientes e configurar seus serviços dependendo da necessidade, e tudo isso em pleno movimento (ARAÚJO, 2003).

O objetivo principal da computação ubíqua é descomplicar o uso da computação, de forma que essa utilização possa ser algo comum e

natural. Fazendo com que a mesma seja transparente ao usuário e a interação com a mesma não seja perceptível. A computação ubíqua visa tornar implícita a integração entre os diversos dispositivos e os usuários (JUNIOR, 2011). Mas para que o paradigma da computação ubíqua seja exequível, algumas tecnologias são necessárias, como computadores de baixa potência, redes de comunicação e softwares para aplicações de onipresença.



Figura 2 – Relação Computação Ubíqua, Pervasiva e Móvel
Fonte: Adaptado de Araujo (2003)

A computação ubíqua deve operar em um ambiente onde a comunicação sem fios estará sempre disponível, de forma que os dispositivos sejam capazes de transmitir informação a qualquer momento. No paradigma da computação ubíqua, os computadores devem adaptar-se ao ambiente e não mais o contrário, ou seja, possam tomar certas decisões voluntariamente, sem a participação do usuário. Com isso, os ambientes estarão conectados a uma infraestrutura de rede, provendo diversos serviços ao usuário. A integração da computação ubíqua ao ambiente torna o mesmo inteligente (*smart place*). Sendo assim, benefícios como comodidade, segurança, entretenimento e informação, serão oferecidos por esses ambientes.

Apesar das inúmeras vantagens citadas, todo novo paradigma possui também suas desvantagens, por isso, cuidados devem ser tomados com a sua adoção. Um exemplo de aspecto a ser observado é referente a segurança, tendo em vista que todos os dispositivos estarão conectados na rede e carregaram consigo informações relevantes dos usuários.

Segundo Weiser (1991), para explorar os conceitos de computação ubíqua e alcançar seus objetivos, novas aplicações surgiriam. Três temas logo foram relacionados para o desenvolvimento de tais aplicações (JUNIOR, 2007; ABOWD; MYNATT, 2000): captura e acesso de experiências, interfaces naturais e a computação ciente ao contexto a qual será abordada na seção seguinte.

3.2 COMPUTAÇÃO SENSÍVEL AO CONTEXTO

Na literatura o termo sensibilidade ao contexto, do inglês *context-aware*, apareceu pela primeira vez em (SCHILIT; ADAMS; WANT, 1994). Segundo Dey (1998), contexto é definido como o estado emocional do usuário, o foco de atenção, a localização, a orientação, a data e o tempo, os objetos e as pessoas no ambiente do usuário. Conceitualmente falando, o referido autor coloca ainda que se entende por contexto qualquer informação que pode ser usada para caracterizar a situação de uma entidade, entendendo-se por entidade uma pessoa, um lugar ou um objeto que é considerado relevante para a interação entre um usuário e uma aplicação, incluindo os próprios, usuário e aplicação.

A sensibilidade ao contexto em si consiste da capacidade de um sistema computacional em estar ciente do contexto, seja do usuário, do ambiente ou de algum dispositivo. Em consequência o sistema deve reagir de forma proativa aos eventos que possam alterar o contexto corrente. Esse reconhecimento e reação do sistema não é uma tarefa tão simples, pois este precisa ser tratado em um nível de detalhamento que permita seu processamento interno no sistema computacional desenvolvido.

A computação sensível ao contexto está ligada com a habilidade dos sistemas computacionais obterem vantagem das informações ou das condições coletadas de um ambiente dinâmico para acrescentar mais valor aos serviços ou até mesmo poder executar tarefas mais complexas (LOPES, 2006). Em resumo, computação sensível ao contexto se beneficia das informações contextuais para que uma melhor interação com os usuários do ambiente seja alcançada (BARBOSA et al., 2007). Para que os dados do ambiente e dos usuários sejam capturados, são necessários sensores. Em seguida, após a captura, tais dados devem receber uma análise e então o contexto deve ser identificado (EDUARDO; TAVARES, 2008).

A computação sensível ao contexto tem recebido maior atenção nos últimos anos, devido ao desenvolvimento da computação móvel e, conseqüentemente, à maior possibilidade de se fazer a verificação do contexto. Porém, para as aplicações, a sensibilidade ao contexto é algo muito desafiador, no que diz respeito à obtenção, modelagem, armazenamento, distribuição e monitoramento do contexto (LOPES, 2006).

Embora possa ser utilizada por qualquer aplicação, no que diz respeito a computação, a sensibilidade ao contexto é bastante importante para a área da computação ubíqua, onde suas aplicações e sistemas precisam se tornar invisíveis, mas ao mesmo tempo, serem mi-

nimamente intrusivos, de modo que o conceito de onipresença seja alcançado. Portanto, o aspecto dinâmico dos ambientes das aplicações ubíquas, faz da computação sensível ao contexto uma importante aliada para um melhor funcionamento dos sistemas (LOUREIRO et al., 2009).

Para realização deste trabalho pretende-se utilizar como conceito de contexto, a atividade dos usuários e o estado do ambiente. A aquisição desses dados serão realizadas através de sensores, e após o processamento dessas informações coletadas pelos sensores, os atuadores serão acionados, a fim de realizar a atualização e adaptação do estado do ambiente.

Nas próximas seções serão realizadas descrições sobre sensores e atuadores a fim de facilitar o entendimento referente ao funcionamento de tais dispositivos.

3.3 SENSORES

Em um projeto de *Smart Home*, onde é preciso que a computação seja sensível ao contexto, o uso de sensores é imprescindível. Eles podem ser usados para capturar e transmitir informação do interior ou do exterior da casa (PUNTEL, 2013). Dessa forma, após o processamento dessas informações, o sistema poderá adaptar-se às mudanças necessárias.

Conforme é mostrado por Tejani, Al-Kuwari e Potdar (2011), os usuários normalmente esquecem de desligar dispositivos e aparelhos elétricos, devido à alguma distração, gerando assim um maior desperdício de energia elétrica. Uma *Smart Home* deve ser capaz de gerenciar esse tipo de atividade e para isso é necessário saber a localização exata dos seus habitantes. A Figura 3 mostra um modelo de sensor de visão, utilizado para identificação de usuários. Com o uso deste sensor seria possível, por exemplo, saber a localização do usuário, e se está ou não utilizando algum aparelho.

Um aspecto importante é ter informações sobre o sensor que será utilizado na aplicação (PUNTEL, 2013). Tais informações são referentes as suas características, seus requisitos e sua capacidade de funcionamento. Como exemplo, em uma aplicação de tempo real, o tempo de resposta do sensor é uma informação essencial para o correto funcionamento do sistema.

Os dados capturados pelos sensores podem ser pré-processados pelos próprios sensores, ou pelo sistema central. No caso do sistema, a aquisição desses dados pode ocorrer de duas formas, pela técnica de



Figura 3 – Sensor de visão BVS-E

polling ou por intermédio das interrupções (BRÄUNL, 2008).

Segundo Indulská e Sutton (2003), para sistemas sensíveis ao contexto, os sensores podem ser classificados em três grupos:

- Sensores físicos: Comumente chamados de sensores de hardware, como sensor de temperatura, umidade, luminosidade (Figura 4).
- Sensores virtuais: A origem das informações desses sensores é vinda de um software. Exemplos são os calendários eletrônicos, sistemas de reservas para viagens e e-mails.
- Sensores lógicos: Esses sensores necessitam de um conjunto de fontes de informação, para isso, eles combinam sensores físicos e virtuais. Por exemplo, um sensor lógico pode ser construído para detectar a posição atual de um funcionário através da análise dos logins em microcomputadores e de um banco de dados mapeando os dispositivos fixos.



(a) Umidade e
Temperatura



(b) Luminosidade

Figura 4 – Sensores de temperatura, umidade e luminosidade

3.4 ATUADORES

Após a leitura dos dados, é realizado o processamento pelo sistema. Com o resultado do processamento, decisões são tomadas e os atuadores acionados. Portanto, atuadores são os responsáveis por interferir no ambiente, mudando o seu estado. Atuadores podem ser acionados com comandos elétricos, manuais ou mecânicos (PUNTEL, 2013), assim como podem atuar de forma magnética, pneumática, elétrica, ou mista (SILVA, 2013).

As *Smart Homes* podem possuir inúmeros atuadores. Para o sistema, uma simples lâmpada pode ser considerada um atuador, tendo em vista que ela modifica o estado ambiente, alterando a luminosidade.

4 REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

As redes neurais artificiais, normalmente chamadas de redes neurais, foram concebidas na necessidade de simular uma das características mais importantes dos seres humanos, a capacidade cognitiva. Elas representam uma tecnologia com base em muitas disciplinas, tais como a neurociência, ciência da computação, estatística, engenharia, matemática e física (HAYKIN, 2001). A inspiração para seu desenvolvimento surgiu na funcionalidade dos neurônios biológicos, para aplicação no reconhecimento de padrões, na otimização e na previsão de sistemas complexos (BRUMATTI, 2005).

Dentre muitas das funções do cérebro, as características que mais chamam atenção para simulação em redes neurais são: Robustez e tolerância a falhas; Capacidade de aprendizagem; Processamento de informação incerta; e Paralelismo (RAUBER, 2005).

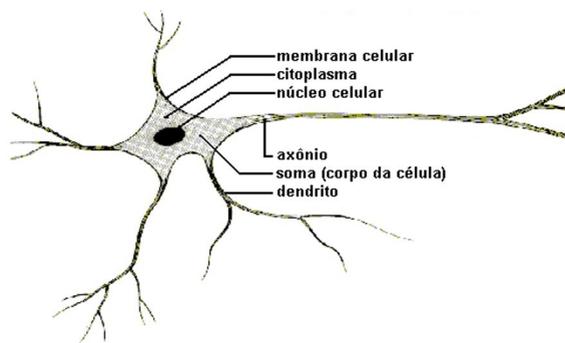


Figura 5 – Neurônio biológico
Fonte: Adaptado de Rauber (2005)

O primeiro modelo de neurônio artificial foi apresentado por McCulloch e Pitts (1943), conforme é mostrado na figura 6. A partir de então, novos estudos surgiram. Em 1958, Frank Rosenblatt apresentou o modelo perceptron, o qual mostra que se as RNAs fossem acrescidas de ligações ajustáveis, poderiam ser treinadas para classificar certos tipos de padrões, propondo ainda um algoritmo para treinar a rede e executar determinados tipos de funções (ROSENBLATT, 1958). O perceptron era capaz de classificar entre classes que são linearmente separáveis e isso mostrou-se muito promissor, porém as limitações do

mesmo (problema do "OU exclusivo") geraram na época muitas críticas. Tais críticas produziram um impacto tão grande que a comunidade científica abandonou a área das redes neurais artificiais por um longo período (RAUBER, 2005).

A partir de meados da década de 80 houve nova explosão de interesse pelas redes neurais artificiais na comunidade internacional, quando Williams e Hinton (1986) publicaram a descrição de um algoritmo de treinamento de retropropagação para solução dos problemas encontrados no perceptron.

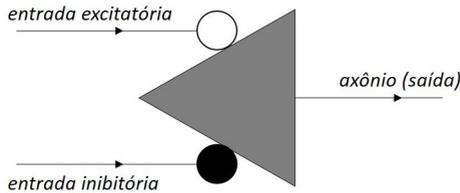


Figura 6 – Neurônio Booleano de McCulloch
Fonte: Adaptado de Kovács (2002)

4.1 NEURÔNIO ARTIFICIAL

Uma RNA é formada por um conjunto de neurônios, os quais podem ser dispostos em uma ou mais camadas, e estão conectados por ligações. Cada ligação pode apresentar diferentes valores de pesos.

Neurônios são elementos processadores que atuam em paralelo para desempenhar uma determinada tarefa (VELLASCO, 2007). Os neurônios artificiais são bastante semelhantes aos biológicos (Figura 5). Os pesquisadores McCulloch e Pitts (1943), além de proporem um modelo booleano, também apresentaram um modelo de neurônio artificial, conforme pode ser visto na Figura 7. Tal modelo tenta simular as realidades biológicas que ocorrem dentro de uma célula do sistema nervoso (RAUBER, 2005).

As entradas do neurônio, as quais são binárias, são combinadas por uma soma ponderada (Equação 4.2), ou seja, a cada entrada está associado um peso w_j que identifica a relevância de tal entrada. A saída desse somatório é o *net*. Caso esse valor ultrapasse um limiar μ , a saída binária y recebe o valor 1, se não ultrapassar o limiar a saída y recebe 0. Tal limiar é definido pela função de ativação, que no modelo

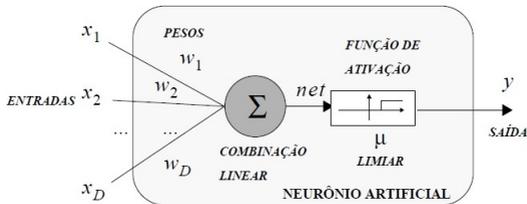


Figura 7 – Modelo de um neurônio artificial de McCulloch e Pitts
 Fonte: (RAUBER, 2005)

apresentado é utilizada a função de Heaveside e é realizada da seguinte forma:

$$\theta_x = 1, \text{ se } x \geq 0 ; \theta_x = 0, \text{ caso contrário.} \quad (4.1)$$

$$net = \sum_{j=1}^n x_j w_j \quad (4.2)$$

Além da função de ativação apresentada por McCulloch e Pitts (1943), outras funções podem ser utilizadas na saída do net, como por exemplo, a sigmoial e a linear (Figura 8). Uma função de ativação é utilizada para restringir a amplitude da saída de um neurônio (HAYKIN, 2001). Tipicamente o intervalo da saída de um neurônio está entre 0 e 1, as vezes valores entre -1 e 1 também podem ser utilizados.

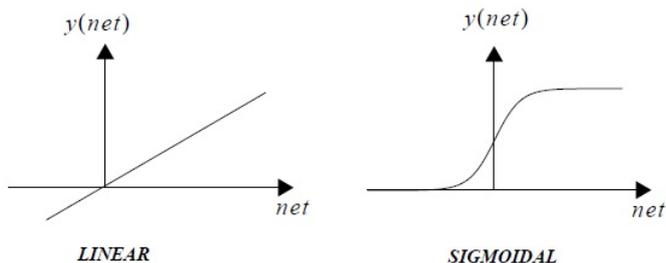


Figura 8 – Funções de ativação: Linear e Sgmoial

A descrição do neurônio permitiu compreender melhor o que são as unidades básicas que compõem uma RNA.

4.2 ARQUITETURA DE REDES NEURAIS

Uma rede neural artificial é um sistema de neurônios artificiais, ligados por conexões sinápticas. Geralmente, as RNAs são divididas em camadas, ou seja, os neurônios estão organizados dessa forma.

Na forma mais simples de uma RNA, apenas uma camada de entrada e uma de saída é encontrada, conforme é ilustrado na Figura 9. Tal modelo de RNA é conhecido como alimentado adiante ou acíclica (*feedforward*). Apesar de apresentar duas camadas, essa arquitetura é chamada de rede de camada única, pois os neurônios de entrada não realizam qualquer computação.

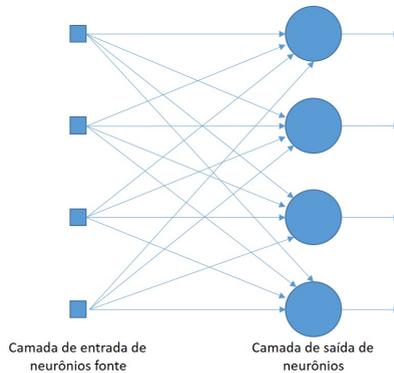


Figura 9 – Rede alimentada adiante de camada única
Fonte: Adaptado de HAYKIN (2001)

Conforme é colocado por Williams e Hinton (1986), uma RNA deve ter ao menos duas camadas para apresentar um resultado significativo no desempenho de suas funções. No entanto, as redes acíclicas de camada única são poucas utilizadas, tendo em vista que podem realizar somente cálculos simples, geralmente realizados por métodos mais tradicionais.

Uma outra classe de redes alimentadas diretamente são as RNAs com múltiplas camadas, conforme pode ser visto na Figura 10. Ao adicionar camadas intermediárias em uma rede neural artificial é possível aumentar a capacidade de processamento da mesma (De Castro; Von Zuben, 2001). As camadas são classificadas da seguinte forma:

- Camada de entrada, recebem os dados do meio externo;

- Camada interna, também conhecida como camada oculta (*hidden*). Muitas vezes pode haver mais de uma camada interna;
- Camada de saída, assim como a de entrada se comunica com o meio externo, disponibilizando informações.

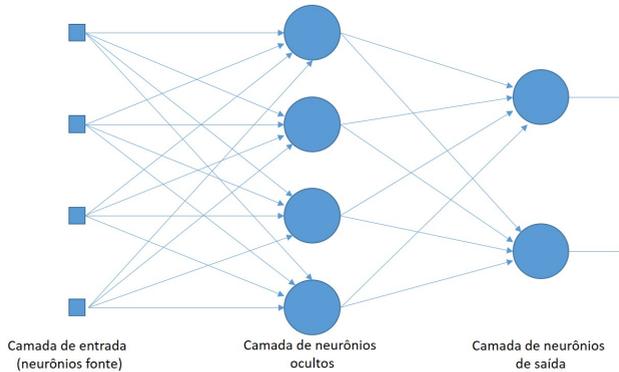


Figura 10 – Rede alimentada adiante com camada oculta
Fonte: Adaptado de HAYKIN (2001)

No caso das redes de propagação para frente, indiferente do número de camadas, o fluxo de informação é unidirecional. Diferentemente da próxima arquitetura a ser descrita, as redes recorrentes.

As redes recorrentes são assim denominadas pois possuem, pelo menos, um laço da saída de neurônios realimentando outros neurônios (De Castro; Von Zuben, 2001), ou seja, as saídas da rede são determinadas pelas entradas atuais e pelas saídas anteriores. Ao contrário das redes sem realimentação, o comportamento dinâmico desempenha o papel fundamental nesse modelo (RAUBER, 2005). Hopfield (1982) apresenta um modelo para este tipo de rede.

Nem sempre as redes recorrentes serão estruturadas em camadas. Caso sejam, podem apresentar interligações entre neurônios da mesma camada e entre camadas não consecutivas, de forma que não existam restrições nas ligações entre os neurônios (VELLASCO, 2007). Uma rede recorrente pode consistir, por exemplo, de uma única camada de neurônios, onde a saída de cada neurônio alimenta a entrada dos demais (HAYKIN, 2001), conforme o grafo apresentado na Figura 11.

A presença de laços de realimentação, seja na estrutura com camada oculta ou na estrutura com uma única camada, oferece a este

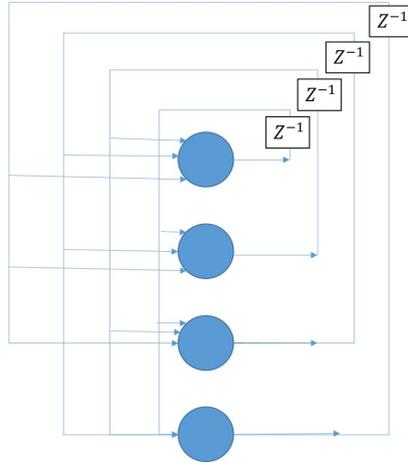


Figura 11 – Rede recorrente sem neurônios ocultos
 Fonte: Adaptado de HAYKIN (2001)

tipo de rede uma forma de "memória"(VELLASCO, 2007). Elas possuem um grande impacto na capacidade de aprendizado da rede bem como no seu desempenho (HAYKIN, 2001).

4.3 APRENDIZADO E TREINAMENTO

Após realizada a definição da rede, arquitetura e características, o próximo passo é efetuar o treinamento da mesma. O objetivo desta etapa é fazer com que a aplicação de um determinado conjunto de entradas produza uma saída, ou um conjunto desejado de saídas. Caso não seja alcançado este objetivo espera-se que a saída seja no mínimo coerente. Durante este processo, os pesos da rede são constantemente alterados e convergem para determinados valores, assim a rede se torna mais instruída sobre seu ambiente após cada iteração. Ao final do treinamento, quando os pesos sinápticos já estiverem sido definidos, ao aplicar um vetor de entrada, a rede deve alcançar seu objetivo, produzindo as saídas necessárias (VELLASCO, 2007).

O aprendizado em uma rede neural artificial é um processo muito importante e, ainda nos dias de hoje, continua a ser submetido a intensas pesquisas em ambas as abordagens relacionadas as redes biológicas e neurais (BRUMATTI, 2005). A melhoria do desempenho ocorre no decorrer do tempo, de acordo com alguma medida preestabelecida (HAYKIN,

2001).

Devido a diversidade de arranjos que uma RNA pode ter, o aprendizado não é um processo único. Há diferentes formas de se realizar o aprendizado, cada um adequado a diferentes tipos de redes (HAYKIN, 2001). Sendo assim, para que o aprendizado seja possível, um conjunto de regras bem definidas para a solução de um problema deve ser realizado, tais conjuntos são denominados algoritmos de aprendizagem. Os diferentes algoritmos de aprendizagem existentes, se diferem entre si pela forma com que os pesos sinápticos são atualizados (HAYKIN, 2001).

A maneira pela qual o ambiente influencia a rede em seu aprendizado define o paradigma de aprendizagem (De Castro; Von Zuben, 2001). O processo de treinamento pode se dar com auxílio de um professor ou sem esta ajuda. Estes dois casos de ensino são chamados de treinamento supervisionado e não-supervisionado (BARRETO, 2002), e são exemplos de paradigmas de treinamento.

Na aprendizagem supervisionada cada exemplo de treino está acompanhado por um valor desejado, ou seja, existe um "professor" que provê valores de saída para cada padrão de entrada da rede. Um exemplo de aplicação o qual se utiliza este tipo de aprendizado é reconhecimento de padrões ou de objetos. Nessas aplicações é necessário conhecer os valores que se pretende reconhecer, e assim ajustar os pesos das ligações.

O aprendizado não-supervisionado ocorre quando realiza modificações nos valores das conexões sinápticas (pesos) e não se usa informações sobre se a resposta da rede foi correta ou não (BARRETO, 2002). Isso significa que a rede tem que achar atributos estatísticos relevantes e desenvolver uma representação própria dos estímulos que entram na rede (RAUBER, 2005). Durante a sessão de treinamento, a rede recebe em sua entrada excitações muito diferentes ou padrões de entrada e os organiza em categorias. Quando uma entrada é aplicada à rede, esta fornece uma resposta de saída indicando a classe a qual a entrada pertence (AZEVEDO, 1999).

4.4 TRABALHOS RELACIONADOS

O uso eficiente da energia elétrica é uma questão de preocupação frequente para todos e em todos os setores. No setor residencial, por exemplo, foram obtidos alguns progressos no que diz respeito à redução do consumo, através da substituição de dispositivos com alto grau de

desperdício por modelos mais econômicos, como as lâmpadas incandescentes por fluorescentes e LED. No entanto, o desperdício ainda é evidente. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2010), no Brasil, dos 10.399 GWh consumidos pelas residências, quase 18% é desperdiçado. Este desperdício, além de provocar aumento da produção sem necessidade, causa para os usuários um impacto financeiro considerável.

Pode-se dizer então que, ao evitar o desperdício de energia, poupar dinheiro gera consequências positivas. Dentre elas a redução da demanda máxima que, por sua vez, permitiria aos operadores de linhas de energia reduzir a provisão de capacidade máxima.

Nas seções a seguir serão descritos alguns trabalhos relacionados ao tema, cujo o objetivo é busca por obter uma maior eficiência no uso de energia elétrica. Seja pelo monitoramento e conscientização dos usuários ou pelo controle direto baseado no contexto.

4.4.1 Monitoramento de consumo

No sentido de auxiliar os usuários na conscientização referente ao uso de energia elétrica, fazer o uso de tecnologias inteligentes pode ajudá-los na utilização eficiente da mesma.

O trabalho realizado por Choi et al. (2009), apresenta alguns dados da Korea Electric Power Corporation (KEPCO), os quais apontam prejuízos da ordem de U\$ 1,3 bilhão no ano de 2008, devido a falta de recursos fósseis para geração de energia e consequentemente, devido ao aumento no preço dos combustíveis. É levado também em consideração o desperdício de energia elétrica. Para solução do problema exposto é inserido o conceito de *smart metering* aliado à instalação de interfaces de fácil visualização dos dados de consumo, tornando-se grandes aliados na conscientização dos usuários a um padrão de consumo mais eficiente e econômico. O sistema foi desenvolvido baseando-se no padrão Energy Management System (EMS). Neste padrão, a busca pela eficiência energética é alcançada através do autogerenciamento, ou seja, através da disponibilização de informações detalhadas sobre o consumo atual ou do passado e com previsões futuras sem necessitar propriamente de mudanças na tarifa. Os resultados obtidos apontaram redução do consumo em 60 das 77 residências testadas, com redução média de 15,9% no consumo de energia elétrica.

Um outro exemplo, que utiliza desta alternativa pode ser vista no trabalho de Rist et al. (2011). Onde é apresentado uma arquitetura de

software em camadas que facilita a integração de sistemas para medição de energia, domótica e tecnologias de interface de usuário. A intensão do trabalho também é auxiliar os habitantes da residência entenderem melhor seus padrões de consumo e assim gerenciar de forma eficiente a utilização de seus equipamentos elétricos. No entanto, o framework proposto não foi aplicado em nenhuma situação de testes.

Segundo Schweizer et al. (2015) padrões de uso e as preferências dos habitantes podem ser aprendidos de forma eficiente permitindo assim que as *smart homes* consigam economias de energia de forma autônoma. Neste trabalho é proposto um algoritmo de mineração e extração de padrões adequado para dados reais de eventos de uma residência. O desempenho do algoritmo proposto é comparado com os algoritmos existentes quanto à integridade dos resultados, tempos de execução e consumo de memória. Além disso, o trabalho realizado compara as deficiências das diferentes soluções. Há também a proposta de um sistema de recomendação baseado no algoritmo desenvolvido. Tal sistema foi implantado em um conjunto de residências de teste, onde os participantes do teste avaliaram o impacto das recomendações sobre seu conforto. Através deste retorno dos usuários foi possível realizar o ajuste dos parâmetros do sistema e tornando-os mais precisos para uma próxima etapa de testes. Os testes foram aplicados em 33 residências, com aproximadamente 3521 dispositivos. Foram gerados nos testes mais de 4 milhões de eventos. Ao fim dos testes, o sistema produziu por volta de 160 recomendações na primeira etapa e 120 durante a segunda fase. Por fim, a proporção de recomendações consideradas úteis foram por volta de 10

4.4.2 Controle de consumo

Com relação ao controle eficiente de equipamentos elétricos o trabalho apresentado por (BENEDETTI et al., 2016), apresenta uma abordagem nova para o controle do consumo de energia. Os autores propõem uma metodologia baseada em Redes Neurais Artificiais (RNAs), visando a criação de um sistema automático de controle de consumo de energia. O sistema proposto, inicialmente faz uma leitura do consumo médio do ambiente. Essa captura dos dados alimenta as redes neurais para seus devidos treinamentos. Assim, com base nesse histórico de consumo o sistema controla de maneira satisfatória o uso da energia elétrica. A validação do sistema proposto foi realizada em um edifício comercial, o qual possuía uma área total de 4968 m² e 8 andares. O

número máximo de ocupantes é de 390. O edifício ficou aberto das 8h às 17h durante cinco dias por semana (de segunda a sexta-feira) e das 8h às 13h de sábado. Dentre as variáveis analisadas pode-se destacar algumas que vão de encontro ao presente trabalho, tais como temperatura ambiente e da água para controle da climatização e do aquecimento dos reservatório de água do edifício analisado.

5 SISTEMAS DESENVOLVIDOS

Neste capítulo serão apresentadas as descrições de dois sistemas: i) sistema de controle, o qual é aplicado para gerenciar a temperatura de saída de um chuveiro elétrico e o ii) sistema de monitoramento do consumo energético, também aplicado para uso eficiente de um chuveiro elétrico.

O primeiro realizará o controle automático de temperatura da água do chuveiro, com base na temperatura externa e da água. A intervenção humana será mínima. Tendo em vista que ao usuário, cabe apenas configurar previamente o sistema, definindo qual a temperatura ideal da água para usar o chuveiro.

O segundo sistema deverá monitorar as mudanças de contexto, ou seja, fará leitura dos dados, em tempo real, referentes ao estado do ambiente (temperatura) e ao consumo de energia elétrica. A partir disso tomará decisões, que vão desde a emissão de sinais, à apresentação de avisos aos usuários.

A prioridade do segundo sistema é poder identificar o consumo em excesso de energia dos dispositivos da *Smart Home* e assim, sugerir sobre um melhor uso, influenciando diretamente no hábito dos usuários. Enquanto que a prioridade do primeiro sistema é diminuir o tempo para ajuste da temperatura do chuveiro, reduzindo assim o desperdício de energia elétrica.

Tanto o sistema de controle como o de monitoramento fazem uso de RNAs para tomada de decisões. A descrição das arquiteturas escolhidas, bem como suas configurações são descritas na seção a seguir.

5.1 MODELAGEM E ARQUITETURA DAS RNAS

Neste capítulo serão mostrados os tipos de dados utilizados para configuração das RNAs e serão descritos a arquitetura escolhida e o processo de escolha.

5.1.1 Modelagem

O primeiro passo para desenvolvimento de qualquer sistema de processamento é a definição do escopo e dos dados a serem processados. O sistema aqui apresentado é composto por duas RNAs responsáveis

pelo processamento dos dados. Uma possui a abrangência mais geral, monitorando em tempo real o consumo energético de um equipamento específico. O sistema de monitoramento notifica o usuário em casos onde o consumo esteja acima do ideal, estipulado na configuração do sistema. A segunda rede é mais específica, e é responsável pelo controle eficiente no consumo de energia elétrica. Para ambos os sistemas, a validação foi realizada com o chuveiro, o aparelho que mais consome energia elétrica dentro de uma residência (ANEEL, 2008).

A RNA de monitoramento é composta por duas entradas, temperatura ambiente e potência consumida, e uma saída, formada por três grupos, consumo alto (saída igual a 1), na média (saída igual a 0) e baixo (saída igual a -1). A tabela de consumo foi desenvolvida com base em um chuveiro de 6000 Watts de potência, com uma variação de 500 Watts até atingir o consumo mínimo (zero). A outra entrada foi formulada tendo como base o histórico de temperatura da região, de 0°C a 40°C, com uma escala de 5°C de variação.

A rede que efetua o controle do chuveiro também é composta por duas entradas, uma é a temperatura ambiente e a outra a temperatura da água, e uma saída, a qual fornece a informação para aumentar (valor igual a 1), manter (valor igual a 0) ou diminuir (valor igual a -1) a potência que está atualmente configurada no chuveiro. Tendo em vista que o objetivo é estabelecer uma temperatura ideal para a água do chuveiro, evitando assim o desperdício de água e de energia elétrica, para os dados da temperatura da água utilizou-se uma escala de 1°C variando de 10°C a 70°C.

Após concluída a modelagem dos dados, foi necessário a realização de um pré-processamento dos mesmos, composta pela normalização. A finalidade desse pré-processamento é colocar os dados em uma mesma faixa de valores, evitando assim que uma dimensão se sobreponha em relação às outras e que o aprendizado das RNAs fiquem estagnados. O método de normalização utilizado foi o Max-Min equalizado (Equação 5.1), o qual utiliza os valores máximo e mínimo para normalizar linearmente os dados entre $[0, 1]$.

$$\text{ novoValor} = \frac{\text{valor} - \text{min}(\text{valores})}{\text{max}(\text{valores}) - \text{min}(\text{valores})} \quad (5.1)$$

Com os dados devidamente normalizados a próxima etapa foi iniciar a configuração das RNAs. Na seção a seguir, serão apresentados as métricas utilizadas para definição da arquitetura das RNAs.

5.1.2 Arquitetura das RNAs

O modelo mais utilizado em aplicações com redes neurais, é o *Multi Layer Perceptron* (MLP) (HAYKIN, 2001), devido a sua simplicidade, versatilidade e eficiência, e por isso foi escolhido como modelo deste trabalho. Quanto a definição dos parâmetros das redes MLP (arquitetura e topologia), são realizados, geralmente, através de repetidas tentativas com diferentes configurações até serem obtidos resultados satisfatórios, ou seja, método da tentativa e erro. Além de consumir bastante tempo, este processo pode obter redes com conexões e nós desnecessários. Porém, a definição da arquitetura de RNAs é uma etapa muito importante, uma vez que a escolha da topologia tem um impacto significativo na capacidade de processamento da rede a ser utilizada (JUNG; REGGIA, 2006). Por isso, a escolha desses parâmetros deve ser realizado de maneira bastante criteriosa. Abaixo são elencados os principais parâmetros para definição da arquitetura de uma RNA:

- Número de camadas escondidas
- Número de neurônios nas camadas escondidas
- Função de transferência (ativação) para cada camada
- Função de aprendizado

Quanto ao número de camadas, sabe-se que a rede deve possuir pelo menos duas camadas, uma responsável pela entrada e a outra pela saída. O número de neurônios dessas duas camadas é especificado pela modelagem. Portanto, a tarefa principal e de maior dificuldade é encontrar o número de camadas ocultas e de neurônios para cada uma dessas camadas. Atualmente, não é possível determinar teoricamente o número de camadas ou neurônios escondidos que são necessários para cada problema. A dificuldade de definição da arquitetura da rede, é um grande causador de problemas. Pois, dependendo do modelo a ser configurado, uma RNA com poucas conexões pode não ser capaz de resolver a tarefa, devido à quantidade insuficiente de parâmetros ajustáveis, causando o *underfitting*. No entanto, o oposto também causa problemas, se a rede possuir muitas conexões, acima do necessário, pode haver um ajuste excessivo aos dados de treinamento, ocasionando o *overfitting*, dessa forma, a rede estaria com a capacidade de generalização prejudicada. Por isso, o desenvolvimento de técnicas automáticas para definição de topologias para uma rede MLP torna-se essencial.

Conforme Yao (1999) mostra, a escolha da arquitetura ótima para um dado problema pode ser resolvida com a utilização de técnicas para otimização. Considerando alguma função de custo, no caso, levando em consideração, por exemplo, o tamanho da arquitetura (número de camadas e neurônios) e o erro nos dados de treinamento. O custo de todas as topologias forma uma superfície discreta no espaço, de modo que a escolha da arquitetura ótima passa a ser equivalente à busca do ponto de mínimo global desta superfície.

Otimização é a busca da melhor solução para um dado problema. Consiste em tentar várias soluções e utilizar a informação obtida neste processo de forma a encontrar soluções cada vez melhores. Em termos matemáticos, a otimização consiste em achar a solução que corresponda ao ponto de máximo ou mínimo da função objetivo.

Dentre os métodos disponíveis utilizados para otimização, um método que vem ganhando bastante atenção são os algoritmos genéticos (AG). Os AGs, são métodos de otimização e busca inspirados nos mecanismos de evolução de populações dos seres vivos, seguindo o princípio da seleção natural e sobrevivência do mais apto (HOLLAND, 1975). Em RNAs, os AGs têm sido aplicados em diversas abordagens, que vai desde o treinamento e ajuste dos pesos em uma determinada topologia e até em buscas de arquiteturas ótimas (YAO, 1999).

No entanto, para a devida implementação de um algoritmo genético, alguns aspectos devem ser considerados, o primeiro é a representação dos parâmetros do problema, ou seja, a codificação das possíveis soluções do problema em estruturas que podem ser manipuladas pelos algoritmos genéticos (YAO, 1999). Onde, uma solução possível do problema, antes da codificação, recebe o nome de fenótipo, e cada fenótipo é codificado em uma estrutura, que recebe o nome de indivíduo (genótipo) (HOLLAND, 1975).

Neste trabalho, foi utilizado um AG para escolha da melhor arquitetura de RNA. A função objetivo é composta pelo valor mínimo de três parâmetros, o erro nos dados de treinamento, o número de camadas intermediárias e o número de neurônios em cada uma dessas camadas, onde a prioridade ou ordem de escolha segue conforme foi colocado.

Na Tabela 2 é apresentado os valores utilizados por cada um dos parâmetros na elaboração dos indivíduos.

Tabela 2 – Valores utilizados para configuração das redes

Parâmetro	Valores utilizados
Camadas escondidas	1 a 6
Neurônios	1 a 30
Funções de ativação	logsig' e 'tansig' para as camadas intermediárias 'tansig' e 'purelin' para a camada de saída
Funções de Treinamento	trainbfg', 'trainbr', 'trainrp', 'trainlm', 'trainscg', 'traincgb', 'traincgf', 'traincgp', 'trainoss', 'traingdx' e 'traingd'

A cada indivíduo gerado, uma nova combinação dos parâmetros foi realizada. A população foi iniciada com 400 indivíduos e segundo o algoritmo (Figura 14) foram calculadas as aptidões dos indivíduos, dentre os mais aptos, foram selecionados um conjunto de indivíduos, realizados os cruzamentos e mutações. A taxa de seleção utilizada foi de 60% da população. Os selecionados eram combinados através do operador de cruzamento até atingir valor original da população (400 indivíduos), e em seguida 2,5% sofriam mutação.

O algoritmo foi aplicado por 4 gerações de indivíduos. E como pôde ser observado, um percentual dos melhores, desde a primeira geração, foi sempre mantido.

Tabela 3 – Arquiteturas selecionadas - parâmetros

Parâmetro	Monitoramento	Atuação
Camadas ocultas	1	2
Neurônios	15	5 e 25
Funções de ativação	logsig e purelin	logsig, logsig e purelin
Função de treinamento	trainlm	trainlm

Após a aplicação do AG, foram obtidas as arquiteturas para as duas RNA's. A Tabela 3 mostra a configuração das arquiteturas selecionadas pelo algoritmo genético.

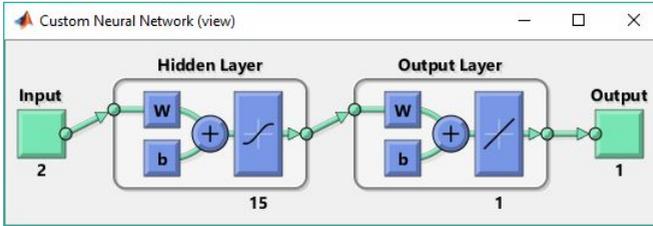


Figura 12 – Arquitetura da RNA de monitoramento

Após a definição das arquiteturas, o próximo passo foi realizar os testes com valores aleatórios dentro do intervalo estabelecido pelas entradas, a fim de validar a rede escolhida e medir o grau de generalização das redes. As Figuras 13 e 12 mostram a topologia das redes escolhidas.

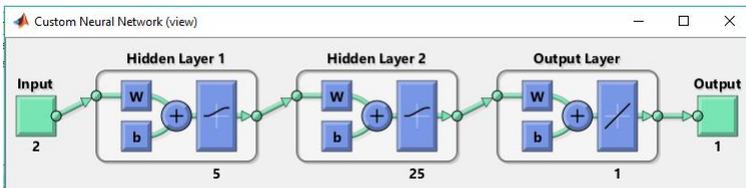


Figura 13 – Arquitetura da RNA de atuação

Conforme os resultados apresentados na Tabela 4 e na Tabela 5, os testes mostraram que as redes escolhidas pelo algoritmo genético são bastantes eficientes. Tanto na generalização dos dados, como no valor do erro.

Tabela 4 – Testes realizados com a RNA do sistema de controle

(a) Resultados dos testes com dados treinados

Temp. Externa	Temp. Água	Saída	Valor esperado
40,00	15	0	0
10	70	-1	-1
20	30	1	1
35	50	-1	-1
37	20	0	0

(b) Resultados dos testes com dados não treinados

Temp. Externa	Temp. Água	Saída	Valor mais próximo esperado
22,50	18,5	1	1
46,2	31,7	-1	-1
26,6	44,14	-1	-1
17,8	29,9	1	1
19,3	42,7	0	0

Tabela 5 – Testes realizados com a RNA do sistema de monitoramento

(a) Resultados dos testes com dados treinados

Temp. Externa	Temp. Água	Saída	Valor esperado
7000,00	45	1,000000	1
0	1	-1,000000	-1
1000	30	0,007787	0
3000	5	-1,000000	-1
4000	20	0,012068	0

(b) Resultados dos testes com dados não treinados

Temp. Externa	Temp. Água	Saída	Valor mais próximo esperado
3333,00	22,5	-0,015182	0
683	18,75	-1,000000	-1
1430	29,44	0,028725	0
2189	9,48	-1,000000	-1
4108	16,9	-1,000000	-1

Tanto o AG quanto as RNAs foram desenvolvidas, testadas e

validadas através do software MATLAB (MAtrix LABoratory), tendo em vista as diversas ferramentas disponíveis, que auxiliam no desenvolvimento de algoritmos que possuem certo grau de complexidade. Entretanto, apesar das facilidades encontradas com o software, não foi possível extrair as informações das RNAs para implementação no sistema embarcado. Para solução desse problema, foi desenvolvido, na linguagem de programação C, as duas RNAs definidas pelo AG, podendo assim, ser possível o embarcamento dos códigos para início dos experimentos.



Figura 14 – Algoritmo Genético utilizado - Fluxograma

5.2 SISTEMA DE MONITORAMENTO

Conforme foi informado anteriormente, o sistema de monitoramento tem seu objetivo baseado na conscientização dos habitantes. O sistema verifica o consumo em tempo real, e notifica o usuário caso o mesmo esteja ultrapassando os limites de consumo. O sistema também faz recomendações aos usuário quanto ao melhor uso do equipamento.

O sistema de monitoramento é composto, basicamente, por três partes principais. A primeira é responsável pela aquisição dos dados, a segunda pelo processamento dos dados adquiridos e a terceira pela interface com o usuário. Cada parte teve seu desenvolvimento dividido em três etapas, em uma é desenvolvido o software, na outra o hardware e na última etapa é realizada a integração.

Nas seções a seguir são descritas as partes do sistema, bem como, sua estrutura.

5.2.1 Aquisição de dados

O processo de aquisição de dados é realizado, principalmente, através de sensores. Para o sistema de monitoramento em questão, os dados necessários a serem capturados podem ir desde valores de aquisição mais simples, como a luminosidade, até valores de aquisição mais complexas, como é o caso da corrente. Para este trabalho, os dados adquiridos são compostos pelo valor da corrente e tensão, consumidas pelos aparelhos de uma residência, e pelo valor da temperatura ambiente. A finalidade da utilização desses sensores é de medir o consumo de energia elétrica de um chuveiro elétrico.

Para obtenção dos valores de corrente foi utilizado o sensor ACS712 de 30 amperes, desenvolvido pela Allegro MicroSystems LLC (1979). Este sensor faz uso do efeito hall para detectar o campo magnético gerado durante a passagem de corrente. O dispositivo fornece na saída do módulo (pino OUT), uma tensão proporcional de 66mV/A. A escolha deste sensor é devido ao isolamento de 2.1 kVRMS. A Figura 15 apresenta o módulo ACS712 utilizado no presente trabalho.

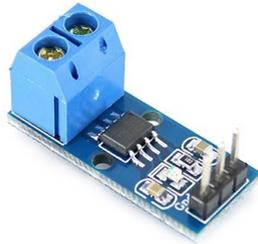


Figura 15 – Módulo ACS712 de 30 amperes

O outro sensor escolhido foi o termistor NTC (*Negative Temperature Coefficient*), que pode ser visto na Figura 16. Termistores são dispositivos elétricos que têm a sua resistência elétrica alterada termicamente, isto é, apresentam um valor de resistência elétrica para cada temperatura absoluta. Por ser possível a utilização deste sensor em um meio com certo grau de umidade, e o mesmo apresentar um tempo de resposta consideravelmente rápido, fez-se necessário a sua escolha.



Figura 16 – Termistor NTC

Após a definição dos sensores, o próximo passo foi desenvolver o software para realizar a leitura dos valores por eles disponibilizados.

O software foi desenvolvido na linguagem de programação C, a qual oferece maior flexibilidade e possui compiladores disponíveis para os diversos microcontroladores e microprocessadores (RISC e CISC) existentes no mercado.

O software desenvolvido faz a leitura dos sensores a cada 1 ms (milissegundo), e os disponibiliza para o elemento responsável pelo processamento, que será abordado na seção seguinte.

5.2.2 Processamento dos dados

Para processamento foi escolhido o microcontrolador ATMEGA1280 desenvolvido pela Atmel Corporation (1984a), em conjunto com a *board* arduino, a qual é composta pelo microcontrolador Atmel, mais os circuitos de entrada/saída. Essa *board* pode ser facilmente conectada à um computador e programada via IDE (*Integrated Development Environment*, ou Ambiente de Desenvolvimento Integrado). O motivo pela escolha desta placa é devido a facilidade de se utiliza-la, assim é possível criar protótipos em um tempo consideravelmente menor, se comparado com o desenvolvimento direto com o microcontrolador. Além disso, este microcontrolador possui uma quantidade de pinos bastante interessante, se comparados com outros do mesmo nível. A Figura 17 ilustra a placa escolhida.



Figura 17 – Arduino Board ATMega1280

Este elemento é responsável pelo processamento dos dados recebidos pelo módulo de aquisição, através das RNAs, e pelo envio para o módulo de interface com o usuário, o qual será apresentado a seguir.

5.2.3 Interface

O módulo de interface é formado por um *display* de LCD de 16x2 (16 colunas e 2 linhas) e por LEDs (*Light Emitting Diode* ou diodo emissor de luz).

Os LEDs (Figura 18) são responsáveis por notificar ao usuário

qual o estado atual do consumo energético. Para isso, três cores foram utilizadas. Verde, para informar que o consumo está com a máxima eficiência. Amarelo, que representa o máximo consumo aceitável, levando em consideração o conforto do usuário. E por fim o LED vermelho, que apresenta ao usuário uma representação de desperdício, ou uso ineficiente do aparelho.



Figura 18 – Diodo emissor de luz

O *display* apresenta para os usuários informações referente ao consumo e ao valor gasto com a utilização do equipamento. Além disso, é através do *display* que o sistema faz as recomendações, sobre um melhor uso dos aparelhos. O *display* utilizado pode ser visto na Figura 19.

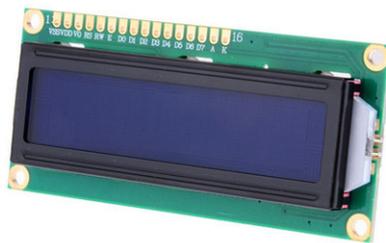


Figura 19 – Display de LCD 16x2

O sistema conta também com um módulo para gravação dos

dados coletados e o armazenamento é feito em um cartão de memória. A finalidade desse módulo é disponibilizar para o usuário uma forma de acompanhar o seu consumo, assim o mesmo pode gerenciar melhor o uso do equipamento. As informações gravadas são referentes aos dados de contexto (consumo e temperatura), além de gravar as informações do custo monetário.

5.2.4 Funcionamento

Após a validação de todas as partes do sistema, foi realizada a integração e a montagem dos módulos. A montagem foi realizada em uma caixa de polipropileno para isolamento do circuito, conforme pode ser visto na Figura 20.

O sistema tem seu funcionamento da seguinte forma, após conectar o fios do sensor de corrente ao equipamento a ser monitorado, que nesse caso é o chuveiro, é realizada a aquisição dos dados, corrente, tensão e temperatura ambiente. Em seguida, o processamento é realizado através da RNA, a qual, com base nesses dados de entrada, notifica o usuário quanto a situação do seu consumo, baixo (alta eficiência), médio (aceitável) e alto (desperdício), acendendo os LEDs verde, amarelo e vermelho respectivamente. Além disso, o sistema também emite um sinal sonoro, caso o consumo esteja alto.



Figura 20 – Sistema de Monitoramento

Outra situação verificada pelo sistema durante o monitoramento é com relação ao tempo de utilização do equipamento. Caso o usuário ultrapasse o tempo máximo estipulado (8 minutos), há também uma notificação através do sinal sonoro, além da sinalização pelo acendimento do LED vermelho.

Quanto às recomendações, o sistema realiza com base no valor de saída da RNA e na temperatura ambiente. Assim, se por exemplo, o usuário estiver com seu chuveiro configurado na potência de 3000 watts e a temperatura ambiente está em 30 °C, além de notificá-lo, com o sinal sonoro e com o acendimento do LED vermelho, o sistema sugere que a potência seja ajustada para 2500 watts, de forma a tornar o consumo eficiente.

5.3 SISTEMA DE CONTROLE

Este componente do sistema proposto é responsável por controlar de fato o equipamento. Para validação do mesmo, foi utilizado, assim como para o módulo de monitoramento, um chuveiro elétrico, tendo em

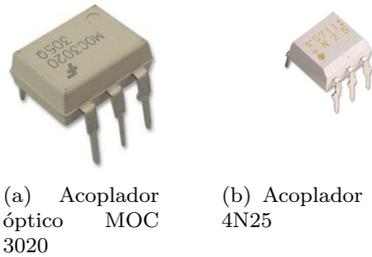


Figura 22 – Acopladores ópticos utilizados

Outro elemento importante do circuito de potência é o filtro *snubber*. Composto por um resistor de 2k2 e um capacitor de 22nF, ligados em série entre si, e em paralelo com os terminais do TRIAC. A função deste filtro é reduzir a emissão de harmônicas na rede de energia e deformações na senoide da rede, provocadas pelas rápidas comutações do TRIAC.

Nas seções a seguir são descritas as etapas de desenvolvimento do *hardware* e do *software*, bem como, o funcionamento do sistema final.

5.3.1 Hardware

Para realizar o controle da temperatura de um chuveiro elétrico é necessário o total domínio sob a quantidade de potência aplicada na resistência elétrica, a fim de aquecê-la. Existem duas formas de realizar esta tarefa:

- Modulação por Posição de Pulso (PPM) - Neste método é realizado o controle angular da senoide através de pulsos, fazendo uso de *timers* do microcontrolador além de rotinas de interrupção para sincronismo do sistema com a rede elétrica.
- Pacotes de onda senoidal - Esta técnica envolve o conceito de ciclos completos de onda e é baseado no Algoritmo de Bresenham visando a equipartição da energia dentro de um período de tempo pré-fixado.

Apesar de as duas técnicas serem eficientes, optou-se pelo controle através de PPM, visto que, possibilita um controle mais preciso e mais suave da potência aplicada na carga.

5.3.1.1 Zero crossing circuit

Para utilização da técnica de PPM foi necessário desenvolver, em hardware, um sistema para detecção da passagem da senoide pelo zero. Assim, com o sistema sincronizado com a rede, seria possível definir em que momento do período senoidal é feita a ativação do TRIAC para disponibilizar à carga a potência escolhida.

Na Figura 23, é apresentado o circuito detector de passagem por zero e a Figura 24 ilustra a detecção da passagem por zero. Seu funcionamento ocorre da seguinte forma: no ciclo positivo da rede, o sinal, inicialmente percorre os resistores arranjados em paralelo para diminuição da tensão a ser entregue ao optoacoplador. Em seguida, passa pelos dois diodos que possuem o ânodo conectado a entrada, para então atravessar pelo LED do optoacoplador acionando o mesmo e assim gerando um pulso em sua saída. O procedimento ocorre da mesma forma no ciclo negativo, no entanto, passando pelos catodos dos diodos. Assim, em cada semi-ciclo é gerado um pulso na saída do acoplador óptico, sincronizando o sistema com a rede elétrica.

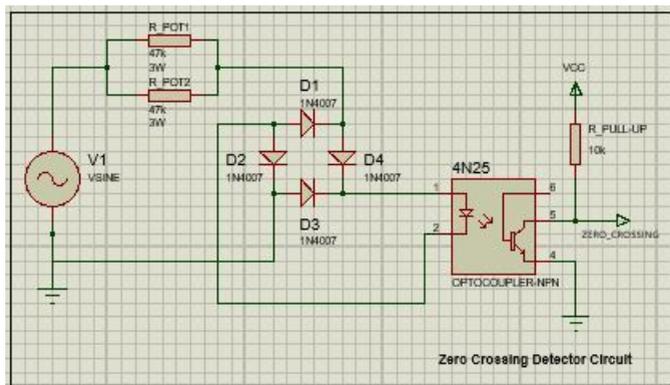


Figura 23 – Circuito detector de passagem por zero

A cada pulso emitido pelo acoplador óptico, é gerada uma interrupção no microcontrolador.

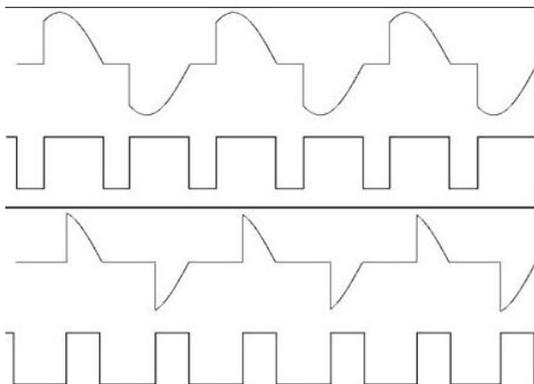


Figura 26 – Momentos de ativação do TRIAC, sob a influência do PPM

Todo o gerenciamento das interrupções e ativações, bem como o processamento dos dados recebido pelos sensores, são feitos via *software*, o qual será apresentado na próxima seção.

Nas Figuras 27 e 28 é apresentada a placa, desenvolvida em circuito impresso, do sistema de controle a ser embarcada no chuveiro.

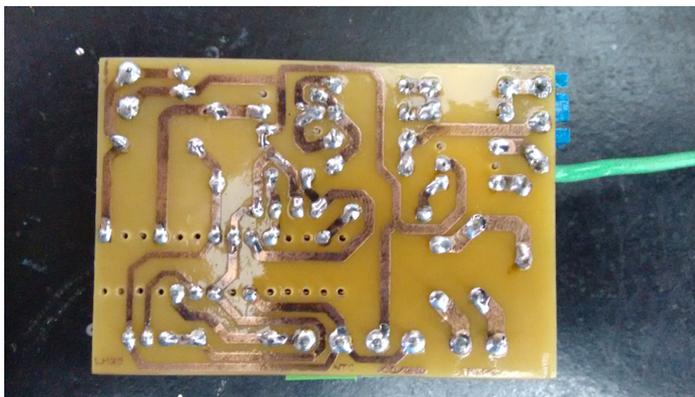


Figura 27 – Placa do circuito de controle - vista *bottom*



Figura 28 – Placa do circuito de controle - vista *top*

5.3.2 Software e funcionamento do sistema

O software foi desenvolvido na linguagem de programação C, pelos mesmos motivos que foi escolhido para desenvolvimento do sistema de monitoramento.

O algoritmo inicialmente realiza a leitura do contexto, através dos sensores. E em um segundo momento, essas informações são processadas pela RNA de controle. A partir da saída da RNA o software calcula o ângulo de disparo do TRIAC, influenciando diretamente no valor de potência que será fornecido a carga, que no caso é a resistência do chuveiro.

A RNA já foi inicialmente treinada e integrada ao microcontrolador para processamento dos dados de entrada.

O cálculo do ângulo é feito baseando-se na saída da rede (-1, 0 ou 1). Inicialmente o ângulo é zero, disponibilizando potência total para a carga. Então, caso a saída da RNA seja -1, significa que é necessário diminuir essa potência, aumentando o ângulo para ativação do TRIAC.

Na verdade, o que o software faz é multiplicar a saída da RNA por um valor de escala, definido para aumento ou diminuição do ângulo. Em seguida, é feito o cálculo do tempo que deve ser aguardado para disparar o TRIAC no ângulo desejado. A fórmula para o cálculo do tempo é apresentada na Equação 5.2. Onde, *timer* é o tempo a ser esperado, *angle* o ângulo calculado e o valor 8.33 diz respeito ao tempo do semi-ciclo em milissegundos.

$$timer = \frac{(angle * 8.33)}{180.0} \quad (5.2)$$

Dessa forma, é possível ter total controle sobre o valor da potência que está sendo entregue a carga, sendo necessário apenas a aplicação da Fórmula 5.3.

$$P_{media} = \frac{A^2}{2T_0} \left[(T_0 - T_A) + \frac{sen(240\pi \cdot T_A)}{240\pi} \right] \quad (5.3)$$

A qual fornece a potência média por semi-ciclo da senóide, em função do tempo de acionamento T_A , que é a saída do microcontrolador.

6 TESTES E RESULTADOS

Após a conclusão do sistema, foram realizados testes a fim de validar a proposta e a hipótese.

6.1 METODOLOGIA DOS TESTES

Os testes foram realizados em um ambiente residencial, com habitantes que possuíam diferentes perfis. A instalação dos sistemas foram realizadas de modo a não interferir na atividade de banho. No total, foram realizados dez medições de consumo através do sistema de monitoramento. Dessas dez, seis foram realizadas com chuveiro convencional e quatro com o inteligente.

Foram executados um menor número de testes com o chuveiro inteligente devido a temperatura ambiente estar com um valor alto. Dessa forma, o sistema de controle efetuou a ativação do TRIAC com um ângulo de disparo muito próximo ao 180° , de forma a não gerar nenhum consumo para o sistema de monitoramento.

A realização dos testes ocorreu da seguinte forma, inicialmente foi conectado o sistema de monitoramento ao circuito que fornece energia elétrica ao chuveiro, a fim de realizar as medições de consumo. Tanto para o chuveiro convencional como para o inteligente. Em seguida, foi aberto o registro de água para acionamento do chuveiro e assim realizada as aferições. Com o equipamento ligado foi possível realizar o monitoramento e as análises necessárias.

6.2 RESULTADOS

Os resultados dos testes realizados com o chuveiro convencional podem ser verificados na Tabela 6, a qual é composta por cinco colunas. A primeira apresenta o consumo médio dos seis testes realizados com o chuveiro. A segunda o valor em R\$ gasto com a utilização do aparelho. A terceira mostra a temperatura média do ambiente durante o período de medição (banho). A quarta exibe o tempo total percorrido durante o banho. A quinta e última coluna, aponta o tempo de convergência (em segundos), ou seja, o tempo que o chuveiro leva para alcançar a potência selecionada. O número de linhas das tabelas representam a quantidade de testes realizados.

Tabela 6 – Valores de consumo do chuveiro convencional

Consumo Médio (KWh)	Gasto Total (R\$)	Temperatura Média (°C)	Tempo Total (min)	Tempo Convergência (seg)
2,17844	0,13888209	27,2826	8,5004	4
2,09871	0,11383057	33,7119	7,23178	3
3,4407	0,15126083	27,808	5,86163	2
4,78184	0,13719266	24,4	3,82538	3
2,94673	0,05626626	24,9893	2,54593	2

Na Tabela 7 são apresentados os valores referentes ao consumo do chuveiro inteligente. Como pode ser visto, a tabela apresenta a mesma estrutura da tabela anterior, alterando somente os valores capturados, tendo em vista que estes são referentes ao chuveiro inteligente.

Tabela 7 – Valores de consumo do chuveiro inteligente

Consumo Médio (KWh)	Gasto Total (R\$)	Temperatura Média (°C)	Tempo Total (min)	Tempo Convergência (seg)
1,56295	0,09489705	34,48706	8,09555	< 1
2,42875	0,10885767	28,72005	5,97606	< 1
2,04436	0,06223206	31,97656	4,05878	< 1
2,05055	0,03613172	31,99532	2,3494	< 1

A partir dos dados obtidos, uma outra tabela foi desenvolvida, a fim de comparar os resultados e apresentar a economia obtida com a utilização do chuveiro inteligente.

Tabela 8 – Comparativo dos chuveiros utilizados

Valor por minuto gasto chuveiro comum (R\$)	Valor por minuto gasto chuveiro inteligente (R\$)	Economia por minuto	Economia por mês*
0,016338055	0,011721254	0,0050883	1,221192
0,025805109	0,018214342	0,00705525	1,69326
0,035863104	0,015332193	0,0246138	5,907312
0,022098015	0,015378394	0,010850475	2,604114

*Valor por habitante; considerando 1 banho por dia, com duração de 8 minutos cada.

Conforme dito anteriormente, a Tabela 8 exibe um comparativo entre os dois chuveiros utilizados, bem como apresenta informações referentes à economia obtida com a utilização do chuveiro inteligente.

Na Tabela 9 é apresentado as notificações e recomendações emitidas pelo sistema durante as atividades de banho, bem como, seu rela-

cionamento com o consumo, temperatura e tempo total. É importante frisar que as notificações e recomendações apresentadas na tabela dizem respeito a utilização do chuveiro convencional.

Tabela 9 – Notificações e recomendações emitidas pelo sistema de monitoramento

Consumo Médio (KWh)	Temperatura Média (°C)	Tempo Total (min)	Notificações	Recomendações
2,17844	27,2826	8,5004	LED AMARELO LED VERMELHO AVISO SONORO	Potência sugerida 1800 Watts Tempo de banho acima da média
2,09871	33,7119	7,23178	LED VERMELHO AVISO SONORO	Potência sugerida 1200 Watts
3,4407	27,808	5,86163	LED VERMELHO AVISO SONORO	Potência sugerida 1800 Watts
4,78184	24,4	3,82538	LED VERMELHO AVISO SONORO	Potência sugerida 2500 Watts
2,94673	24,9893	2,54593	LED AMARELO	Potência sugerida 2500 Watts

Com base na tabela das notificações e recomendações foi possível realizar uma estimativa da economia que se obteria, em R\$, caso as recomendações fossem seguidas. A estimativa de economia pode ser observado na Tabela 10. O cálculo realizado para estimativa do valor economizado pode ser vista na Equação 6.1.

$$valorR = \left(\left(\frac{valorTotalGasto}{tempoTotal} \right) - \left(\frac{valorSeriaGasto}{tempoTotal} \right) \right) \cdot 8 \cdot 30 \quad (6.1)$$

Tabela 10 – Estimativa de economia ao seguir as recomendações do sistema

Tempo Total (min)	Valor total gasto (R\$)	Valor que seria gasto (R\$)	Economia por minuto	Economia por mês*
8,5004	0,138882085	0,1147554	0,0028383	0,681192
7,23178	0,113830568	0,06508602	0,006740325	1,617678
5,86163	0,151260828	0,079132005	0,01230525	2,95326
3,82538	0,137192663	0,071725875	0,0171138	4,107312
2,54593	0,056266262	0,047736188	0,003350475	0,804114

*Valor por habitante; considerando 1 banho por dia, com duração de 8 minutos cada.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

7.1 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos através de testes validam a hipótese deste trabalho, pois foi possível observar que a implantação de um sistema de monitoramento em uma *smart home* proporciona economia de energia elétrica.

Em relação ao sistema de controle, este se mostrou bastante eficiente. Pois, através de seu uso, o desperdício de energia elétrica e de água (apesar de não ter sido medido) pode ser diminuído, tendo em vista, que o tempo necessário para ajuste da temperatura do chuveiro foi reduzido.

A implantação de um sistema de controle e monitoramento em uma *smart home*, apesar de se mostrar bastante eficiente, pode gerar dificuldades de implantação, caso a residência não possua uma estrutura apropriada. Um exemplo disso, é a falta de espaço ou de local adequado para colocação dos sensores. Estes, se colocado em locais que prejudiquem a leitura do valor real do ambiente, podem provocar atuações equivocadas e inapropriadas dos equipamentos controlados.

Uma sistema de monitoramento com recomendações auxilia os usuários, no que diz respeito a conscientização sobre o uso dos aparelhos dentro de uma residência. Considerando que o usuário seguisse todas as recomendações, foi estimado uma economia média próxima de R\$2,03 por mês, equivalente à 34% de economia.

Com uso do sistema de controle foi possível obter uma economia média aproximada de até R\$2,37 por mês, equivalente a 36%.

Além disso, é possível também, a partir dos dados de consumo salvos, fazer uma previsão de gasto de energia para o dia, mês e até mesmo para o ano. Podendo, dessa forma, planejar o restante de sua renda com outras atividades.

7.2 TRABALHOS FUTUROS

Uma sugestão para trabalhos futuros, é a implantação de uma rede de sensores sem fio para uma melhor comunicação entre os módulos do sistema. Dessa forma, seria possível, por exemplo, fazer a leitura de mais sensores de temperatura, utilizando como entrada a média desses valores, ao invés de utilizar somente o valor de um componente. Assim,

tais sensores poderiam ser colocados em locais estratégicos, de forma a melhorar o desempenho do sistema e diminuir o risco de ruídos.

Outro item importante que poderia ser integrado ao sistema, é a utilização de uma rede recorrente adaptada, aliado a um monitoramento prévio para captura de dados. Assim, o sistema se tornaria totalmente dinâmico e autônomo. Para isso, inicialmente seria necessário um período de monitoramento e coleta de dados. Em seguida, a rede poderia ser treinada com esses dados e, posteriormente, ela se adaptaria utilizando os conceitos de redes recorrentes, conforme o hábito dos usuários fossem alterados.

A implantação do sistema de monitoramento em todos os equipamentos de uma residência também seria uma ótima opção. Tendo em vista que, os resultados apresentados neste trabalho apresentam uma economia considerável. Além disso, os usuários teriam maior conscientização referente a utilização de todos os aparelhos da casa.

REFERÊNCIAS

- ABOWD, G. D.; MYNATT, E. D. Charting past, present, and future research in ubiquitous computing. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, ACM, v. 7, n. 1, p. 29–58, 2000.
- Allegro Microsystems LLC. *ACS712: Fully Integrated, Hall-Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*. 1979. Disponível em: <<http://www.allegromicro.com/en/Products/Current-Sensor-ICs/Zero-To-Fifty-Amp-Integrated-Conductor-Sensor-ICs/ACS712.aspx>>.
- ANEEL. *Atlas de Energia Elétrica do Brasil*. 3^a. ed. 2008. 105–115 p. ISBN 978-85-87491-10-7. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas3ed.pdf>>.
- ANP. *Relatório Bienal 2007-2008*. 2008.
- ARAUJO, R. B. D. Computação ubíqua Princípios, tecnologias e desafios. *XXI Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores*, p. 45–115, 2003. Disponível em: <<http://www.professordiovani.com.br/rw/monografiaaraujo.pdf>>.
- Atmel Corporation. *ATmega1280*. 1984. Disponível em: <<http://www.atmel.com/pt/br/devices/ATMEGA1280.aspx>>. Acesso em: 2016-11-25.
- Atmel Corporation. *ATmega328p*. 1984. Disponível em: <<http://www.atmel.com/devices/ATMEGA328P.aspx>>. Acesso em: 2016-11-28.
- AZEVEDO, F. M. Algoritmos Genéticos em redes Neurais Artificiais. p. 091–121, 1999. Disponível em: <<http://www.algoritmosgeneticos.com.br/>>.
- BARBOSA, J. et al. Computação móvel e ubíqua no contexto de uma graduação de referência. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, v. 15, n. 3, 2007.
- BARRETO, J. M. Introdução às Redes Neurais Artificiais. p. 57, 2002.

BENEDETTI, M. et al. Energy consumption control automation using artificial neural networks and adaptive algorithms: Proposal of a new methodology and case study. *Applied Energy*, Elsevier, v. 165, p. 60–71, 2016.

BOLZANI, C. A. M. *Residências inteligentes*. : Editora Livraria da Física, 2004.

BRAGA, N. B. Gerenciamento pelo Lado da Demanda em Áreas Residenciais. p. 64, 2014.

BRASIL; Ministério de Minas e Energia. *Balanço energético nacional*. 2015. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2015.pdf>.

BRÄUNL, T. *Embedded robotics: mobile robot design and applications with embedded systems*. : Springer Science & Business Media, 2008.

BRONZATI, F. L.; NETO, A. I. Matrizes energéticas no Brasil: cenário 2010-2030. *XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, p. 1–15, 2008. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008_TN_STO_077_541_11890.pdf>.

BRUMATTI, M. Redes neurais artificiais. *Vitória, Espírito Santo, ca*, 2005.

CEMIG. *Guia do melhor consumo*. 2014. 1–44 p. Disponível em: <http://www.cemig.com.br/pt-br/A.Cemig_e_o.Futuro/sustentabilidade/nossos_programas/Eficiencia_Energetica/Documento_MELHOR_CONSUMO_CARTILHA.pdf>.

CHAGAS, J. et al. Sensibilidade a Contexto na Gestão Eficiente de Energia Elétrica. *XXVIII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*, p. 145–158, 2011.

CHAN, M. et al. A review of smart homes: Present state and future challenges. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, v. 91, n. 1, p. 55–81, 2008. ISSN 01692607. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169260708000436>>.

CHAN, M. et al. Smart house automation system for the elderly and the disabled. *1995 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. Intelligent Systems for the 21st Century*, v. 2, p. 1586–1589, 1995. ISSN 08843627.

CHOI, T.-S. et al. Analysis of energy savings using smart metering system and ihd (in-home display). In: IEEE. *2009 Transmission & Distribution Conference & Exposition: Asia and Pacific*. 2009. p. 1–4.

COELHO, F. Computação Ubíqua para Aplicações em Saúde. 2009. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/60530>>.

CPFL. Cartilha de utilização consciente da Energia Elétrica. p. 23, 2014. Disponível em: <<http://www.cpf.com.br/energias-sustentaveis/eficiencia-energetica/uso-consciente/calculo-de-consumo/Documents/cartilha-da-utilizacao-consciente-de-energia-eletrica.pdf>>.

De Castro, P. L. N.; Von Zuben, F. J. Redes Neurais Artificiais. 2001.

DEY, A. K. Context-aware computing: The cyberdesk project. In: *Proceedings of the AAAI 1998 Spring Symposium on Intelligent Environments*. 1998. p. 51–54.

EDUARDO, C.; TAVARES, T. Context Awareness in an Adaptive Personal Health Assistant. 2008.

ELETROBRAS/PROCEL. Resultados Procel 2014. p. 143, 2014. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={EC4300F8-43FE-4406-8281-08DDF478F35B}>>.

EPE. *Eficiência Energética*. 2007. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/PNE/20080512.11.pdf>>.

EPE. Avaliação da Eficiência Energética na Indústria e nas Residências no Horizonte Decenal (2010-2019). p. 39, 2010.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. *Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica*. Rio de Janeiro - RJ, 2015. v. 104, 1–4 p. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/ResenhaMensal/Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica - Abril 2016.pdf](http://www.epe.gov.br/ResenhaMensal/ResenhaMensal%20do%20Mercado%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%20-%20Abril%202016.pdf)>.

EPE; Ministério de Minas e Energia. *Balanço energético nacional 2015*. 2015.

HAYKIN, S. *Redes Neurais - 2ed*. BOOKMAN COMPANHIA ED, 2001. ISBN 9788573077186. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=lBp0X5qfyjUC>>.

HOLLAND, J. H. *Adaptation in natural and artificial systems: an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence.* : U Michigan Press, 1975.

HOPFIELD, J. J. Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. *Proceedings of the national academy of sciences*, National Acad Sciences, v. 79, n. 8, p. 2554–2558, 1982.

HU, Y. H.; HWANG, J.-N. *Handbook of neural network signal processing.* : CRC press, 2001.

INDULSKA, J.; SUTTON, P. Location management in pervasive systems. In: AUSTRALIAN COMPUTER SOCIETY, INC. *Proceedings of the Australasian information security workshop conference on ACSW frontiers 2003-Volume 21.* 2003. p. 143–151.

INMETRO. *O Programa Brasileiro de Etiquetagem.* 2015. Disponível em: <<http://www2.inmetro.gov.br/pbe/index.php>>.

JAHN, M. et al. The Energy Aware Smart Home. *2010 5th International Conference on Future Information Technology*, p. 1–8, 2010. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5482712>>.

JUNG, J.-Y.; REGGIA, J. A. Evolutionary design of neural network architectures using a descriptive encoding language. *IEEE transactions on evolutionary computation*, IEEE, v. 10, n. 6, p. 676–688, 2006.

JUNIOR, P. J. *Computação, Ubiquidade e Transparência.* 2011. 79–94 p.

JUNIOR, V. d. R. I. Um Framework para Desenvolvimento de Interfaces Multimodais em Aplicações de Computação Ubíqua. 2007.

KOVÁCS, Z. L. *Redes neurais artificiais.* : Editora Livraria da Física, 2002.

LOPES, J. L. B. Sensibilidade ao Contexto na computação Pervasiva : Avaliando o Uso de Ontologias. 2006.

LOUREIRO, A. A. F. et al. Computação Ubíqua Ciente de Contexto: Desafios e Tendências. *27º Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*, p. 99–149, 2009.

MCCULLOCH, W. S.; PITTS, W. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *The bulletin of mathematical biophysics*, Springer, v. 5, n. 4, p. 115–133, 1943.

MICHAEL, F. H. Dictionary of energy efficiency technologies. Fairmont Pr, 2012.

PUNTEL, F. E. Avaliação dos sistemas operacionais embarcados mxq lite e freertos em aplicações de robótica móvel. Araranguá, SC, 2013.

RAMOS, C.; AUGUSTO, J. C.; SHAPIRO, D. Ambient intelligence?the next step for artificial intelligence. *IEEE Intelligent Systems*, IEEE, v. 23, n. 2, p. 15–18, 2008.

RAUBER, T. W. Redes neurais artificiais. *Universidade Federal do Espírito Santo*, 2005.

RIST, T. et al. Creating awareness for efficient energy use in smart homes. *Intelligent Wohnen. Zusammenfassung der Beiträge zum Usability Day IX*, p. 162–168, 2011.

RODRIGUES, R. d. S. A Computação ubíqua dentro do paradigma computacional. In: Instituto de Ensino Superior do Espírito Santo - Faculdade do ES. 2010.

ROSENBLATT, F. The perceptron: a probabilistic model for information storage and organization in the brain. *Psychological review*, American Psychological Association, v. 65, n. 6, p. 386, 1958.

SCHILIT, B.; ADAMS, N.; WANT, R. Context-aware computing applications. In: IEEE. *Mobile Computing Systems and Applications, 1994. WMCSA 1994. First Workshop on*. 1994. p. 85–90.

SCHWEIZER, D. et al. Using consumer behavior data to reduce energy consumption in smart homes: Applying machine learning to save energy without lowering comfort of inhabitants. In: IEEE. *2015 IEEE 14th International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA)*. 2015. p. 1123–1129.

SETHI, I. K.; JAIN, A. K. *Artificial neural networks and statistical pattern recognition: old and new connections*. : Elsevier, 2014.

SGARBI, J.; TONIDANDEL, F. *Domótica inteligente: Automação residencial baseada em comportamento*. 2006. 10 p. Disponível em: <http://www.fe.i.edu.br/flaviot/pub_arquivos/WTDIA06.pdf>.

SGARBI, J. A.; TONIDANDEL, F. Domótica inteligente: Automação residencial baseada em comportamento. In: *Workshop de Teses e Dissertações em Inteligência Artificial, Ribeirão Preto, São Paulo*. 2006.

SILVA, E. G. D. Desenvolvimento De Um Sistema Para Adaptacao De Contexto Em Automacao Residencial. p. 88, 2013.

TAKIUCHI, M.; MELO, É.; TONIDANDEL, F. Domótica inteligente: automação baseada em comportamento. *Centro Universitário da FEI-UniFE, São Bernardo do Campo-SP*, 2004.

TEJANI, D.; AL-KUWARI, A. M. A.; POTDAR, V. Energy conservation in a smart home. In: IEEE. *Digital Ecosystems and Technologies Conference (DEST), 2011 Proceedings of the 5th IEEE International Conference on*. 2011. p. 241–246.

TOLMASQUIM, M. T. Perspectivas e planejamento do setor energético no brasil. *Estudos Avançados*, v. 26, n. 74, p. 247–260, 2012.

VELLASCO, M. M. B. R. Redes neurais artificiais. *PUC, Rio de Janeiro, Brasil*, 2007.

VIANA, A. N. C. et al. *Eficiência Energética: Fundamentos E Aplicações*. 2012. 230–232 p.

WEISER, M. The computer for the 21st century. *Scientific american*, Nature Publishing Group, v. 265, n. 3, p. 94–104, 1991.

WILLIAMS, D. R. G. H. R.; HINTON, G. Learning representations by back-propagating errors. *Nature*, p. 323–533, 1986.

YAO, X. Evolving artificial neural networks. *Proceedings of the IEEE*, IEEE, v. 87, n. 9, p. 1423–1447, 1999.