

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU**

**OTIMIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÁGUA
COM MANGUEIRA DE POLIETILENO: ESTUDO DE CASO**

JOSÉ APARECIDO SILVA DE QUEIROZ

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU - SP

Abril - 2016

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU**

**OTIMIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÁGUA
COM MANGUEIRA DE POLIETILENO: ESTUDO DE CASO**

JOSÉ APARECIDO SILVA DE QUEIROZ

Orientador: Prof. Dr. João Francisco Escobedo

Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP -
Campus de Botucatu, para obtenção do
título de Doutor em Agronomia (Energia
na Agricultura).

BOTUCATU - SP

Abril - 2016

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

Q3o Queiroz, José Aparecido Silva de, 1975-
Otimização de um sistema de aquecimento de água com
mangueira de polietileno: estudo de caso / José Aparecido
Silva de Queiroz. - Botucatu : [s.n.], 2016
x, 64 f. : fots. color., grafs. color., ils. color.,
tabs.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Fa-
culdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2016
Orientador: João Francisco Escobedo
Inclui bibliografia

1. Aquecedores solares de água. 2. Energia solar tér-
mica. 3. Energia - Fontes alternativas. 4. Energia - Cus-
tos. I. Escobedo, João Francisco. II. Universidade Esta-
dual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botu-
catu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

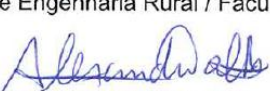
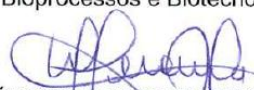
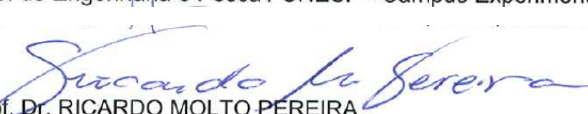
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "OTIMIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÁGUA COM MANGUEIRA DE POLIETILENO: ESTUDO DE CASO"

AUTOR(A): JOSÉ APARECIDO SILVA DE QUEIROZ

ORIENTADOR: JOÃO FRANCISCO ESCOBEDO

Aprovado(a) como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor(a) em AGRONOMIA (ENERGIA NA AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. JOÃO FRANCISCO ESCOBEDO
Depto de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrônômicas
Prof. Dr. DINIVAL MARTINS
Depto de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrônômicas
Prof. Dr. ALEXANDRE DAL PAI
Depto de Bioprocessos e Biotecnologia / Faculdade de Ciências Agrônômica - UNESP
Prof. Dr. ÉRICO TADAO TERAMOTO
Dep. de Engenharia e Pesca / UNESP - Campus Experimental de Registro
Prof. Dr. RICARDO MOLTO PEREIRA
Depto de Engenharia Ambiental / Centro Universitário de Lins - UNILINS

Botucatu, 29 de abril de 2016.

OFERECIMENTO

Célia,

*“por todo amor que houver nesta vida”. Sem a tua
cumplicidade eu não teria concluído. Te amo!*

Ana Laura,

*pela alegria que me encanta, você é a minha Flor
do Campo! Um presente de Deus.*

Aos meus Pais,

pela vida, e pelos momentos de felicidade!

AGRADECIMENTOS

Ao concluir mais esta etapa em minha vida é com muito prazer que agradeço as pessoas que estiveram comigo durante o processo de construção deste trabalho.

Primeiramente, agradeço a Deus por guiar meus passos, iluminando meus caminhos e transmitindo forças para seguir em frente.

Agradeço em especial ao meu orientador Prof. Dr. João Francisco Escobedo pela colaboração compartilhando os momentos de doutorado, tornando o meu sonho possível.

Ao meu grande amigo Adriano Marques. Da graduação ao Doutorado, chegamos!

Aos meus professores que contribuíram para o meu aprendizado neste curso.

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO	3
2 REFERENCIAL TEÓRICO	6
2.1 Tecnologia como solução de problemas globais	6
2.2 Coletores solares de baixo custo	7
2.2.1 Coletor de polietileno.....	9
2.2.2 Eficiência instantânea (η) do sistema coletor	11
2.3 Radiação solar	12
2.3.1 Influência da nebulosidade sobre a radiação solar	14
2.3.2 Métodos para análise do índice da transmissividade atmosférica (K_T).....	15
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	17
3.1 Área de estudo e informações climáticas.....	17
3.2 Instrumentação	22
3.2.1 Datalogger.....	22
3.2.2 Sensor de temperatura.....	23
3.2.3 Radiação Solar Global - H_G	23
3.2.4 Medidor de vazão.....	24
3.3 Caracterização do sistema de aquecimento	25
3.3.1 Unidade coletora	25
3.3.2 Arranjos de coletores	26
3.3.3 Funcionamento do sistema	28
3.3.4 Orientação do sistema coletor.....	29
3.4 Dificuldades enfrentadas nas medições.....	30
3.5 Desempenho do sistema de aquecimento	31
3.6 Viabilidade do sistema	32
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
4.1 Desempenho do sistema de fluxo contínuo para diferentes vazões.....	33
4.3.1 Análise do sistema com vazão de 4,56 l/min.	34

4.3.2	Análise do sistema com vazão de 2,30 l/min.	35
4.3.3	Análise do sistema com vazão de 9,00 l/min.	37
4.3.4	Vazão com melhor desempenho em fluxo contínuo.....	38
4.4	Análise do desempenho do sistema de fluxo intermitente	38
4.4.1	Análise do fluxo intermitente das 9h40min. às 10h35min. em 8/8/2015.....	39
4.4.2	Consumo do fluxo intermitente das 11h15min. às 13h25min. em 8/8/2015.....	41
4.4.3	Consumo do fluxo intermitente das 13h45min. às 14h55min. em 8/8/2015.....	42
4.4.4	Consumo do fluxo intermitente das 15h10min. às 16h em 8/8/2015.....	43
4.4.5	Consumo do fluxo intermitente das 16h25min. às 17h30min. em 8/8/2015.....	43
4.5	Desempenho do sistema em dias nublados.....	46
4.6	Desempenho do sistema de fluxo contínuo no verão	48
5	PROPOSTA PARA OTIMIZAÇÃO EMBASADA NA ANÁLISE ECONÔMICA	49
5.1	Viabilidade do sistema de aquecimento de tubo de polietileno no Centro de Ressocialização	51
5.1.1	Custo do sistema de aquecimento por caldeiras na unidade de estudo	51
5.1.2	Custo do sistema de aquecimento por caldeiras em uma unidade similar	53
5.2	Análise econômica das unidades coletoras	53
5.3	Custos para implantação dos sistemas.....	55
5.3.1	Custos para implantação do sistema de fluxo contínuo	55
5.3.2	Custos para implantação do sistema de fluxo Intermitente	55
5.3.3	Custos para implantação do reservatório do sistema de fluxo contínuo.....	56
5.3.4	Custos para implantação da proposta de otimização.....	57
6	CONCLUSÃO.....	59
7	REFERÊNCIAS.....	61

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Coletor solar de polietileno	10
Figura 2. Associação de coletores analisada por Silva (1992)	11
Figura 3. Evolução anual da temperatura do ar e umidade relativa do ar, médias mensais de 1961 a 1990, em Lins (SP)	18
Figura 4. Média mensal da precipitação e dos dias com precipitação da Normal Climatológica de Lins 1961 a 1990	18
Figura 5. Média mensal do índice de transmissividade atmosférica (K_T) do ano de 2014	19
Figura 6. Média mensal do índice de transmissividade atmosférica (K_T) dos anos de 2007 e 2008	20
Figura 7. Frequência do tipo de céu por mês para Lins	21
Figura 8. Datalogger modelo 21X da Campbell®	22
Figura 9. Sensor acoplado ao sistema	23
Figura 10. Sensor de Radiação Global (piranômetro) EPPLEY® PSP	24
Figura 11. Medidor de vazão por Efeito Hall	24
Figura 12. Coletor de tubo de polietileno disposto em forma de espiral	25
Figura 13. Coletor de tubo de polietileno disposto em forma de espiral	26
Figura 14. Arranjos de coletores para aplicação em fluxo contínuo e intermitente ao sistema de aquecimento de água	27
Figura 15. Comportamento do fluido na saída dos coletores para vazão de 4,56 l/min (6/8/2015)	28
Figura 16. Sistema instalado no telhado da Unidade	30
Figura 17. Válvula de retenção	31
Figura 18. Desempenho do sistema de fluxo contínuo para vazão de 4,56 l/min no dia 7/8/2015	35
Figura 19. Desempenho do sistema de fluxo contínuo para vazão de 2,3 l/min. (11/8/2015)	36
Figura 20. Desempenho do sistema de fluxo contínuo para vazão de 9,00 l/min no dia 15/8/2015	37

Figura 21. Desempenho do sistema de fluxo intermitente no dia 8/8/2015	39
Figura 22. Desempenho do sistema de fluxo intermitente em 10/8/2015 em 2.037,26 litros	45
Figura 23. Desempenho do sistema de fluxo intermitente em 12/8/2015 – 2.618 litros	45
Figura 24. Radiação Global registrada no dia 25/7/2015	46
Figura 25. Desempenho do sistema de fluxo contínuo em 25/7/2015 – Vazão de 4,56 l/min.	48
Figura 26. Desempenho do sistema de fluxo intermitente em 25/7/2015	48
Figura 27. Desempenho do sistema de fluxo contínuo no verão em 19/1/2015	49
Figura 28. Temperatura das saídas das unidades coletoras em 8/8/2015	51
Figura 29. Melhor configuração para o sistema de fluxo intermitente	51

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Temperatura e eficiência das unidades coletoras	12
Tabela 2. Resumo das temperaturas e Radiação Solar Global (H _G) referentes ao sistema de fluxo contínuo submetido à vazão de 4,56 l/min no dia 7/8/2015	35
Tabela 3. Resumo das temperaturas e da Radiação Solar Global (H _G) referentes ao sistema de fluxo contínuo submetido à vazão de 2,30 l/min no dia 11/8/2015	37
Tabela 4. Características apresentadas para as vazões de 4,56, 2,30 e 9,00 l/min.	39
Tabela 5. Características do consumo das 9h40min. às 10h35min. em 8/8/2015	41
Tabela 6. Características do consumo das 11h15min. às 13h25min. em 8/8/2015	42
Tabela 7. Características do consumo das 13h45min. às 14h55min. em 8/8/2015	43
Tabela 8. Características do consumo das 15h10min. às 16h em 8/8/2015	44
Tabela 9. Características do consumo das 16h25min. às 17h30min. em 8/8/2015	45
Tabela 10. Consumo de gás (Kg) no Centro de Ressocialização	53
Tabela 11. Valores estimados para confecção das unidades coletoras (data base 16/8/2015).....	55
Tabela 12. Custo para implantação do sistema de fluxo contínuo (data base 16/8/2015).....	56
Tabela 13. Custo para implantação do sistema de fluxo intermitente (data base 16/8/2015).....	57
Tabela 14. Custo para implantação do reservatório para o sistema de fluxo contínuo (data base 16/8/2015)	57
Tabela 15. Custo para implantação do sistema proposto (data base 16/8/15)	59

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT	-	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Cepagri	-	Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas aplicadas à Agricultura
CR	-	Centro de Ressocialização
Cu	-	Cobre
Fe	-	Ferro
Ics	-	Constante solar
Inmet	-	Instituto Nacional de Meteorologia
Jm ⁻²	-	Joule por metro quadrado
Kg	-	Quilogramas
K _T	-	Transmissividade atmosférica
kWh	-	Quilowatt hora
l/min	-	Litros por minuto
m ²	-	Metro quadrado
mca	-	Metros de coluna d'água
MJm ⁻²	-	Mega Joule por metro quadrado
mm	-	Milímetros
NBR	-	Norma Brasileira
Ni	-	Níquel
°C	-	Graus Célsius
ONU	-	Organização das Nações Unidas
PNDC	-	Parcialmente Nebuloso Dominância para Claro
PNDD	-	Parcialmente Nebuloso com Predominância para Difuso
PVC	-	Policloreto de Vinila
SASBC	-	Sistemas de Aquecimento Solar de Baixo Custo
TIR	-	Taxa de Investimento de Retorno
Wm ⁻²	-	Watts por metro quadrado
μm	-	Micrómetro

RESUMO

O principal objetivo deste estudo é avaliar, com bases em resultados experimentais, um sistema de aquecimento solar constituído de mangueira de polietileno que permite a transferência do calor gerado pela radiação solar direta e/ou difusa (Energia Solar Térmica) para a água. O sistema foi dimensionado para atender a demanda de um Centro de Ressocialização com capacidade para 220 internos. Justifica-se a escolha do tema pelo fato de que consiste em um assunto atual de grande relevância, principalmente porque vive-se uma crise energética em nível mundial. O estudo comprova através de um experimento a viabilidade do aquecedor solar de baixo custo, considerando-se sua aplicabilidade em locais que demanda grande volume de água aquecida para banho. Os resultados demonstraram que o sistema alternativo proposto atendeu de forma eficiente e econômica a demanda solicitada, o que pode ser adotada pelo poder público em qualquer um de seus segmentos que necessite de água aquecida, com objetivo de reduzir custos e contribuir com o sistema energético brasileiro. O sistema foi analisado para atuar em fluxo contínuo e fluxo intermitente, ambos objetivando aquecer a água a temperaturas superiores a 37 °C no inverno. Os resultados alcançados atenderam as expectativas coletando grandes volumes, com temperaturas médias acima de 42 °C.

Palavras-chave: Aquecedores solares de água. Energia solar térmica. Energia – fontes alternativas. Energia custo. Transmissividade atmosférica.

QUEIROZ, J. A. S. **Optimization of a water heating system with polyethylene hose:** a case study. 2016. Thesis (Doctorate in Agronomy) - College of Agricultural Sciences at the Paulista State University "Julio de Mesquita Filho", Botucatu.

SUMMARY

The aim of this study is to evaluate, with bases on experimental results, a solar heating system consists of polyethylene hose that allows the transfer of heat generated by direct solar radiation and / or diffuse (Solar Thermal Energy) to the water. The system has been designed to meet the demand of a Rehabilitation Center with a capacity for 220 inmates. Justified the choice of the theme for the fact that consists of a current subject of great importance, especially because it lives in an energy crisis worldwide. The study proves through an experiment the viability of solar heater low cost, considering their applicability in places that demand large volume of heated water for bathing. The results showed that the alternative system proposed met efficiently and economically the requested demand, which can be adopted by the government in any of its segments that need heated water, in order to reduce costs and contribute to the Brazilian energy system. The system was analyzed to operate in continuous flow, intermittent flow, both aiming at heating the water to temperatures above 37 °C in winter. The results achieved met the expectations collecting large volumes, with average temperatures above 42 °C.

Keywords: Solar water heaters. Solar thermal energy. Energy - alternative sources. Energy cost. Atmospheric transmissivity.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um país que chama atenção por vários aspectos naturais, dentre eles seu enorme potencial de energia solar viabilizando a utilização desta fonte de energia renovável.

No Sistema Energético Brasileiro há a predominância do sistema hidráulico em detrimento a captação de energia alternativa. Tal opção traz, como consequência, a dificuldade de distribuição de energia em áreas mais remotas do País e os constantes cortes no fornecimento de energia de grandes centros urbanos em razão de crescentes períodos de estiagem.

Um melhor aproveitamento do potencial de energia solar no Brasil constitui não só mais segurança energética para o País – que tem enfrentado um constante aumento da demanda elétrica e hídrica - como também contribui na luta contra as mudanças climáticas.

Como justificativa deste estudo, destaca-se que é um assunto de grande importância para a sociedade atual. Ao se propor o desenvolvimento de um coletor solar de baixo custo, considerou-se o aquecimento de água para banho e processos de esterilização, pois chuveiros e torneiras elétricas são os mais utilizados para tal fim.

Devido ao alto custo dos aquecedores solares industrializados e da falta de mão de obra qualificada para a sua instalação e manutenção, o sistema de aquecimento solar pouco tem sido utilizado em residências ou órgãos públicos e privados como uma alternativa para redução do consumo energia elétrica. Este problema pode ser amenizado com a aplicação de coletores alternativos de baixo custo.

Ao investigar o melhor local para a aplicabilidade do experimento verificou-se que entre os órgãos públicos que demandam grande quantidade de água aquecida, destacam-se os estabelecimentos prisionais, onde a utilização da água aquecida pode ser considerada um elemento importante para a manutenção da saúde dos internos, além de se apresentar como um fator de inclusão social para detentos e egressos.

Em face desta realidade pretende-se, sem a pretensão de esgotar o tema, apresentar os coletores solares alternativos, também conhecidos como Sistemas de Aquecimento Solar de Baixo Custo (SASBC), como uma alternativa possível e economicamente viável para a obtenção de água quente no sistema prisional, visando além de minimizar as condições insalubres das unidades prisionais, fortalecer e garantir ao recluso o direito, também previsto na Lei de Execução Penal (BRASIL, 1984), à assistência educacional, uma vez que todo o processo de confecção, instalação e implantação dos aquecedores foi desenvolvido em conjunto com os detentos.

Segundo Pereira (apud DPE/SP, 2013, p. 1), Professora da Unicamp e Presidente da Sociedade Paulista de Pneumologia e Tisiologia, as doenças cardíacas e respiratórias podem ser agravadas devido à falta de instalações adequadas para banho quente evidenciadas nas unidades prisionais.

A falta do fornecimento de água quente em unidades prisionais também infringe o art. 13 das Regras Mínimas para Tratamento de Reclusos da ONU (1955, p. 1): “as instalações de banho e ducha devem ser suficientes para que todos os reclusos possam, quando desejem ou lhes seja exigido, tomar banho ou ducha a uma temperatura adequada ao clima”, a Resolução nº 14/94 do Conselho Nacional de Política Criminal e Penitenciária (BRASIL, 1994) e o art. 143 da Constituição do Estado de São Paulo:

art. 143. A legislação penitenciária estadual assegurará o respeito às regras mínimas da Organização das Nações Unidas para o tratamento de reclusos, a defesa técnica nas infrações disciplinares e definirá a composição e competência do Conselho Estadual de Política Penitenciária (SÃO PAULO, 1989, p. 122).

Desta forma, o principal objetivo deste estudo foi avaliar, com bases em resultados experimentais, um sistema de aquecimento de água constituído de mangueira de polietileno que permite a transferência do calor provocado pela radiação solar direta e/ou difusa (Energia Solar Térmica) incidida sobre as superfícies absorvedoras, à água utilizada para banhos em um centro de ressocialização com capacidade de 220 internos.

Os objetivos específicos são:

- a) apresentar os resultados obtidos no sistema de aquecimento solar de baixo custo implantado no Centro de Ressocialização (CR), para aquecer água para banho;
- b) contribuir de maneira viável e econômica com a melhoria de infraestrutura nas unidades prisionais;
- c) minimizar as condições insalubres de sobrevivência da população carcerária durante o cumprimento da pena privativa de liberdade;
- d) propiciar integração social dos internos promovendo conhecimentos que poderão ser utilizados após o cumprimento da sentença para o aproveitamento próprio e/ou geração de renda;
- e) formar multiplicadores da tecnologia em municípios da região através dos internos que realizarem o curso;
- f) estimular o consumo consciente de água e energia elétrica.

Para se atingir os objetivos propostos, o presente estudo foi composto das seguintes partes: fundamentação teórica, modelo e hipóteses de pesquisa, método (incluindo a apresentação do contexto de pesquisa escolhido), análise e discussão dos resultados e conclusão.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Tecnologia como solução de problemas globais

Com o avanço da tecnologia, as pessoas procuram soluções que proporcionem benefícios tanto econômicos quanto práticos para o cotidiano. (PINHEIRO; SILVEIRA; BAZZO, 2009).

É fato que as empresas procuram por tecnologias sustentáveis, a fim de causar menos danos ao meio ambiente, proporcionando a redução do consumo de energia que emita gases poluentes. Projetos simples podem transformar culturas em uma comunidade ou cidades através da utilização de técnicas ou metodologias desenvolvidas para solucionar problemas que propiciem o desenvolvimento social em escala (SILVEIRA; BAZZO, 2007).

Nos últimos anos várias regiões do Brasil tiveram suas rotinas transformadas em razão de projetos que beneficiaram a aplicação de tecnologias sustentáveis. Como exemplo, tem-se os parques eólicos no Nordeste e equipamentos que atendam as populações ribeirinhas por meio de placas solares na Amazônia (PINHEIRO; SILVEIRA; BAZZO, 2009).

Estas tecnologias contribuem para com o desenvolvimento social e econômico da região atendida, que passam a se beneficiar de bens e equipamentos públicos voltados às demandas de alimentação, educação, energia, habitação, renda, recursos hídricos, saúde e meio ambiente, dentre outras principalmente nas políticas públicas (SILVEIRA; BAZZO, 2007).

Entre estes equipamentos públicos que necessitam de grandes demandas de energia elétrica, destacam-se as creches que precisam de água quente para banho das crianças. A partir da Constituinte de 1988 (BRASIL, 1988), foi instituída a obrigatoriedade do Estado em prover a educação infantil, em creche e pré-escola, às crianças até 6 anos de idade.

Com a revogação da Lei nº 9.394 - Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (BRASIL, 1996), foram ratificadas a Constituição Federal e o Estatuto da Criança e do Adolescente quanto à obrigatoriedade de oferecimento

de educação infantil em creches e pré-escolas por parte do Estado. Determinando posteriormente, por meio do Parecer nº 4/2000 que:

Os espaços físicos das instituições de educação infantil deverão ser coerentes com sua proposta pedagógica, em consonância com as Diretrizes Curriculares Nacionais, e com as normas prescritas pela legislação pertinente, referentes a: localização, acesso, segurança, meio ambiente, salubridade, saneamento, higiene, tamanho, luminosidade, ventilação e temperatura, (de acordo com a diversidade climática regional. (BRASIL, 2000, p. 628)

Outro setor público que demanda de grande quantidade de água aquecida são os estabelecimentos prisionais onde a utilização da água aquecida pode ser considerada um elemento importante para a manutenção da saúde dos internos, além de se apresentar como um fator de inclusão social para detentos e egressos (PEREIRA, apud DPE/SP, 2013).

Consequentemente, a viabilidade econômica e a facilidade na rotina no quesito água aquecida, com a preocupação de preservação do meio ambiente, são de suma importância nos dias atuais. A partir destas considerações verifica-se que o desenvolvimento de um país, está atrelado à garantia de fornecimento de energia elétrica. No entanto, uma parcela considerável desta energia é utilizada para suprir a demanda de água aquecida, o que pode ser amenizado com a aplicação de tecnologias renováveis, tendo em vista que o consumo de energia elétrica para aquecer água por meio de chuveiros elétricos é muito grande (ANDRADE, 2008).

Uma forma de atender a esta demanda e viabilizar redução de custos públicos é com a aplicação de sistemas de aquecedores solares, que converte a Radiação Global incidida sobre suas unidades absorvedora, em quantidade de calor transferida para a água que se deseja aquecer. Esta tecnologia representa benefícios econômicos, ambientais e sociais e uma das alternativas energéticas mais promissoras e eficazes para as gerações futuras (REIS, 2011).

2.2 Coletores solares de baixo custo

Os coletores solares são dispositivos utilizados na conversão

de energia solar em outras formas de energia, tais como térmica, mecânica e elétrica. Os coletores podem ser classificados em dois tipos: planos ou concentradores. As placas absorvedoras de energia solar para aquecimento de água é o dispositivo responsável em coletar a energia irradiada pelo sol e transferi-la para a água (SILVA, 1992).

Em razão do alto custo dos coletores industrializados, vários estudos sobre coletores alternativos já foram desenvolvidos utilizando materiais reciclados, que tornam a tecnologia acessível. No entanto muitos desses coletores apresentam baixa absorção de energia térmica resultando em ganhos menores de temperaturas quando comparadas com sistemas industrializados (SILVA, 1992).

Apesar desta deficiência na absorção de energia, a utilização de coletores solares alternativos, ainda se apresentam como uma boa alternativa devido aos baixos custos e a conservação do meio ambiente (OLIVEIRA; MOURA, 2015).

Woelz (2002) desenvolveu um coletor alternativo com custos 90% mais barato que um coletor comercial. Por se tratar de coletores alternativos, considerou, em seus estudos, cinco características importantes para implantação de um sistema de aquecimento solar: aspectos hidráulicos, características meteorológicas brasileiras, eliminação de processos de industrialização, substituindo-os pela bricolagem, escolha de materiais disponíveis próximos ao usuário e aceitação de limitações qualitativas do produto. Os resultados obtidos na pesquisa foram:

Redução de cerca de 80% da energia consumida nos chuveiros elétricos das 31 milhões de famílias proprietárias deste componente, (+/-7% da energia consumida no país na fase pré apagão), geração de substancial economia popular, profissionalização de jovens na tecnologia ASBC, limitação de emissões de CO₂ originadas nas novas usinas termoeletricas brasileiras, mais consciência e cidadania ao brasileiro e melhoria da imagem do país no exterior (WOELZ, 2002, p. 1).

Dentre os fatores que incentivam a utilização de energias alternativas destacam-se os temas ambientais e sociais. E, sendo o Brasil um país que utiliza a hidrelétrica como fonte de energia, aplicar tecnologias de baixo custo para aquecer água para banho proporciona à população de baixa renda reduzir não só os gastos com energia elétrica, mais os impactos dos recursos naturais como, por exemplo, a água (OLIVEIRA; MOURA, 2015).

As aplicações destes coletores alternativos podem ser as mais diversas, assim como, seus formatos. Santos et al. (1991), por exemplo, construiu um coletor solar plano em argamassa de traço simples e de fácil edificação, podendo ser utilizado em propriedades rurais desprovidos de energia elétrica.

Alencar; Saglietti (1998) desenvolveram um coletor solar alternativo em forma de telha avaliado quanto à operacionalidade, rendimento térmico, adaptação aos telhados, e outros detalhes construtivos.

Varella (2004) construiu uma placa absorvedora formada por uma rede de tubos de PVC soldáveis por onde circula a água aquecida. A placa foi construída sobre uma laje de concreto, de 4 cm de espessura, comprimento de 5,10 m e 2,45 m largura, totalizando 12,5 m² de área absorvedora. Após concretagem da placa, sua superfície foi pintada com tinta preta fosca, para aumentar a absorção de energia térmica.

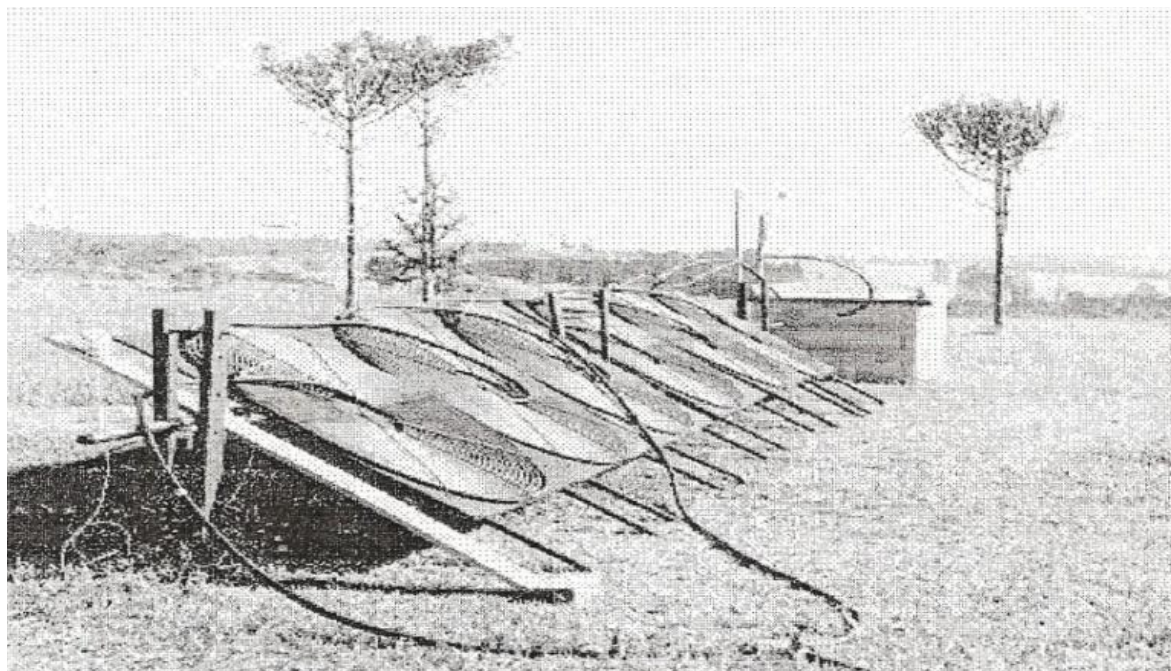
2.2.1 Coletor de polietileno

Silva (1992) desenvolveu um coletor solar com tubos de polietileno extrudados, dispostos em forma de espiral. Cada unidade coletora era composta por 50 metros de tubo que resultou em uma área de 0,85 m². Em seu estudo analisou a eficiência do sistema quando associados em arranjos série e/ou paralelos.

Como resultado constatou que o sistema apresentava ganhos de temperaturas quando as serpentinas eram instaladas em séries e que estes ganhos eram proporcionais à vazão aplicada e a Radiação Global incidida sobre a superfície da unidade coletora (SILVA, 1992).

Para atender grandes vazões estes arranjos em série precisam ser instalados em paralelo com outros arranjos na mesma configuração, até atingir a vazão desejada. A Figura 1 ilustra o sistema analisado por Silva (1992)

Figura 1. Coletor solar de polietileno



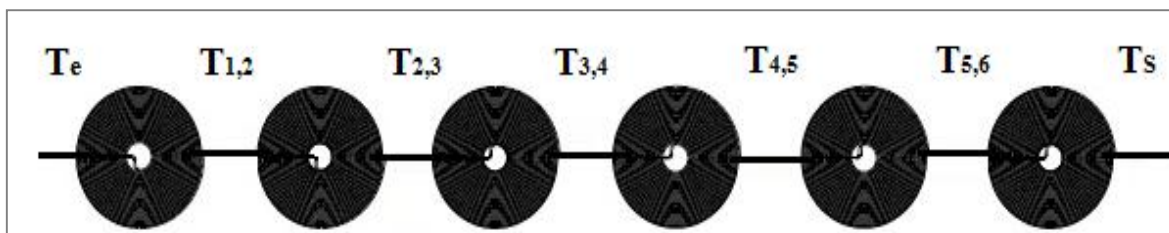
Fonte: Silva (1992, p. 12)

Segundo Silva (1992), o sistema foi eficiente e apresentou excelentes ganhos de temperaturas onde a maior temperatura registrada foi na saída da primeira unidade coletora diminuindo nas unidades seguintes em função da redução da diferença de temperatura entre o fluido e a energia incidente na superfície absorvedora. Esta condição determinou um limite de coletores a serem instalados na configuração série sem que houvesse a estagnação da temperatura do fluido. Portanto, o número de coletores foi relacionado à vazão que passou por cada conjunto de coletores em série, ou seja, se a vazão for alta deve-se utilizar mais unidades coletoras em série.

Silva (1992), observou ainda em seu estudo que para a associação demonstrada na Figura 2, houve um ganho significativo de temperatura apenas até a saída da terceira unidade coletora ($T_{3,4}$) quando submetido à vazão de 620 ml/min.

Desta forma, é importante destacar que para esta vazão, na localidade onde o projeto foi estudado, com as mesmas características climatológicas, as demais unidades coletoras seriam subdimensionadas, agregando assim, um custo desnecessário ao projeto.

Figura 2. Associação de coletores analisada por Silva (1992)



Fonte: Elaborada pelo autor

2.2.2 Eficiência instantânea (η) do sistema coletor

A Tabela 1 ilustra as temperaturas registradas nas saídas de cada unidade coletora em 24 de abril de 1991 (SINGH, 1985; SILVA, 1992), e a eficiência instantânea. Sendo a eficiência a razão entre a potência útil (Q_u) transferida da superfície absorvedora para o fluido e a potência solar incidente sobre a superfície (Q_i), conforme Equação (1).

$$\eta = \frac{Q_u}{Q_i} \quad (1)$$

A potência útil pode ser obtida pela Equação (2), enquanto que a potência incidente é registrada por um equipamento que mede a intensidade de radiação solar global incidida sobre a superfície de interesse, podendo este equipamento ser um radiômetro (SINGH, 1985; SILVA, 1992), descrito em materiais e métodos deste estudo.

$$Q = m \times c \times (T_s - T_e) \quad (2)$$

Onde:

Q = energia útil calculada

m = vazão mássica do fluido, em Kg/hora

c = calor específico do fluido, em KJ/Kg °C

T_s = temperatura do fluido na saída do coletor, em °C

T_e = temperatura do fluido na entrada do coletor, em °C

Nota-se na Tabela 1 que o sistema apresentou ganhos significativos até a saída da terceira unidade coletora. Pode-se considerar que o sistema entrou em estagnação (temperatura constante) a partir da saída da quarta unidade coletora.

Tabela 1. Temperatura e eficiência das unidades coletoras

T_{am}	T_e	T_{sc1}	T_{sc2}	T_{sc3}	T_{sc4}	T_{sc5}	T_{sc6}
21	25	38,0	42,5	45,5	46,5	46,5	46,5
Eficiência η (%)		75,5	26,1	17,4	5,8	0,0	0,0

Fonte: Silva (1992, p. 10)

Destaca-se que estes cálculos não são aplicáveis em sistemas de aquecimento instalados sobre coberturas, como o que está sendo apresentado neste trabalho. Este cálculo é fundamental para determinar se o material que será utilizado como superfície absorvedora é eficiente na transferência da energia incidente para o fluido. Assim, para certificação da eficiência de coletores solares as análises são realizadas em laboratórios.

Em razão dos resultados obtidos por Silva (1992), são utilizadas no arranjo de fluxo contínuo, descrito em materiais e métodos, 3 unidades coletoras em série.

2.3 Radiação solar

A energia que atinge a Terra advinda do sol é genericamente chamada de radiação solar responsável pelos fenômenos meteorológicos e fatores influenciadores do clima (BECKMANN et al., 2006; DAL PAI, 2014).

A irradiação advinda da energia solar é constituída de ondas com diversos comprimentos do espectro que Aguiar et al. (2011), dividiu em

radiação solar de ondas curtas (comprimentos de ondas no espectro no intervalo de 0,2 a 3,0 μm) e longas.

A radiação solar apresenta grande destaque neste contexto, principalmente na conversão da radiação solar térmica, fotovoltaica, biomassa e biodiesel entre outras. A radiação solar direta na incidência é uma fração da radiação solar global (0,285 a 4,0 μm) e possui aplicações físicas, biológicas e agrônômicas (GOMES et al., 2007, p. 1).

Para o processamento dos dados da radiação solar são consideradas duas grandezas distintas que relacionam a irradiância ou densidade de fluxo de radiação e a irradiação solar ou energia solar.

A irradiância ou densidade de fluxo de radiação é a potência incidente por unidade de área sendo sua unidade no SI de Wm^{-2} .

A irradiação geralmente representa a energia solar recebida por unidade de área no período considerado. Sua unidade no SI é o Jm^{-2} ou mais comumente encontrado como MJm^{-2} . Esta energia solar é o valor da densidade de fluxo integrado no tempo caracterizado pelo intervalo de tempo em que os dados foram integrados para o conhecimento efetivo de sua magnitude (CHAVES; ESCOBEDO, 2000, p. 340).

A radiação solar em seu trajeto até o planeta Terra recebe o nome de radiação solar extraterrestre e corresponde a constante solar $I_{cs} = 1367 \text{ Wm}^{-2}$ (IQBAL, 1983).

Ao entrar na atmosfera a radiação solar é atenuada. Sua intensidade é modificada por três processos físicos: reflexão, absorção por gases atmosféricos; e espalhamento ou difusão, causado por moléculas de gases, vapor d'água, poeira, e outras partículas de aerossóis. Ao atingir a superfície terrestre recebe o nome de radiação solar global (H_G) (IQBAL, 1983).

De acordo com Souza et al. (2012), a radiação solar global (H_G) é composta por duas componentes: radiação solar direta (parcela transmitida diretamente sem interação com a atmosfera, atingindo a superfície num ângulo de incidência normal a sua transmissão) e radiação solar difusa (proveniente do espalhamento da radiação por gases e partículas suspensas na atmosfera).

Uma dificuldade no estudo da radiação solar é o fato de que sua magnitude varia muito dependendo da latitude local, da época do ano e da hora do dia. Há dificuldades na comparação de seus valores brutos, principalmente em localidades climaticamente muito diferentes (DAL PAI, 2014).

2.3.1 Influência da nebulosidade sobre a radiação solar

Como a eficiência de um sistema solar de aquecimento de água está diretamente ligada à radiação solar que incide sobre a superfície absorvedora, é necessário estudar a climatologia do local onde se deseja implantá-lo. Uma variável fundamental a ser analisada é o índice de claridade do local, também conhecida como índice K_T (BECKMANN et al., 2006).

Ao analisar a média mensal do índice de claridade da região onde se deseja aplicar projetos que dependam da radiação solar global, é possível estimar os períodos onde o sistema apresentará as melhores médias de desempenho decorrentes da maior incidência de céu claro. Neste caso, a intensidade de radiação será maior sobre a superfície em estudo e apresentará piores desempenhos em decorrência de céu nebuloso ou totalmente coberto por nuvens (BECKMANN et al., 2006; DAL PAI, 2014).

Esses conhecimentos são úteis não só para projetos de aquecimento por radiação solar, mas, por qualquer projeto que dependam de energia solar, ou seja, influenciados por ela. Como exemplos tem-se estudos voltados à agricultura, ao planejamento e ao desenvolvimento do turismo, na aplicação de produtos agrícolas, na secagem grãos, entre outros (PATTANASETHANON et al., 2007).

Conhecer a dinâmica da variação dos níveis de intensidade de radiação que podem incidir sobre a superfície absorvedora e os intervalos de ocorrência, pode servir como modelos estatísticos. No caso de sistemas para aquecimento de água para banho, é importante que nos intervalos em que o sistema se faz mais necessário, ou seja, no inverno, onde se tem menor média de temperatura, o céu apresente maior índice de claridade (DAL PAI, 2014).

Ao estudar a climatologia do local onde se pretende instalar um sistema de aquecimento solar de água e os índices de transmissividade atmosférica (K_T), deve-se atentar aos valores que classificam a região por longos períodos de nebulosidade. Caso esse período for mensal, fase em que o sistema se faz mais necessário, a sua implantação pode ser inviável tecnicamente (BECKMANN et al., 2006).

2.3.2 Métodos para análise do índice da transmissividade atmosférica (K_T)

Para muitas literaturas indicar o índice K_T significa expressar a condição em que se encontra o céu em determinados períodos. Por meio deste índice classifica-se o céu como nebuloso para baixos valores de K_T , sinalizando baixa relação solar global em relação à extraterrestre, céu limpo ou com pouca nebulosidade para altos valores de K_T . O K_T é adimensional e se valores variam entre 0 e 1 (DAL PAI; ESCOBEDO, 2001; TERRAMOTO; ESCOBEDO, 2012).

Escobedo et al. (2009) utilizaram o K_T para expressar quatro condições distintas de cobertura de céu: completamente nublado ou céu nebuloso (de 0 a 0,35); parcialmente nebuloso com dominância para difuso - PNDD (de 0,35 até 0,55); parcialmente nebuloso com predominância para o claro - PNDC (de 0,55 a 0,65); e céu claro (acima de 0,65).

De acordo com Iqbal (1983), o valor do K_T é obtido por meio do quociente apresentado na Equação (3).

$$K_T = \frac{H_G}{H_0} \quad (3)$$

Onde:

H_G = Radiação Global na horizontal diária, MJ m⁻² d⁻¹

H_0 = radiação solar no topo da atmosfera diária, MJ m⁻² d⁻¹

Para o cálculo da radiação extraterrestre (H_0), que é determinada em função da hora, do dia do ano em calendário Juliano, e da latitude do local, utiliza-se a Equação (4).

$$H_0 = 1367 \left(\frac{24}{\pi} \right) E_0 \left[\left(\frac{\pi}{180} \right) \omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega_s) \right] \quad (4)$$

Sendo:

E_0 = fator de correção da excentricidade da órbita terrestre

ω_s = ângulo horário solar, °

φ = latitude local, °

δ = declinação solar, °

O fator de correção da excentricidade da órbita terrestre, a declinação solar e o ângulo solar foram calculados, respectivamente, a partir das equações (5), (6), (7), conforme Iqbal (1983):

$$E_0 = 1,000 + 0,034 \cos(\Gamma) + 0,0013 \operatorname{sen}(\Gamma) + 0,000719 \cos(2\Gamma) + 0,000077 \cos(2\Gamma) \quad (5)$$

$$\delta = 23,45 \sin \left[\left(\frac{360}{365} \right) (DJ + 284) \right] \quad (6)$$

$$\omega_s = \arccos [-\operatorname{tg}(\varphi) \operatorname{tg}(\delta)] \quad (7)$$

Onde:

DJ = dia Juliano

$$\Gamma = 2\pi(DJ - 1)/366$$

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Área de estudo e informações climáticas

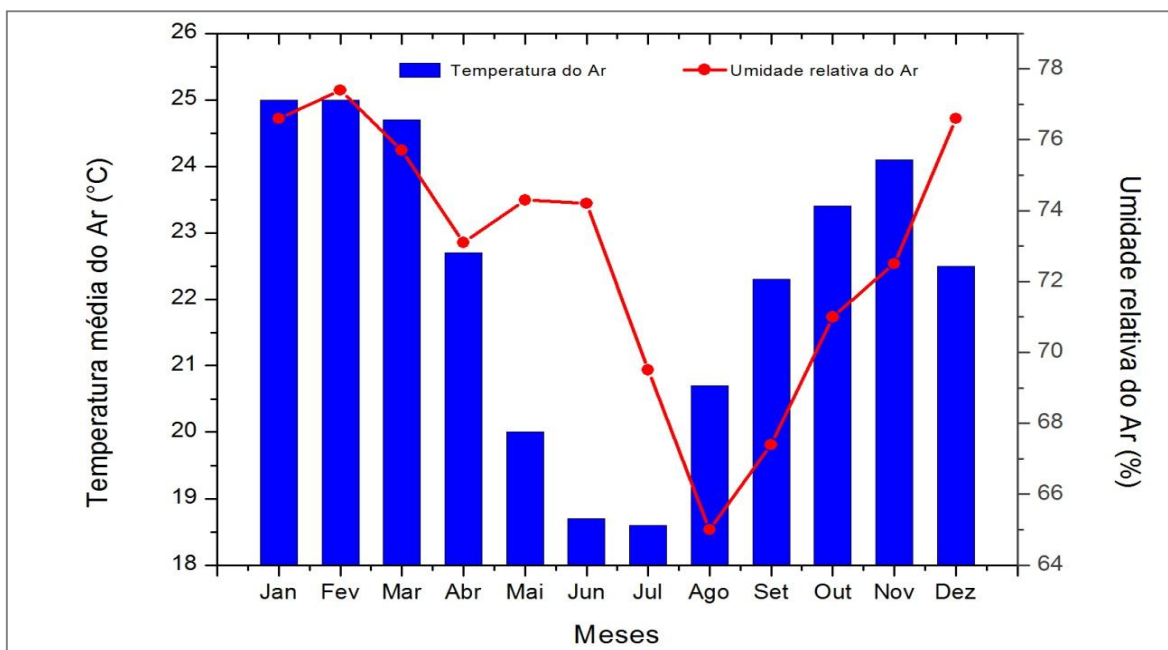
O projeto foi instalado em uma unidade do sistema prisional com capacidade para 220 detentos localizado na cidade de Lins, na região Centro-Oeste do Estado de São Paulo, com uma Latitude 21°40'43" sul e a uma Longitude 49°44'33" oeste que se encontra a uma altitude de 437 metros.

De acordo com o Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura (CEPAGRI), o clima de Lins é classificado como Cwa de acordo com os critérios de classificação Köppen (KOTTEK et al.,2006), com predominância de temperaturas elevadas. O calor é forte durante o verão e o inverno é seco e frio, no entanto com registros de altas temperaturas.

As Figuras de 3 a 7 mostram as séries climáticas médias da temperatura e da umidade relativa do ar, as precipitações acumuladas, e a transmissividade atmosférica para a cidade de Lins, de acordo com dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2016), registrados no período de 1961 a 1990 e que compõem a Normal Climatológica de Lins.

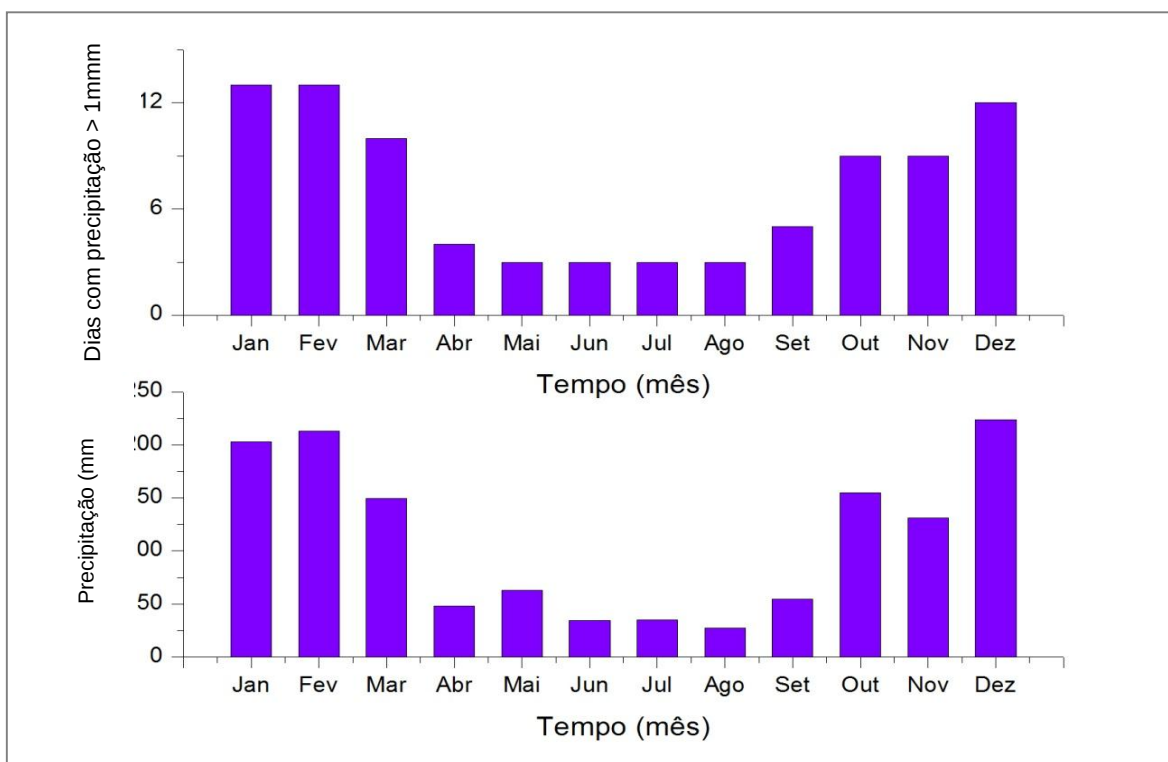
A Figura 3 indica que os meses mais quentes são janeiro e fevereiro e os mais frios junho e julho. Entre 1961 a 1990, janeiro, fevereiro, março, outubro, novembro e dezembro foram os meses com maior acúmulo de precipitação e o mês mais seco foi agosto com umidade relativa de 65%. Já a Figura 4 evidencia que em junho, julho e agosto (no inverno) a incidência de chuva é muito baixa e a média de dias com precipitação maior que 1 mm não ultrapassa a 3.

Figura 3. Evolução anual da temperatura do ar e umidade relativa do ar, médias mensais de 1961 a 1990, em Lins (SP)



Fonte: Adaptado de INMET (2016)

Figura 4. Média mensal da precipitação e dos dias com precipitação da Normal Climatológica de Lins 1961 a 1990

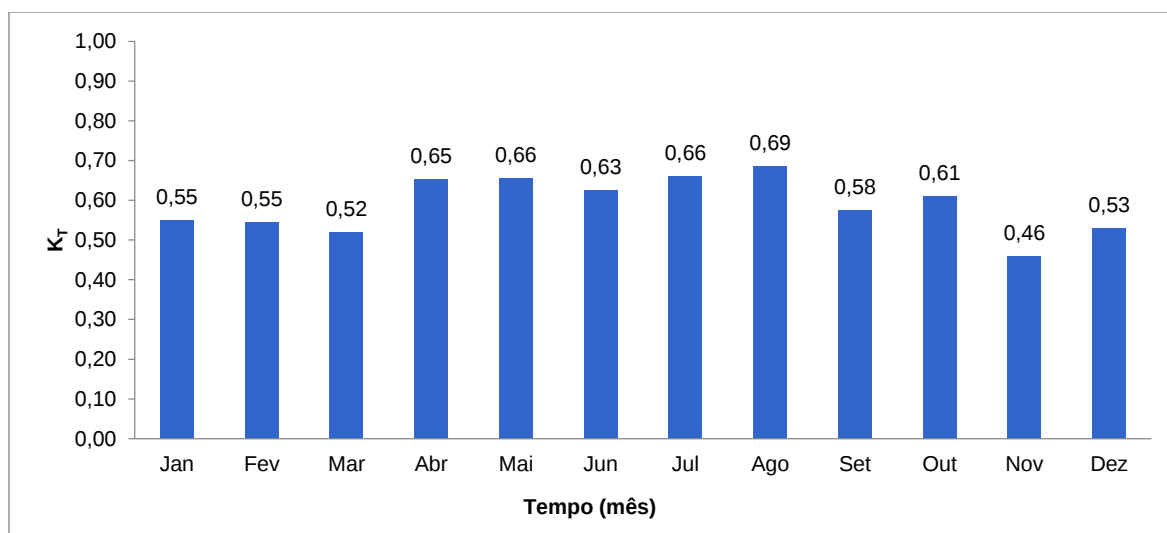


Fonte: Adaptado de INMET (2016)

Para analisar a viabilidade técnica e econômica da implantação de um sistema de aquecimento de água utilizando coletores de energia solar térmica, é importante determinar o índice de transmissividade (K_T) na latitude em que os coletores são instalados. Esta razão indica se a latitude em estudo apresenta grande incidência de dias de céu aberto e, conseqüentemente, favoráveis ao aproveitamento da energia solar térmica e/ou nublado, quando a eficiência do sistema se torna reduzida.

No estudo realizou-se o monitoramento da intensidade de Radiação Global diária no ano de 2014 que possibilitou a obtenção do K_T na latitude do experimento. Deve-se notar que o K_T é um número adimensional e pode variar entre 0 e 1. Se o valor de K_T for menor ou igual a 0,35 indica que o dia foi de céu nebuloso, valores entre 0,35 e 0,55 indicam dias de céu parcialmente nebuloso com predominância para difuso e acima de 0,65 e menor que 1, dias de céu claro (LIU; JORDAN, 1960). A Figura 5 demonstra a média mensal do índice de transmissividade atmosférica referente ao ano de 2014 para Lins com Latitude $-21,64^\circ$

Figura 5. Média mensal do índice de transmissividade atmosférica (K_T) do ano de 2014



Fonte: Elaborada pelo autor

Com base nos índices apresentados na Figura 5, Lins está localizada em uma latitude favorável à instalação de sistemas de aquecimento de

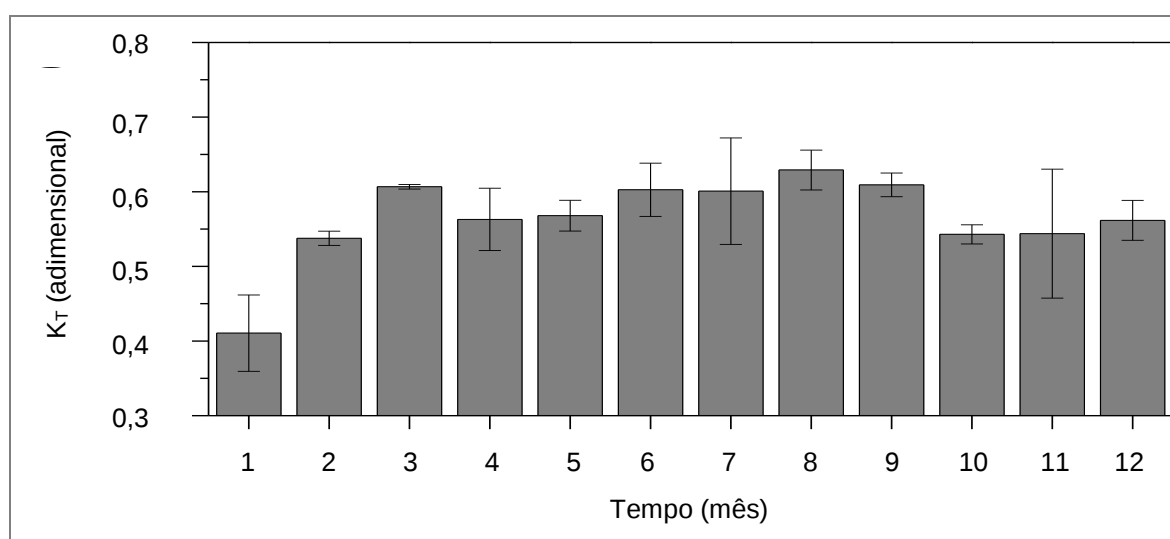
água com coletores solares térmicos, o que viabiliza tecnicamente a realização deste estudo. A média anual de transmissividade atmosférica foi de 0,59, indicando um ano de céu Parcialmente Nebuloso com Dominância para o Claro (PNDC).

Os valores da Figura 5 indicam que os meses de inverno, que são os que mais necessitam de água aquecida, estavam entre os meses com maior incidência de Radiação Global, sendo que a maior média foi em agosto com $K_T = 0,69$. Os menores valores foram os meses de janeiro, fevereiro, março, outubro, novembro e dezembro.

Destaca-se que os meses com menor índice de transmissividade correspondem aos meses com maior ocorrência de precipitação, conforme Figura 4. O mês de novembro indicou o menor índice de transmissividade, $K_T = 0,46$, mesmo assim favorável ao sistema.

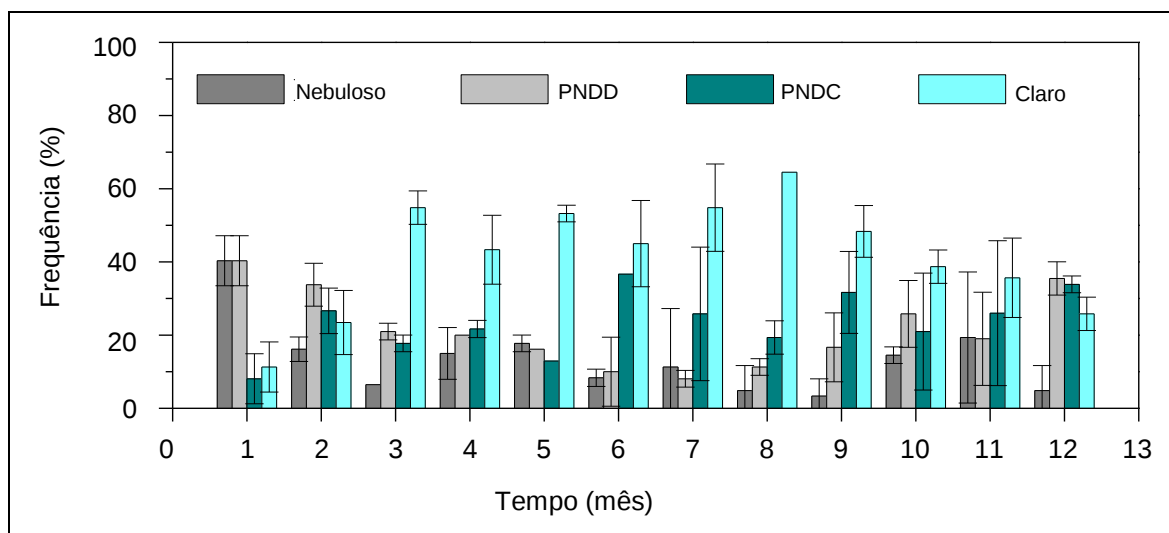
Vale ressaltar, que para cidades com razão de transmissividade atmosférica menores que 0,35 podem não apresentar a mesma eficiência indicada neste estudo. A Figura 6 apresenta a média mensal do índice de transmissividade atmosférica (K_T) dos anos de 2007 e 2008 e a Figura 7 a frequência de cada tipo de céu por mês, médio nos anos de 2007 e 2008, adaptados dos dados do INMET.

Figura 6. Média mensal do índice de transmissividade atmosférica (K_T) dos anos de 2007 e 2008



Fonte Elaborada pelo autor

Figura 7. Frequência do tipo de céu por mês para Lins



Fonte: Elaborada pelo autor

Observa-se que a predominância para a maioria dos meses é céu Parcialmente Nebuloso Dominância para Claro (PNDC) e dias de céu claro. O mês mais crítico é janeiro com predominância de céu nebuloso e de céu Parcialmente Nebuloso com Predominância para Difuso (PNDD). No cenário da pesquisa, observou-se que durante o período de 2001 a 2005, a água utilizada para banho era aquecida por meio de um sistema de caldeira a gás. Após este período as caldeiras foram gradualmente desativadas e o fornecimento de água aquecida para banho foi interrompido.

A unidade é dividida em 3 alas com limite máximo para 70 internos cada, possui ainda um alojamento para 10 internos idosos ou com a saúde debilitada, totalizando uma capacidade de 220 internos.

A água utilizada para banho é proveniente de um poço artesiano que abastece um reservatório de aproximadamente 30 metros exercendo uma pressão de 24 mca (metros de coluna d'água) sobre os pontos de trabalho.

De posse das informações oferecidas pela administração da unidade, considerou-se que a implantação deste sistema seria viável para estudo. Ficou acordado que o processo de produção dos aquecedores, assim como toda sua implantação e manutenção seria realizada com participação dos internos, pois desta forma, os internos envolvidos poderiam fazer uso deste conhecimento como fonte de geração de renda dentro do processo de reinserção na sociedade.

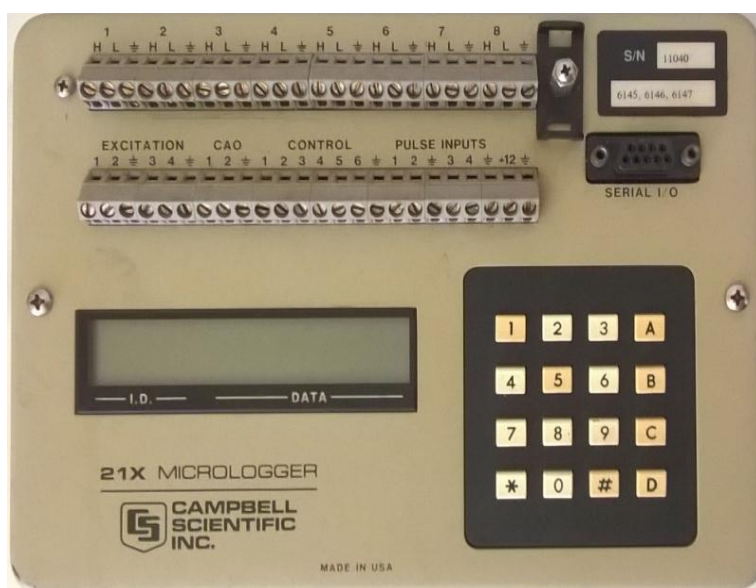
Após um curso sobre energia solar e sistemas de aquecimento alternativos oferecido pelo Centro Universitário de Lins (UNILINS), foi instalado em agosto de 2012 o primeiro conjunto de coletores na unidade, dos quais seriam obtidos os primeiros dados do experimento. Este sistema ainda se encontra em funcionamento e aquece água para assepsia de utensílios na cozinha.

3.2 Instrumentação

3.2.1 Datalogger

Na aquisição dos dados foi utilizado um Datalogger da marca Campbell® modelo 21X operando na frequência de 1 Hz (Figura 8), armazenando médias instantâneas de 5 minutos ou 300 leituras, em um módulo de memória SM192 também da marca Campbell, utilizado para transferir os dados para um computador por meio de uma interface SC532 operando com o *software* PC 208W da Campbell.

Figura 8. Datalogger modelo 21X da Campbell®

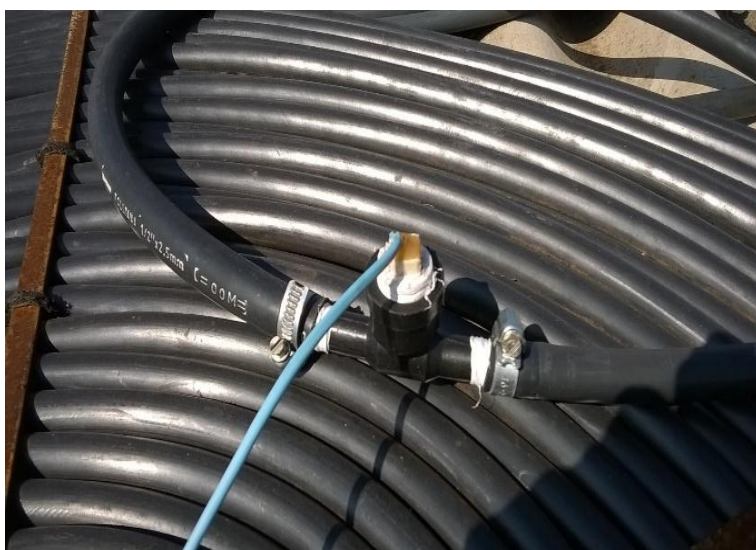


Fonte: Elaborada pelo autor

3.2.2 Sensor de temperatura

Em cada sistema de absorção as temperaturas de entrada e saída das unidades coletoras foram monitoradas. O sensor utilizado no estudo foi o termopar de Ferro-Constantan (tipo K), sendo o Ferro (Fe 99,5%) termoelemento positivo e Constantan (Cu 55% Ni 45%) o termoelemento negativo. A faixa de operação de temperatura deste sensor é entre -210 °C a 760 °C. A Figura 9 ilustra a forma como o sensor foi acoplado ao sistema.

Figura 9. Sensor acoplado ao sistema



Fonte: Elaborada pelo autor

3.2.3 Radiação Solar Global - H_G

A Radiação Solar Global foi medida com um Piranômetro EPPLEY® PSP (Figura 10), instalado no mesmo plano do sistema absorvedor. O Piranômetro utilizado possui fator de calibração $8,49 \mu\text{V}/\text{Wm}^2$, intervalo espectral de 295-2800nm, tempo de resposta 1s, linearidade $\pm 0,5\%$ (de 0 a 2800 W/m^2), impedância aproximada de 350 Ω , e resposta a temperatura de $\pm 1,5\%$ (-20 °C a 40 °C).

Figura 10. Sensor de Radiação Global (piranômetro) EPPLEY® PSP



Fonte: Elaborada pelo autor

3.2.4 Medidor de vazão

O medidor de vazão utilizado foi do tipo Efeito Hall, modelo FY S201 e sua funcionalidade é dada por um rotor acoplado a uma turbina, que envia um pulso de 5 volts para o Datalogger cada vez que o fluido passa por ela e completa um ciclo. Este medidor atua com temperaturas entre 0 °C e 80 °C, contabiliza 450 pulsos por litro, pode ser aplicado em sistemas com vazão máxima de 30 l/min com exatidão de 10 % (Figura 11).

Figura 11. Medidor de vazão por Efeito Hall



Fonte: Elaborada pelo autor

3.3 Caracterização do sistema de aquecimento

O objetivo do sistema de aquecimento proposto neste trabalho foi o de aquecer água para banho a temperaturas mínimas de 32 °C no verão e 37 °C no inverno, considerando o consumo médio de 50 litros por pessoa conforme NBR-7198 (ABNT, 1993).

3.3.1 Unidade coletora

Para realização deste estudo foi utilizado o sistema de coletor de tubo de polietileno disposto em forma de espiral formando a unidade coletora apresentada na dissertação de Silva (1992).

Cada unidade coletora é composta por 50 m de tubo de polietileno extrudado, de cor preta fosca, com diâmetro externo de 17 mm e espessura de 2 mm. Para manter a forma de espiral os tubos foram enrolados em uma estrutura para contenção da mangueira, composta por barra de ferro de 3,17 mm x 12,70 mm (Figuras 12 e 13). Cada unidade coletora montada possui 0,90 m² de área de absorção.

Figura 12. Coletor de tubo de polietileno disposto em forma de espiral



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 13. Coletor de tubo de polietileno disposto em forma de espiral



Fonte: Elaborada pelo autor

3.3.2 Arranjos de coletores

Para garantir a demanda do volume de água aquecida para uma ala, foram analisados dois arranjos de coletores, sendo um para aplicação em fluxo contínuo e outro para fluxo intermitente. Estes arranjos foram instalados ao sistema de aquecimento conforme ilustrado na Figura 14.

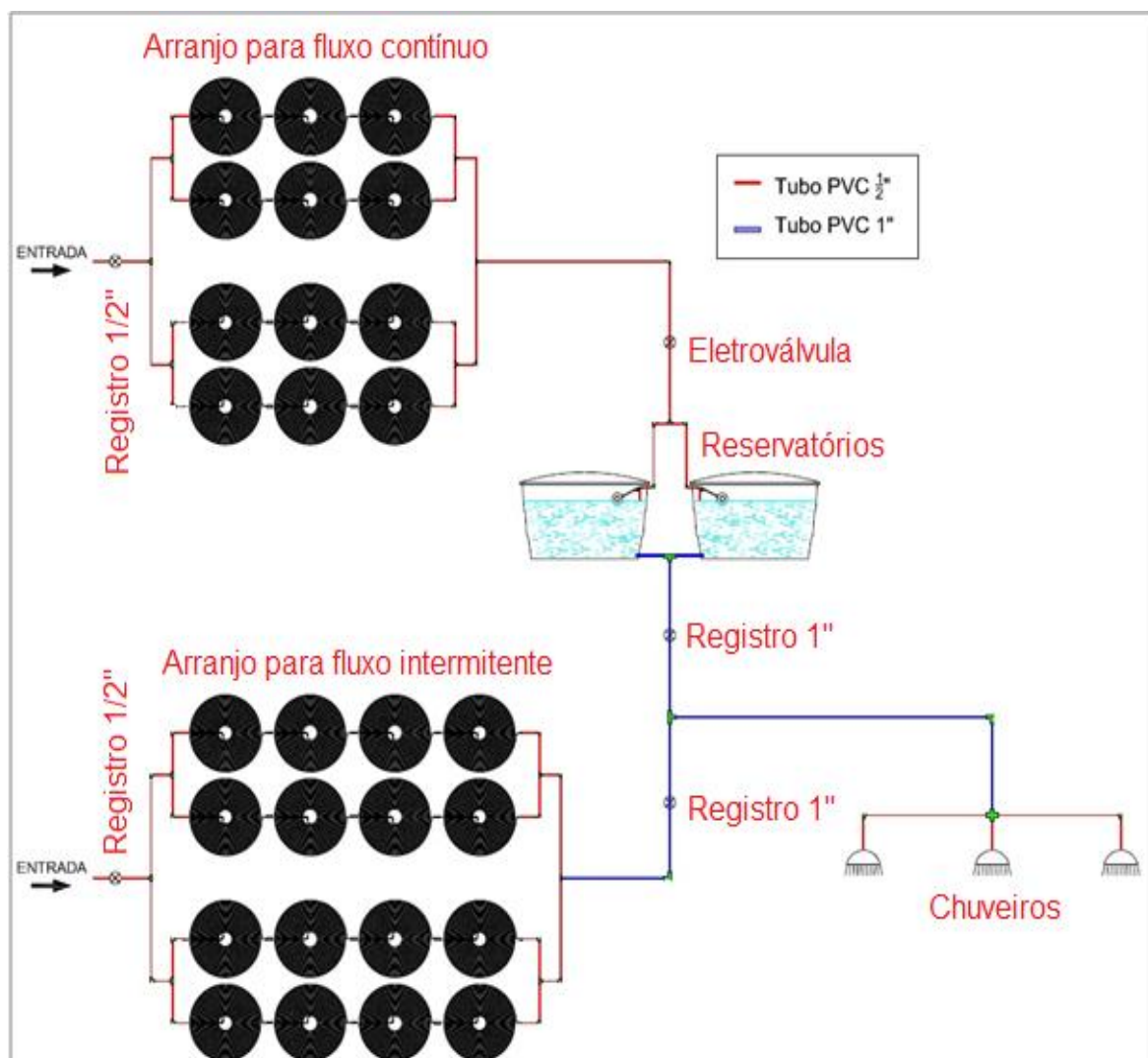
No arranjo para fluxo contínuo o fluido escoar nos dutos com velocidade constante e é armazenado em dois reservatórios de polietileno com capacidade de 2.000 litros para consumo no período da noite.

Este sistema é composto por 12 unidades coletoras que resulta em uma área de absorção de 10,8 m². Optou-se por três unidades coletoras em série em razão do desempenho alcançado por Silva (1992) em seus estudos. Na oportunidade (19/5/1991) a performance do sistema coletor chegou a 55,5 °C às 13h50min para uma vazão de 630 (ml/min).

O segundo arranjo teve como proposta avaliar o fluxo intermitente, decorrente da vazão que for requisitada cada vez que os registros dos chuveiros forem ligados.

Como a vazão neste sistema é variável optou-se por instalar 4 unidades coletoras em série para aumentar o ganho de temperatura quando submetido a altas vazões. A área de absorção deste arranjo é de 14,4 m².

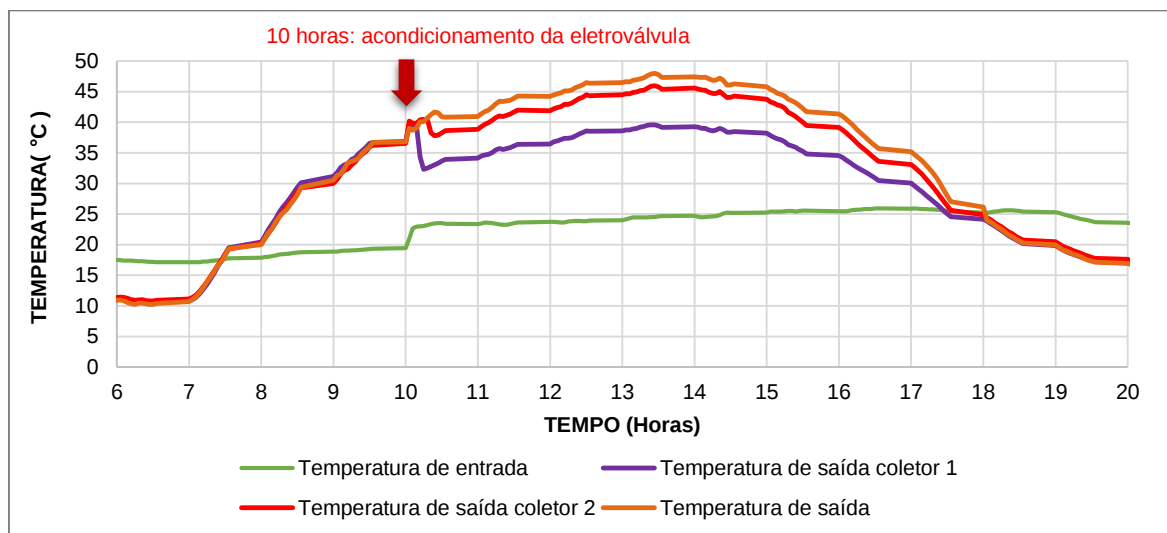
Figura 14. Arranjos de coletores para aplicação em fluxo contínuo e intermitente ao sistema de aquecimento de água



Fonte: Elaborada pelo autor

A Figura 15 apresenta o gráfico com o comportamento das temperaturas de entrada e saída de três unidades coletoras instaladas em série no arranjo de fluxo contínuo no dia 6 de agosto de 2015, submetidas a uma vazão de 4,56 l/min.

Figura 15. Comportamento do fluido na saída dos coletores para vazão de 4,56 l/min (6/8/2015)



Fonte: Elaborada pelo autor

3.3.3 Funcionamento do sistema

Após análise do comportamento das temperaturas de entrada e saída das unidades coletoras do arranjo de fluxo contínuo, observou-se que as temperaturas desejadas para banho (37 °C no inverno) encontravam-se quase sempre nos intervalos de 10h às 16h40min.

Desta forma, como se pretendia coletar no experimento um volume de 2.000 litros de água aquecida, a vazão deveria ser de 4,56 l/min. Para controlar o horário de liberação da água deste arranjo foi instalado uma eletroválvula controlada por um Timer, conforme demonstra esquematicamente a Figura 14.

Pode-se observar no gráfico da Figura 15, que as temperaturas de saída dos 3 coletores estavam acima de 37 °C às 10h, momento em que a eletroválvula foi acionada, liberando o fluxo de água. A máxima temperatura registrada nesta data foi de 46,33 °C na saída da terceira serpentina às 13h25min. É importante registrar que a máxima temperatura ocorreu

aproximadamente uma hora e quinze minutos (1h15min.) após o registro da máxima Radiação Global de 766 W/m^2 às 12h10min.

O arranjo de fluxo contínuo neste dia entrou em funcionamento a partir das 10h, registrando um volume de 1.759 litros a uma temperatura média de $43,8^\circ\text{C}$ às 16h40min. quando foi registrada a última temperatura com valor acima de 37°C , ou seja, $37,16^\circ\text{C}$.

A temperatura média da entrada da água foi de $24,22^\circ\text{C}$, temperatura com o qual os internos tomariam banho caso não houvesse o sistema de aquecimento, fato que justifica a utilização do sistema.

3.3.4 Orientação do sistema coletor

No Brasil todo sistema de absorção de energia solar apresenta o melhor rendimento quando sua superfície está voltada para o norte, com inclinação correspondente a latitude do local mais 10° . Em Lins a inclinação ideal seria de 31° .

O sistema foi instalado diretamente sobre o telhado do local de estudo na orientação Leste-Oeste com a superfície absorvedora voltada frontalmente para o Norte, no entanto, a inclinação resultante do sistema de absorção foi de 10° . A inclinação ideal é para garantir melhor rendimento no inverno o que pode ser compensado, quando necessário, com o aumento de unidades absorvedoras. No entanto, nestas condições os valores de temperaturas esperados foram atingidos.

A Figura 16 ilustra o sistema instalado sobre telhado da unidade prisional em estudo. É possível visualizar os dois sistemas em estudo (A e B) que se referem ao arranjo de fluxo contínuo e de fluxo intermitente respectivamente, além do reservatório (C) do sistema de fluxo contínuo, os quais atendiam a Ala A.

Também foi destacado na Figura 16 o sistema de fluxo intermitente (D) instalado para atender a Ala B.

Figura 16. Sistema instalado no telhado da Unidade



Fonte: Elaborada pelo autor

3.4 Dificuldades enfrentadas nas medições

A instalação e o monitoramento do sistema deveriam acontecer sem que houvessem mudanças estruturais no prédio. Desta forma, seria necessário que as instalações fossem realizadas em pontos de fácil acesso a água e energia, o que limitava em alguns momentos a instalação de registros em pontos de fácil acesso ao usuário.

Em alguns momentos durante as medições diárias, o fornecimento de água foi interrompido para manutenção do sistema hidráulico geral do presídio. Nestes dias os dados não foram processados devido à falta do registro de vazões.

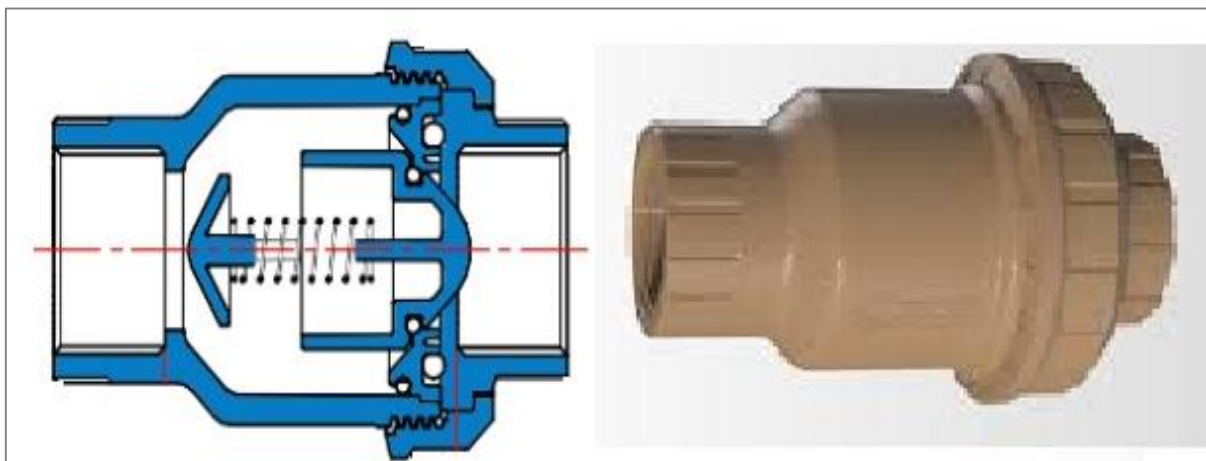
O ponto hidráulico fornecido em 2012 para abastecer o sistema de aquecimento não permitia analisar a temperatura de entrada com as mesmas características da utilizada para o banho antes da nossa intervenção.

A instalação hidráulica do sistema ficava exposta ao sol e um gradiente de temperatura das unidades coletoras retornava para o sensor de medição instalado na entrada, indicando valores elevados de temperatura. No entanto, as temperaturas registradas nas saídas do sistema, foram muito boas. Em julho de 2015 foi autorizada a instalação em outro ponto e este problema foi solucionado.

Outro problema superado na pesquisa foi a medição da vazão. O medidor utilizado registrava a vazão, contabilizando o número de voltas da turbina do sensor. Ocorre que ao aquecer a água, partículas de ar eram liberadas, e quando o sistema era acionado, estas partículas circulavam em alta velocidade dentro das unidades coletoras, girando a turbina em altas rotações, sinalizando assim, uma vazão incorreta.

Para solucionar esta questão, foi adaptada uma válvula de retenção (Figura 17), trocando as molas comerciais, por uma de maior resistência. A válvula foi instalada antes do medidor não permitindo que o ar movimentasse a turbina.

Figura 17. Válvula de retenção



Fonte: Tigre (2015)

3.5 Desempenho do sistema de aquecimento

Os dois sistemas (fluxo contínuo e intermitente) foram analisados com o objetivo de verificar a melhor configuração para atender a demanda com as temperaturas para banho indicadas pela NBR-128 (ABNT, 1963), mínimas de 32 °C no verão e 37 °C no inverno.

3.6 Viabilidade do sistema

Para análise da viabilidade econômica foi realizado um comparativo do consumo médio de gás, no período em que a unidade prisional ofertou água aquecida por caldeiras a gás (2002 a 2006), e o período desse estudo (2014 e 2015) onde as caldeiras já estavam desativadas.

O sistema de aquecimento de baixo custo foi quantificado a partir da comparação com orçamentos de um sistema convencional encontrado no mercado.

Também foi feito um comparativo com outro sistema de aquecimento de água a gás com as mesmas características do estudo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Desempenho do sistema de fluxo contínuo para diferentes vazões

As análises realizadas para o sistema de fluxo contínuo tinham como objetivo a determinação da melhor vazão e os melhores períodos para o acionamento da eletroválvula (*on-off*), de modo que o sistema possa armazenar o maior volume de água aquecida ao longo do dia.

Desta forma, torna-se possível atender a demanda de banho no período das 16h às 17h25min durante o período do inverno. Nesta situação, foram analisadas as vazões de: 2,30 l/min, 4,56 l/min e 9,00 l/min.

A vazão analisada inicialmente foi de 4,56 l/min em razão do volume dos reservatórios de 2.000 litros, e do intervalo determinado para alimentação dos mesmos ser de 10h às 17h30min.

A vazão de 2,30 l/min teve como objetivo analisar se o ganho do sistema aumentaria em vazões menores que 4,56 e 9,00 l/min.

Outro objetivo foi o de analisar as perdas em diferentes vazões, de forma a identificar a mais adequada para atender às necessidades do projeto.

Com a temperatura de referência para utilização da água aquecida de 37 °C (mínima) no inverno, considerou-se essa condição para o acionamento da eletroválvula que abastece as caixas utilizadas para consumo.

4.3.1 Análise do sistema com vazão de 4,56 l/min.

No dia 7 de agosto o sistema de fluxo contínuo foi submetido à vazão de 4,56 l/min.

Conforme demonstra a Tabela 2, às 10h quando a vazão foi liberada, a temperatura da água na saída do sistema registrou 37,19 °C, enquanto que na entrada do sistema registrava 19,71 °C. O sistema ficou em operação até as 17h25min. sendo que durante este período a máxima temperatura registrada na saída do sistema foi de 53,19 °C às 13h25min.

Às 16h quando a água aquecida contida nos reservatórios seria liberada para o banho, o sistema ainda fornecia água a uma temperatura de 43,37 °C. As 16h55min registrou-se o último momento onde a temperatura na saída do sistema era maior que 37 °C, mais precisamente de 37,32 °C.

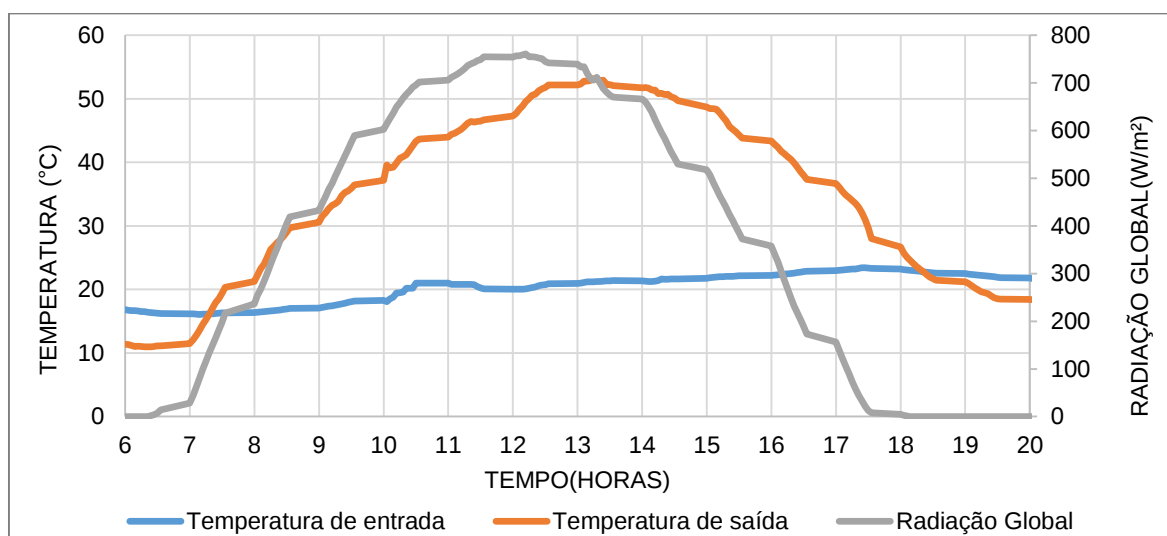
Tabela 2. Resumo das temperaturas e Radiação Solar Global (H_G) referentes ao sistema de fluxo contínuo submetido à vazão de 4,56 l/min no dia 7/8/2015

TEMPO (Hora)	Te (°C)	Ts (°C)	ΔT (Ts-Te)	H_G (W/m²)	Observação
10h	19,71	37,19	17,48	602,00	Acionamento da eletroválvula
12h20min.	23,91	49,55	25,64	761,00	Máxima Radiação Global
13h25min.	24,47	53,19	28,72	706,00	Temperatura máxima
16h	25,53	43,37	17,84	537,70	Horário liberado para banho
16h55min.	26,07	37,32	11,25	173,00	Última temperatura registra acima de 37 °C

Fonte: Elaborada pelo autor

O volume coletado no dia 7 de agosto de 2015 no intervalo entre 10h e 16h55min., período em que a temperatura na saída do sistema esteve constantemente acima de 37 °C, foi de 1.877 litros, sendo a temperatura média da água na saída do sistema de 46,7 °C, considerando que a temperatura média da água na entrada do sistema foi de 24,57 °C e a intensidade máxima registrada da Radiação Global de 761 W/m². O desempenho do sistema pode ser visualizado na Figura 18.

Figura 18. Desempenho do sistema de fluxo contínuo para vazão de 4,56 l/min no dia 7/8/2015



Fonte: Elaborada pelo autor

4.3.2 Análise do sistema com vazão de 2,30 l/min.

No dia 11 de agosto de 2015, o sistema foi submetido a uma vazão de 2,30 l/min para análise. Às 10h quando o sistema entrou em funcionamento, a temperatura registrada da água na entrada era de 22,65 °C e na saída era de 37,28 °C, resultando em um ganho ($T_s - T_e$) de 14,63 °C. É importante observar que no momento da máxima Radiação Global (795,00 W/m²) a temperatura de saída era de 47,88 °C.

Observou-se também que uma hora e dez minutos após o registro da máxima Radiação Global, era registrado a máxima temperatura na saída do sistema de 49,67 °C, apresentando um ganho de 25,40 °C em relação à temperatura de entrada que no mesmo instante registrava 24,27 °C.

Destaca-se que às 16h, horário em que a água armazenada foi liberada para banho, a temperatura da água no reservatório era de 43,94 °C, não menos importante salientar que às 16h55min. a temperatura atingia o limiar de 37 °C, conforme demonstrado na Tabela 3.

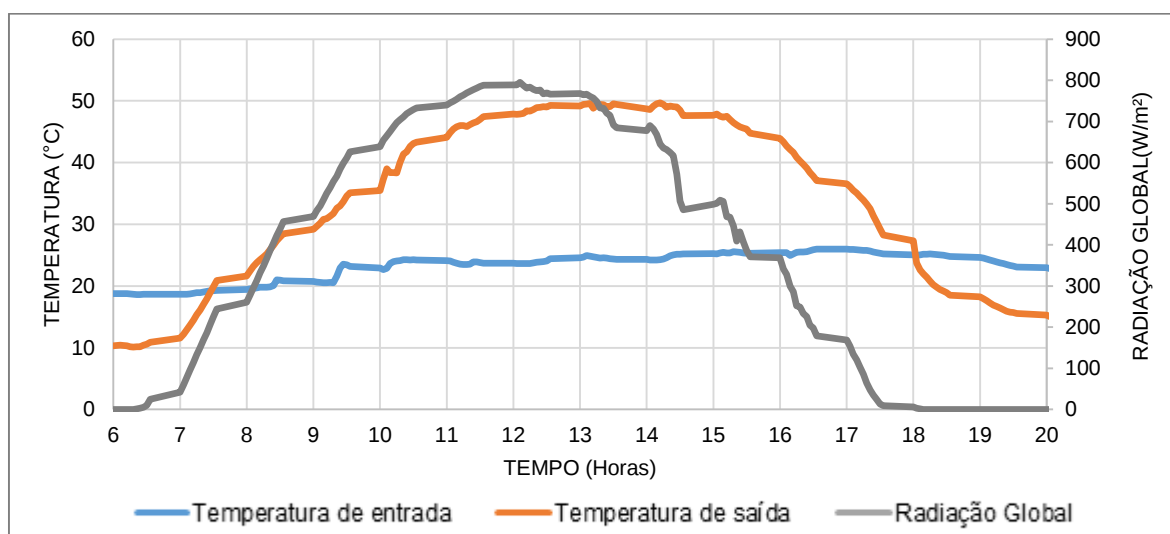
Tabela 3. Resumo das temperaturas e da Radiação Solar Global (H_G) referentes ao sistema de fluxo contínuo submetido à vazão de 2,30 l/min no dia 11/8/2015

TEMPO (Hora)	Te (°C)	Ts (°C)	ΔT (Ts-Te)	H_G (W/m²)	Observação
10h	22,65	37,28	14,63	638,50	Acionamento da eletroválvula
12h10min.	23,62	47,88	24,26	795,00	Máxima Global
14h20min.	24,27	49,67	25,40	645,10	Temperatura máxima
16h	25,39	43,94	18,55	368,90	Horário liberado para banho
16h55min.	25,99	37,09	11,10	179,00	Última temperatura registra acima de 37 °C

Fonte: Elaborada pelo autor

Ao se realizar a comparação entre os dados coletados nas vazões de 4,56 e 2,30 l/m observou-se que em ambas as condições os ganhos de temperatura foram muito próximos, e as pequenas variações registradas foram provocadas por condições climáticas não consideradas neste trabalho, como ventos e precipitações de chuva, pois estas não apresentaram alterações impactantes nas temperaturas esperadas para a utilização do sistema. O desempenho do sistema para o dia 11 de agosto pode ser visualizado na Figura 19.

Figura 19. Desempenho do sistema de fluxo contínuo para vazão de 2,30 l/min. (11/8/2015)



Fonte: Elaborada pelo autor

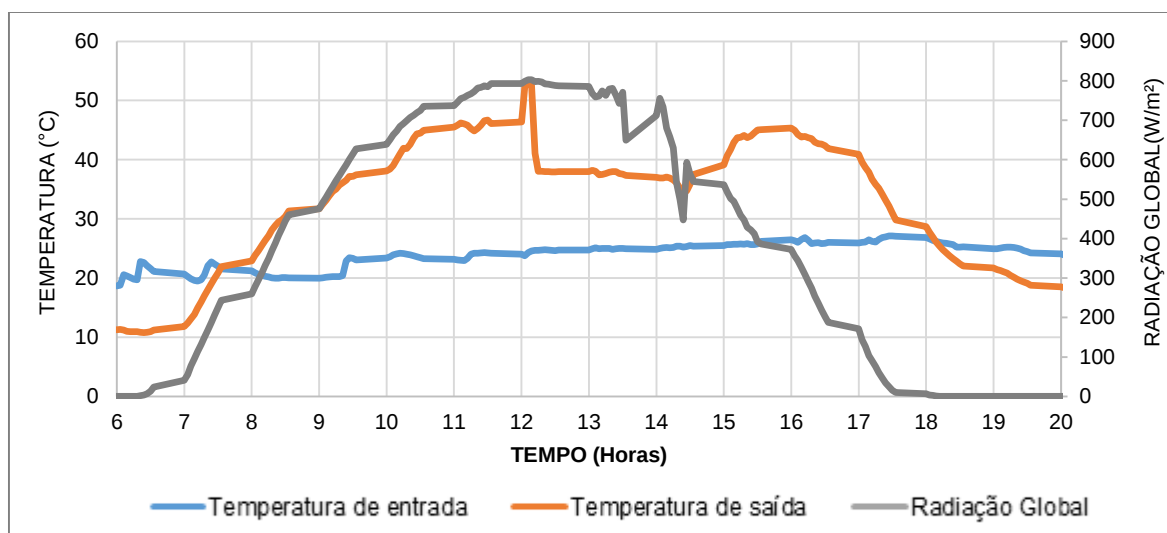
Em 11/8/2015 o volume de água coletado com temperaturas acima de 37 °C entre 10h e 16h55min., foi de 841 litros. A temperatura média da água neste intervalo foi de 45,08 °C na saída contra 24,63 °C na entrada do sistema.

4.3.3 Análise do sistema com vazão de 9,00 l/min.

De acordo com as análises realizadas dos dados obtidos nos dias 7 e 11 de agosto de 2015, para as vazões de 2,30 e 4,56 l/min, o sistema atingiu a máxima temperatura no intervalo entre 13 e 15 horas.

No dia 15 de agosto de 2015 o sistema foi acionado às 12h com uma vazão de 9,00 l/m. Esta análise foi realizada com o objetivo de compreender o comportamento do sistema com vazões maiores que 4,56 l/min., e qual o volume de água seria armazenado com temperaturas desejadas (Figura 20).

Figura 20. Desempenho do sistema de fluxo contínuo para vazão de 9,00 l/min no dia 15/8/2015



Fonte: Elaborada pelo autor

Conforme demonstra a Figura 20, observou-se que a temperatura inicial da água na saída do sistema, quando a vazão foi liberada, era

de 52,28 °C, mas caiu para 38,04 °C após 30 minutos de fluxo constante. Às 13h55min o limiar da temperatura mínima desejada (37 °C) no sistema acumulava 1.017 litros de água aquecida.

4.3.4 Vazão com melhor desempenho em fluxo contínuo

Com base nas 3 experiências realizadas com as vazões 4,56 l/min. (item 4.3.1), 2,3 l/min. (item 4.3.2) e 9 l/min. (item 4.3.3) para o sistema de fluxo contínuo, constatou-se que o melhor desempenho foi atingido com a vazão de 4,5 l/min. conforme demonstra os dados da Tabela 4.

Tabela 4. Características apresentadas para as vazões de 4,56, 2,30 e 9,00 l/min.

Dia	Vazão (l/min)	Média Te (°C)	Média Ts (°C)	H _G (W/m ²)	Volume (Litros)
7/8/2015	4,56	24,57	46,70	761,00	1877
11/8/2015	2,30	24,63	45,80	795,00	841
15/8/2015	9,00	24,75	39,00	803,00	1017

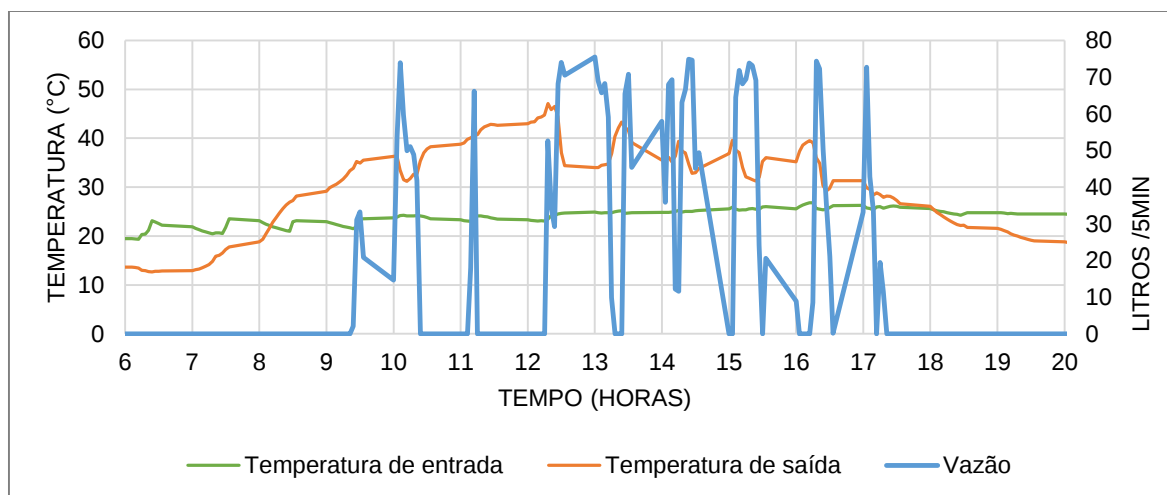
Fonte: Elaborada pelo autor

4.4 Análise do desempenho do sistema de fluxo intermitente

A vazão diária do sistema intermitente é imprevisível, pois não há uma rotina bem definida ou uma vazão constante no banho. O desempenho no sistema está relacionado com o horário em que o sistema será requisitado e o tempo em que os registros das duchas serão mantidos abertos.

O comportamento do sistema de fluxo intermitente referente ao dia 8 de agosto de 2015 está descrito no gráfico da Figura 21. Percebe-se que a curva de temperatura de saída do sistema, indica quedas de temperatura quando o sistema foi submetido a vazões maiores que 4,56 l/min.

Figura 21. Desempenho do sistema de fluxo intermitente no dia 8/8/2015



Fonte: Elaborada pelo autor

Destaca-se que as temperaturas obtidas nas análises de fluxo intermitente com vazões maiores que 4,56 l/min., apresentam o mesmo comportamento do sistema de fluxo contínuo quando submetido à vazão de 9,00 l/min. Desta forma, conclui-se que para o bom desempenho do sistema é importante uma configuração com vazão de 4,56 l/min.

Deve-se destacar que o sistema quando submetido a vazões maiores que 7,00 l/min. por intervalo de tempo superiores à 30 min., o desempenho fica comprometido e assim a transferência de calor para o fluido não ocorre com eficiência, conforme ilustra o gráfico da Figura 21.

Para melhor compreensão deste comportamento, o consumo do dia 8 de agosto foi detalhado por intervalos de consumo, sendo os intervalos: das 9h40min. às 10h35min., das 11h15min. às 13h25min., das 13h45min. às 14h55min., das 15h10min. às 16h e das 16h25min. às 17h30min.

4.4.1 Análise do fluxo intermitente das 9h40min. às 10h35min. em 8/8/2015

De acordo com a Tabela 5, a primeira vazão registrada pelo Datalogger no dia 8 de agosto, ocorreu às 9h40min. Neste momento a temperatura

de entrada registrava 21,5 °C e a de saída 33,9 °C, apresentando assim, um ganho de 12,33 °C.

Tabela 5. Características do consumo das 9h40min. às 10h35min. em 8/8/2015

Hora	Te °C	Ts °C	$\Delta T(T_s - T_e)$	Vazão (l/min)	H _G (W/m²)	Volume (litros)
9h40min.	21,5	33,9	12,33	0,414	552,0	2,07
9h45min.	22	35,2	13,28	6,216	565,1	31,08
9h50min.	23,4	34,9	11,51	6,658	578,4	33,29
9h55min.	23,5	35,5	11,99	4,176	592,0	20,88
10h	23,7	36,3	12,58	2,922	608,7	14,61
10h5min.	23,9	36,4	12,52	10,714	620,9	53,57
10h10min.	24,2	33,5	9,27	14,78	633,2	73,9
10h15min.	24,2	31,5	7,28	11,942	645,1	59,71
10h20min.	24,1	31,2	7,09	9,99	655,6	49,95
10h25min.	24,1	31,8	7,68	10,21	664,6	51,05
10h30min.	24,1	32,7	8,53	9,778	674,6	48,89
10h35min.	24,2	32,8	8,58	8,358	681,7	41,79
Volume coletado						480,79

Fonte: Elaborada pelo autor

O consumo registrado de água quente no intervalo entre 9h40min. e 10h35min. foi de 480,79 litros e temperatura média de 33,80 °C. A menor temperatura nesse intervalo foi de 31,20 °C às 10h20min., com ganho de 7,09 °C em relação a temperatura de entrada.

Os dados apresentados na Tabela 5 indicam ainda que os ganhos de temperaturas ($T_s - T_e$) diminuem de forma proporcional ao aumento da vazão, ou seja, ao ganho de temperatura é inversamente proporcional à vazão.

No intervalo das 9h40min. às 10h, a vazão do sistema variou na faixa de 6,70 l/min, o que garantia que o ganho de temperatura ($T_s - T_e$) permanecesse na faixa de 11 a 12 °C. A partir das 10h5min. os ganhos foram diminuindo devido ao aumento da vazão que estava acima de 9,00 l/min.

4.4.2 Consumo do fluxo intermitente das 11h15min. às 13h25min. em 8/8/2015

Para o intervalo entre 11h15min. e 13h25min., o melhor desempenho foi registrado entre 11h15min. e 12h50min., totalizando um volume de 342,44 litros e temperatura média de 43 °C. A menor temperatura registrada foi de 37 °C às 12h50min.

No intervalo de 12h55min. às 13h25min., a temperatura média registrada foi de 34,7 °C para um volume de 417,92 litros resultando no total de 760,36 litros de água aquecida no dia, conforme ilustra a Tabela 6.

Tabela 6. Características do consumo das 11h15min. às 13h25min. em 8/8/2015

Hora	Te °C	Ts °C	$\Delta T (Ts - Te)$	Vazão (l/min)	H _G (W/m²)	Volume (litros)
11h15min.	23	40,1	17,13	3,604	721	18,02
11h20min.	23,9	40,5	16,6	13,236	728	66,18
12h30min.	23,5	47,1	23,61	10,53	760	52,65
12h35min.	24,2	45,8	21,63	6,838	755	34,19
12h40min.	24,2	46,5	22,31	5,85	752	29,25
12h45min.	24,5	44,4	19,95	13,63	749	68,15
12h50min.	24,7	37	12,35	14,8	747	74
12h 55min.	24,7	34,4	9,73	14,1	741	70,5
13h	24,9	34	9,16	15,1	739	75,5
13h05min.	24,8	34	9,26	13,802	736	69,01
13h10min.	24,7	34,5	9,8	13,146	731	65,73
13h15min.	24,7	34,6	9,88	13,644	729	68,22
13h20min.	24,8	34,7	9,98	11,814	724	59,07
13h25min.	24,8	36,9	12,1	1,978	716	9,89
Volume coletado						760,36

Fonte: Elaborada pelo autor

4.4.3 Consumo do fluxo intermitente das 13h45min. às 14h55min. em 8/8/2015

Conforme demonstra a Tabela 7, o melhor desempenho para o intervalo entre 13h45min. e 14h55min. ocorreu entre 13h45min. e 13h55min., quando a temperatura registrada estava acima de 37 °C em uma vazão média de 12 l/min, resultando no volume total de 181,65 litros.

Da mesma forma, no intervalo entre 14h e 14h55min., foram registrados o consumo de 628,80 litros de água aquecida e a temperatura média de 35,60 °C, apresentando um ganho médio ($T_s - T_e$) de 10,6 °C em relação à temperatura média da entrada de 25 °C. O volume total registrado para este intervalo foi de 810,45 litros.

Tabela 7. Características do consumo das 13h45min. às 14h55min. em 8/8/2015

Hora	T_e °C	T_s °C	$\Delta T (T_s - T_e)$	Vazão (l/min)	H_G (W/m ²)	Volume (litros)
13h45min.	24,7	42,2	17,53	13,098	697,8	65,49
13h50min.	24,7	41,7	16,93	14,16	689,7	70,8
13h55min.	24,8	39,1	14,3	9,072	678,3	45,36
14h	24,8	35,5	10,67	11,586	668,8	57,93
14h5min.	24,8	35,5	10,69	7,174	661,4	35,87
14h10min.	24,8	36,1	11,27	13,604	651,8	68,02
14h15min.	24,92	35,2	10,26	13,864	634,3	69,32
14h20min.	25,06	36,4	11,31	2,438	618,9	12,19
14h25min.	25,25	39,4	14,13	2,322	602,8	11,61
14h30min.	24,88	37,3	12,46	12,628	599,3	63,14
14h35min.	25,03	37	12	13,338	583,9	66,69
14h40min.	25,06	34,7	9,62	14,98	573,4	74,9
14h45min.	25,05	32,8	7,78	14,92	560	74,6
14h50min.	25,17	33	7,79	9,02	547	45,1
14h55min.	25,25	33,8	8,57	9,886	538,8	49,43
Volume coletado						810,45

Fonte: Elaborada pelo autor

4.4.4 Consumo do fluxo intermitente das 15h10min. às 16h em 8/8/2015

Às 15h10min. o sistema foi acionado novamente registrando uma temperatura na saída de 37,6 °C. Devido ao curto intervalo de tempo em relação ao consumo anterior, não houve tempo de restabelecer o sistema, que registrou uma vazão de 543 litros à temperatura média de 33 °C. O ganho médio da temperatura para este intervalo foi de 8,3 °C em relação à temperatura média na entrada do sistema registrada em 25,5 °C. A menor temperatura foi de 31,3 °C, registrada pelo Datalogger às 15h40min., conforme demonstra a Tabela 8.

Tabela 8. Características do consumo das 15h10min. às 16h em 8/8/2015

Hora	Te °C	Ts °C	$\Delta T (Ts - Te)$	Vazão (l/min)	H _G (W/m ²)	Volume (litros)
15h10min.	25,48	37,6	12,08	12,908	490,5	64,54
15h15min.	25,32	37,1	11,75	14,36	476,5	71,8
15h20min.	25,34	34	8,64	13,624	469,6	68,12
15h25min.	25,39	32,1	6,74	13,892	460,7	69,46
15h30min.	25,54	31,9	6,31	14,76	445,5	73,8
15h35min.	25,65	31,5	5,85	14,62	426	73,1
15h40min.	25,48	31,3	5,78	13,826	408,2	69,13
15h45min.	25,5	32,1	6,57	4,826	397,8	24,13
15h55min.	26,03	36	10,01	4,116	367,5	20,58
16h	25,53	35,2	9,63	1,786	344,4	8,93
Volume coletado						543,59

Fonte: Elaborada pelo autor

4.4.5 Consumo do fluxo intermitente das 16h25min. às 17h30min. em 8/8/2015

O intervalo entre 16h25min. e 17h30min. atende com água aquecida o banho dos detentos em regime fechado e semiaberto.

O principal objetivo do sistema de fluxo contínuo é atender de forma complementar a demanda de água quente para banho que está compreendido no intervalo entre 16h e 17h30min., em razão das baixas temperaturas obtidas pelo sistema de fluxo intermitente neste período.

Tabela 9. Características do consumo das 16h25min. às 17h30min. em 8/8/2015

Hora	Te °C	Ts °C	$\Delta T (Ts - Te)$	Vazão (l/min)	H _G (W/m ²)	Volume (litros)
16h25min.	26,82	39,1	12,3	1,712	253,7	8,56
16h30min.	25,6	36,0	10,4	14,88	238,7	74,4
16h35min.	25,48	34,9	9,4	14,46	231,7	72,3
16h40min.	25,36	30,3	4,97	10,062	218,1	50,31
16h45min.	25,46	29,2	3,78	7,14	200,2	35,7
16h50min.	25,79	29,7	3,93	4,216	189,2	21,08
16h55min.	26,23	31,3	5,07	0,03	173,3	0,15
17h	26,27	31,4	5,08	6,626	155,9	33,13
17h5min.	25,76	29,9	4,12	14,54	140,9	72,7
17h10min.	25,61	29,5	3,93	8,574	125,9	42,87
17h05 min.	25,39	28,4	2,97	6,718	106,8	33,59
17h25min.	25,99	28,5	2,54	3,884	74,4	19,42
17h30min.	25,71	27,9	2,21	2,312	60,73	11,56
Volume coletado						475,77

Fonte: Elaborada pelo autor

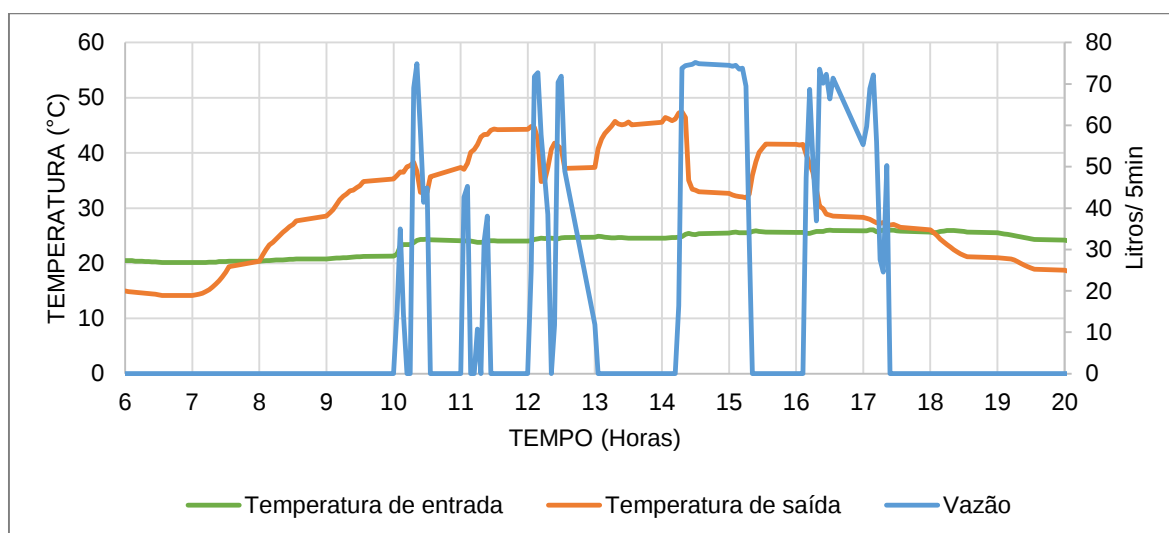
O volume total registrado de água aquecida para banho no dia 8 de agosto de 2015, com o sistema de fluxo intermitente foi de 3.052,96 litros. Neste dia o consumo de água registrado com temperatura acima de 37 °C foi de aproximadamente 820,25 litros. No entanto, vale ressaltar que o volume consumido até às 16h foi de 2.595,19 litros, com temperatura média de 36 °C.

O sistema de fluxo contínuo registrou nesse dia um volume de 1.933,77 litros de água aquecida com temperatura média 43,11 °C, com destaque ao registro da temperatura no limiar de 37 °C às 17h.

Os gráficos das Figuras 22 e 23 representam o comportamento do sistema de fluxo intermitente, respectivamente aos dias 10 de agosto para um volume registrado de 2.037,26 litros até às 16h, com temperatura

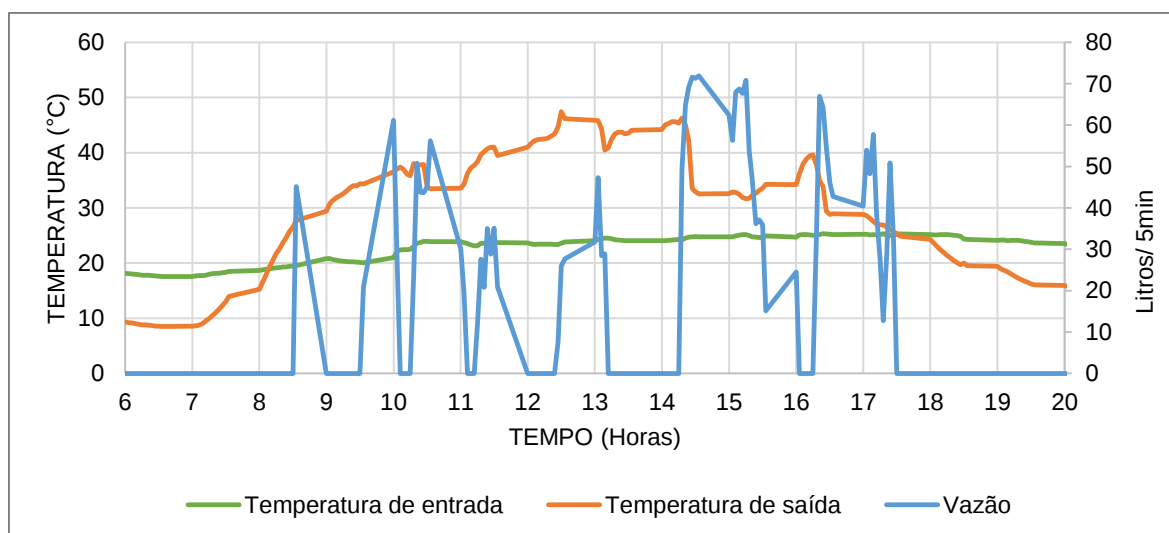
média de 37 °C, e o dia 12 de agosto um volume de 2.618 litros e temperatura média de 36 °C. Os volumes foram contabilizados até às 16h. Observa-se que o consumo diário no sistema intermitente tem um comportamento regular.

Figura 22. Desempenho do sistema de fluxo intermitente em 10/8/2015 em 2.037,26 litros



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 23. Desempenho do sistema de fluxo intermitente em 12/8/2015 – 2.618 litros



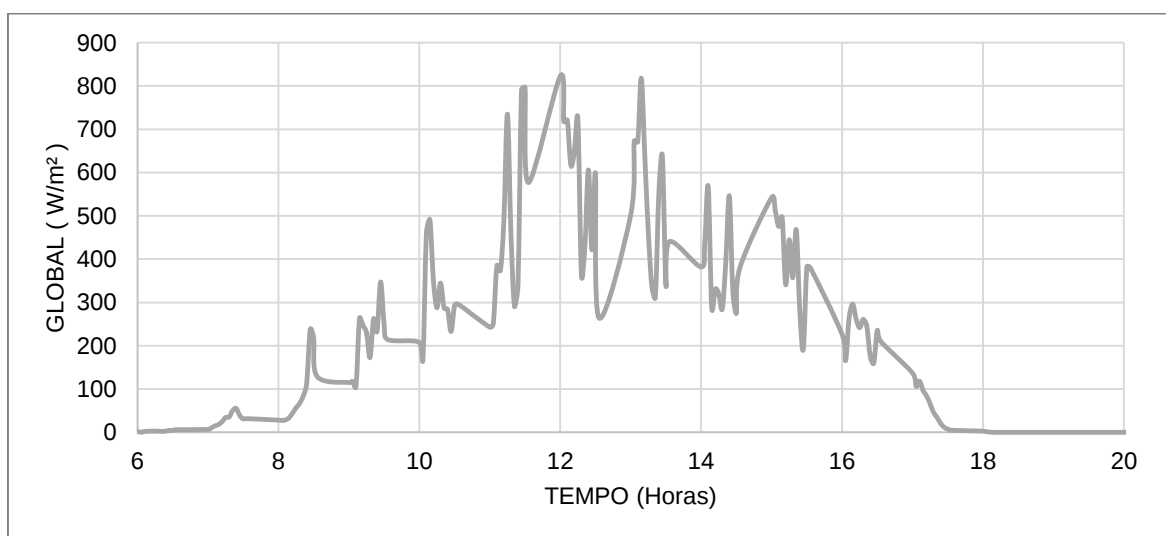
Fonte: Elaborada pelo autor

Como já mencionado neste trabalho, as demandas de água quente são variáveis em razão de o sistema ter sido instalado inicialmente para atender apenas uma ala com capacidade para 70 detentos, porém internos de outras alas (em número desconhecido) também faziam uso da água aquecida, justificando os altos volumes consumidos de água aquecida e, conseqüentemente, as diferenças de volume apresentados entre os dias analisados anteriormente.

4.5 Desempenho do sistema em dias nublados

Destaca-se que no dia 25 de julho de 2015, onde a Radiação Global registrada pelo Datalogger indicava um dia com grande incidência de nuvens, conforme se observa no gráfico da Figura 24.

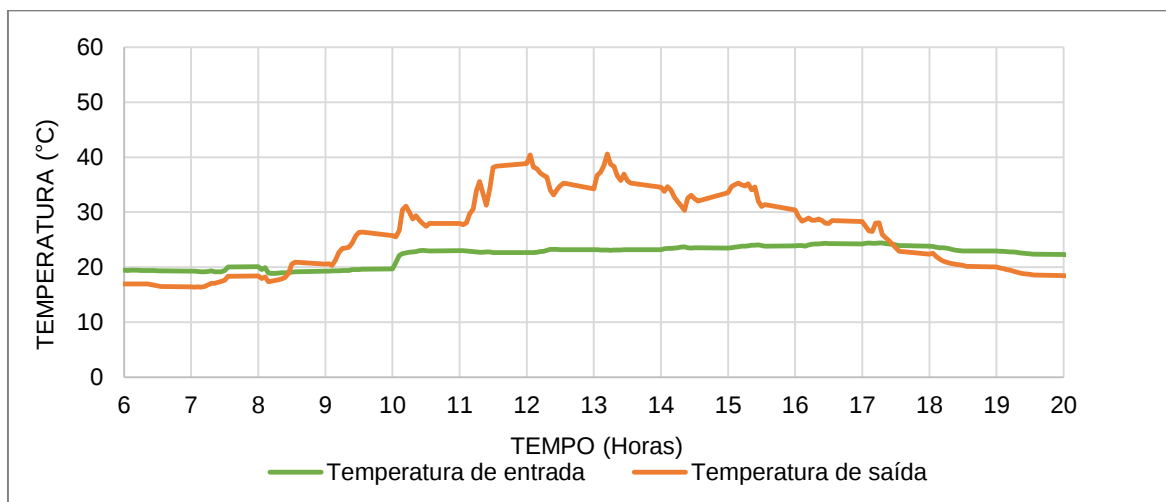
Figura 24. Radiação Global registrada no dia 25/7/2015



Fonte: Elaborada pelo autor

Embora tenha sido registrada uma grande incidência de nuvens, o sistema apresentou eficiência, registrando um ganho considerável de temperatura, como indicado no gráfico da Figura 25.

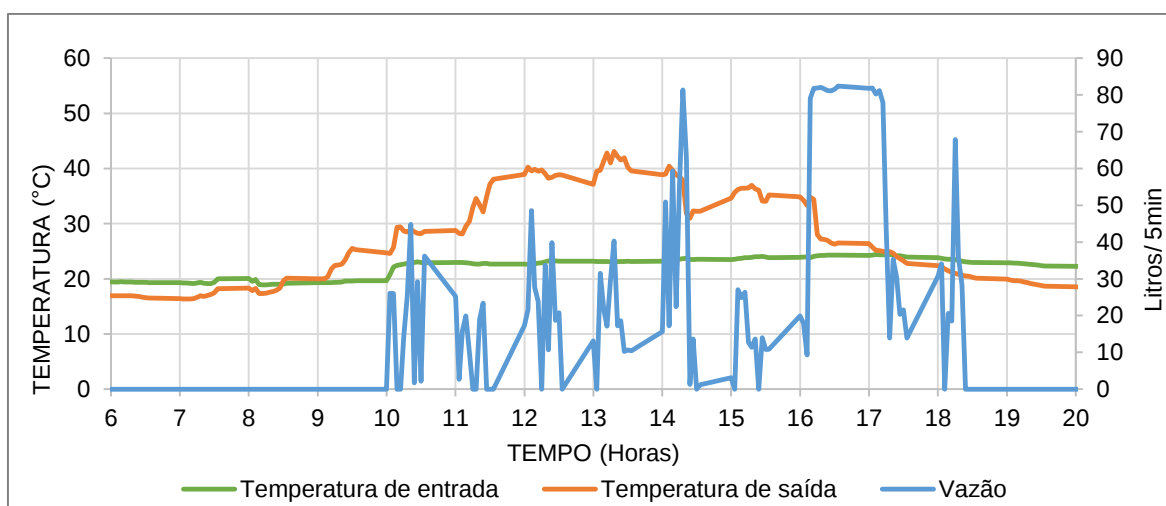
Figura 25. Desempenho do sistema de fluxo contínuo em 25/7/2015 – Vazão de 4,56 l/min.



Fonte: Elaborada pelo autor

A Figura 26 ilustra o comportamento do sistema de fluxo intermitente referente ao dia 25 de julho. Pode-se observar que a temperatura da saída sempre esteve consideravelmente maior que a da entrada, apresentando um ganho satisfatório.

Figura 26. Desempenho do sistema de fluxo intermitente em 25/7/2015



Fonte: Elaborada pelo autor

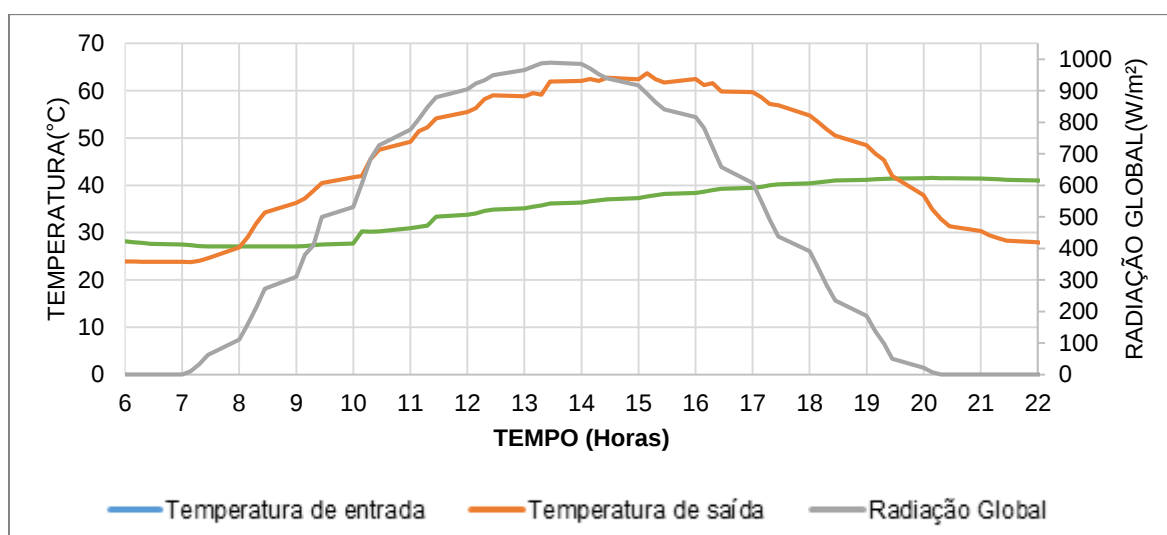
O volume registrado para este dia foi de 1.690,18 litros e temperatura média de 34,6 °C, considerando que a temperatura média da água na entrada do sistema foi de 25,6 °C.

4.6 Desempenho do sistema de fluxo contínuo no verão

A Figura 27 se refere ao desempenho do sistema de fluxo contínuo com vazão de 4,56 l/min no dia 19 de janeiro de 2015 (verão brasileiro).

O volume coletado foi de 1.732 litros para o intervalo das 10 às 17h30min. A maior temperatura nesse dia foi 62,7 °C às 14h45min. e a maior Radiação Global registrada foi de 898 W/m².

Figura 27. Desempenho do sistema de fluxo contínuo no verão em 19/1/2015



Fonte: Elaborada pelo autor

Pode-se observar no gráfico da Figura 27 que no verão a saída de água sistema atinge temperaturas acima de 37 °C a partir de 9 horas. Por volta de 19h30min. as temperaturas registradas foram maiores que 40°C.

Considerando que a temperatura indicada para banho no verão é de 32 °C, pode-se concluir que o sistema fica superdimensionado, tendo sempre a necessidade de realizar a mistura com água fria para utilização.

5 PROPOSTA PARA OTIMIZAÇÃO EMBASADA NA ANÁLISE ECONÔMICA

Considerando que o Centro de Ressocialização em estudo pode atender até 220 internos divididos em 3 alas de 70 internos cada, mais 1 unidade com capacidade para 10 internos com saúde debilitada, e que cada uma destas possui seu sistema de banho individualizado, torna-se necessário otimizar o sistema de aquecimento para atender a demanda de água aquecida. Esta demanda, 220 banhos a 50 litros cada, é de 11.000 litros de água aquecida.

A proposta não foi implementada, porém a análise foi possível baseada nos dados obtidos no estudo.

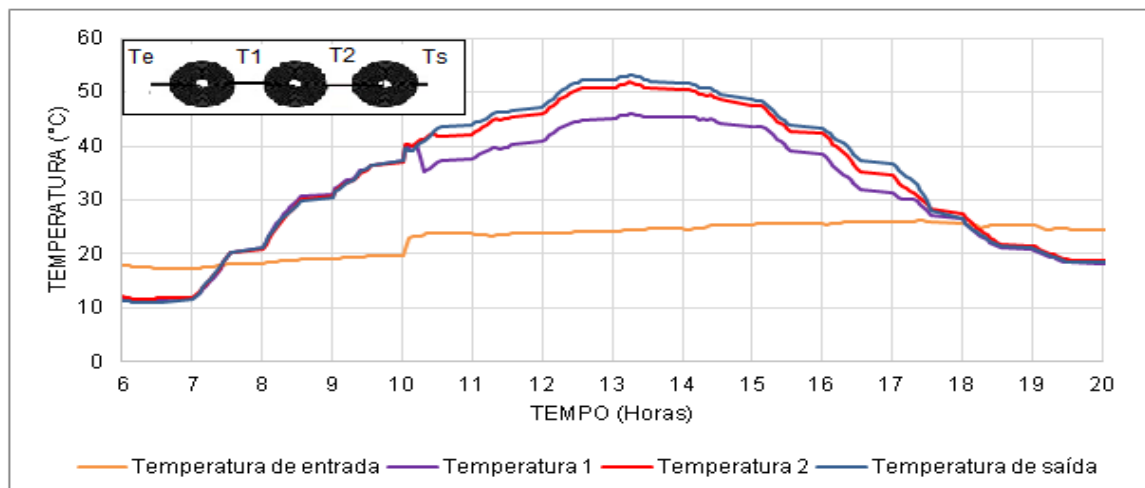
Na análise realizada no dia 8 de agosto, o sistema de fluxo contínuo, resultou em um volume de 1.933,77 litros de água aquecida com temperatura média de 43,11 °C, registrando a última vazão com temperatura acima de 37 °C às 17h. Para este volume o sistema atuou das 10h às 18h com vazão constante de 4,56 l/min. (Figura 28).

O arranjo de fluxo contínuo estudado possui 3 unidades coletoras (serpentina) em série, conforme ilustrado no gráfico da Figura 28. Quando comparadas às temperaturas de saída da segunda (T2) e terceira (Ts) unidades coletoras do sistema de fluxo contínuo, percebe-se que ambas apresentaram temperaturas acima de 37 °C durante todo o intervalo em que o sistema está ativo (entre 10h e 17h10min.).

Analisando a temperatura da saída da segunda unidade coletora (T2) do mesmo sistema e mesmo dia, observa-se os seguintes dados: a primeira temperatura desejada foi 37,13 °C e ocorreu às 10h5min., a temperatura limiar foi 37,09 °C às 17h10min., a temperatura média para o intervalo entre 10h10min. e 17h10min. foi de 42,7 °C. Com base nestas informações, propõem-se

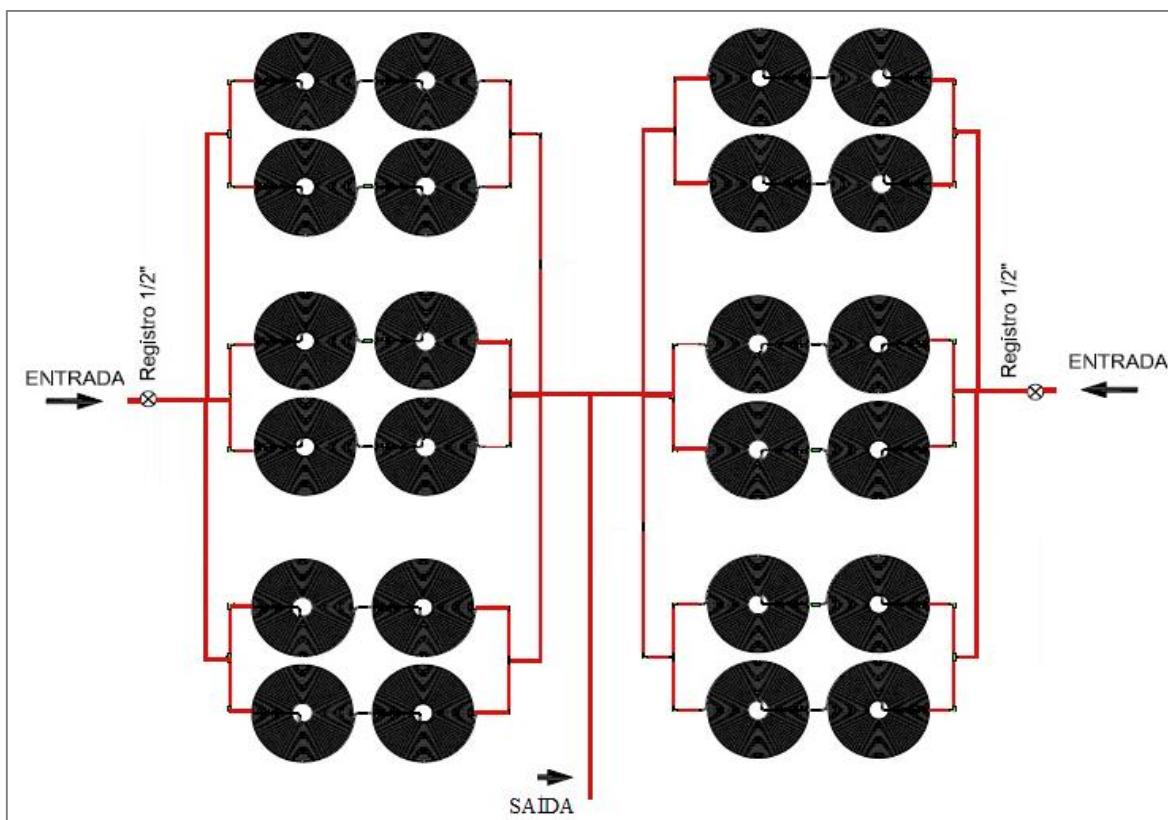
o sistema descrito na Figura 29, atuando em fluxo intermitente. Observa-se que nesta configuração foi retirada a terceira serpentina, pois a mesma não apresentava ganhos consideráveis de temperatura na vazão de 4,56 l/min.

Figura 28. Temperatura das saídas das unidades coletoras em 8/8/2015



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 29. Melhor configuração para o sistema de fluxo intermitente



Fonte: Elaborada pelo autor

Em cada arranjo em série passaria aproximadamente 1,14 l/min. Vazão que passa pelo arranjo de 12 serpentinas estudado no sistema de fluxo contínuo. Com esta alteração a área de absorção de energia passaria de 10,8 m² para 21,6 m², e quando solicitado (abertura dos chuveiros) o sistema pode fornecer uma vazão de 13,68 l/min. com temperatura média de 42,7 °C (Figura 28).

O volume resultante deste sistema poderá chegar a 5.801 litros, o que possibilitaria aproximadamente 116 banhos de 50 litros cada. Para ajudar no balanço hidráulico, o sistema passaria a ter 2 entradas de água fria e a vazão nas serpentinas seriam controladas por registros.

Propõe-se, portanto, instalar um sistema para cada Ala, desta forma o volume total coletado de água aquecida pode atingir 17.403 litros se utilizado em fluxo contínuo, assim pode se assegurar o banho dos internos com temperatura superior a 37 °C no inverno. Ressalta-se que os resultados alcançados foram de 42,7 °C em média.

5.1 Viabilidade do sistema de aquecimento de tubo de polietileno no Centro de Ressocialização

5.1.1 Custo do sistema de aquecimento por caldeiras na unidade de estudo

A unidade em estudo contou com um sistema de caldeira a gás, para aquecimento de água para banho dos internos, no período de 2001 a 2005. Neste período não havia controle da quantidade nem do tempo destinado aos banhos. A quantidade de banho e o tempo passaram a ser controlados no ano de 2014, em decorrência da solicitação feita pelo Governo do Estado de São Paulo.

Na Tabela 10 foram lançados os consumos de gás desses anos, referente a banho e a cozinha. Deve-se observar o consumo elevado em julho de 2003 - 4901 Kg, agosto de 2004 - 4175 Kg e julho de 2005 - 5391 Kg, notadamente meses de inverno.

Tabela 10. Consumo de gás (Kg) no Centro de Ressocialização

Mês	2002	2003	2004	2005	Média	2014
janeiro	1.755	2.121	1.900	928	1676	535
fevereiro	2.629	2.297	2.457	1.596	2.244,75	564
março	2.359	2.072	4.688	1.446	2.641,25	723
abril	4.863	2.171	2.580	2.101	2.928,75	1.306
maio	2.702	2.052	3.080	2.243	2.519,25	880
junho	2.006	2.345	2.597	2.709	2.414,25	714
julho	2.607	4.901	2.354	5391	3.813,25	905
agosto	2.469	2.559	4.175	2.584	2.946,75	751
setembro	2.547	2.387	1.729	2.948	2.402,75	633
outubro	2.677	2.719	1.431	2.644	2.367,75	1.605
novembro	1.936	2.351	3.453	3.734	2.868,5	714
dezembro	2.404	2.534	1.647	1.921	2.126,5	1.045
Médio do ano	2.579,5	2.542,4	2.674	2.520,4	2.579,01	865
Consumo anual	30.954	30.509	32.091	30.245	30.949,8	10.375

Fonte: Elaborada pelo autor

A média de consumo de gás para este período em que utilizavam o sistema de caldeira foi de: 2.579,50 Kg para 2002, 2.542,40 Kg para 2003, 2.674 Kg para 2004 e 2.520,40 Kg para 2005. A média do consumo destes quatro anos foi de 2.579,01 Kg de gás. O sistema de caldeiras para banho foi desativado em 2005.

Atualmente, o consumo de gás destina-se apenas à cozinha para o preparo de alimentos com consumo médio de 865 kg em 2014. Assim, fazendo a diferença desse consumo pela média (2.579,01 Kg) conclui-se que o consumo de gás com as caldeiras que aqueciam água para banhos foi de 1.679,01 Kg por mês.

Em 2015 o valor contratado pela administradora do sistema penitenciário foi R\$ 4,55 o quilo de gás. Portanto, o Estado gastaria em 2015 para o mesmo consumo médio para banho o valor de R\$ 7.639,50 por mês ou R\$ 91.674,00 por ano.

5.1.2 Custo do sistema de aquecimento por caldeiras em uma unidade similar

Em outra análise realizada para demonstrar quanto custaria em 2015 o banho dos internos, comparou-se o consumo de gás de outro Centro de Ressocialização com mesma capacidade carcerária e mesmas características. Esse Centro de Ressocialização oferta água aquecida para banho, nos meses de julho e agosto.

De acordo com os agentes administrativos deste Centro, o consumo para os meses em que não ofertam banho quente é de 640 Kg de gás em média, e 1.260 Kg nos meses referentes ao inverno para atender banho e cozinha.

A diferença resulta em 620 Kg mês de gás necessários para aquecer a água utilizada para banho. O custo referente ao banho neste Centro por meio de caldeira a gás é de R\$ 5.642,00 para os dois meses. Se fossem ofertados banhos quentes durante os doze meses o custo seria de R\$ 33.852,00.

Analisando o consumo comparativo de gás destes dois Centros de Ressocialização (CR), observou-se que os valores referentes ao CR em estudo são praticamente três vezes maiores que o consumo do CR comparado.

Sabendo que a média de detento é de 210 internos desde de 2001, conclui-se que os internos tomavam mais de um banho quente por dia, e/ou que o tempo destinado por banho foi maior.

5.2 Análise econômica das unidades coletoras

Para implantação do sistema de aquecimento no CR foi necessário manufaturar as unidades coletoras.

Como a confecção dos coletores também fez parte dos cursos de confecção e implantação de coletores solar, oferecido pelo Centro Universitário de Lins (UNILINS) ao CR, a mão de obra utilizada foi a dos próprios internos e, desta

maneira, sem custo para o projeto. A Tabela 11 resume os valores estimados para confecção das unidades coletoras.

Tabela 11. Valores estimados para confecção das unidades coletoras (data base 16/8/2015)

Quant.	Componentes	Finalidade	Valor Unitário R\$)	Custo Total (R\$)
50	metros de tubo de polietileno extrudado de ½"x2 mm (12,7 mm de diâmetro por 2mm de espessura)	Superfície absorvedora. Absorve a energia incidente e transfere uma parcela para o fluido.	0,90	45,00
1	barra de ferro ASTM-A36 ½"x1/8" (12,7mm x 3,13mm)	Estrutura para fixar os tubos de polietileno para manter a forma de espiral	12	12,00
80	centímetro de barra de ferro 3/4"x1/8" (19,5mm x 3,17 mm)	Confeccionar o diâmetro interno das unidades coletoras.	5,14	5,14
30	centímetros tubo de polietileno extrudado de 1"x2mm (32 mm x 2 mm) Adaptador de PVC marrom 32 mm x 1"	Escoar a água dos coletores ASBC para efeito de manutenção (4)	0,60	0,60
5	eletrodo 2,5 mm 6013	Soldar as estruturas para fixar os tubos em forma de espiral	0,60	3,00
20	minutos de consumo de energia referente a máquina de solda. Potência 12 KW a R\$ 0,40 o kwh.	Soldar as estruturas para fixar os tubos em forma de espiral		1,6
Valor total para confeccionar uma unidade coletora de 0,90 m²				67,34

Fonte: Elaborada pelo autor

Para análise comparativa, foram orçados os valores das unidades coletoras de espiral industrializado utilizado em piscinas a R\$ 300,00.

Se fossem adquiridas comercialmente as 12 unidades para implantar o sistema de fluxo contínuo, o custo seria de R\$ 3.600,00, e o custo do sistema intermitente seria de R\$ 4.800,00. Os valores correspondentes as unidades

confeccionadas pelos detentos são, respectivamente, R\$ 808,08 para o arranjo de 12 unidades coletoras e R\$ 1.077,44 para o arranjo de 16 unidades coletoras.

5.3 Custos para implantação dos sistemas

5.3.1 Custos para implantação do sistema de fluxo contínuo

A Tabela 12 descreve os custos para implantação do sistema de fluxo contínuo.

Tabela 12. Custo para implantação do sistema de fluxo contínuo (data base 16/8/2015)

Quant.	Descrição	Valor Unitário (R\$)	Custo Total (R\$)
12	unidade coletora	67,34	808,08
08	emendas/união para mangueira ½"	3,25	26,00
06	conexão t ½ para mangueira	2,00	12,00
36	abraçadeira inox ½" para mangueira	0,58	20,88
01	registro gaveta ½"	12,45	12,45
02	adaptador ½"	1,00	2,00
Valor total do sistema de fluxo contínuo – 10,8 m² com capacidade de aquecimento = 1.800 litros			881,41

Fonte: Elaborada pelo autor

5.3.2 Custos para implantação do sistema de fluxo Intermitente

Para implantar o sistema de fluxo intermitente analisado neste trabalho necessita-se dos materiais relacionados na Tabela 13.

Tabela 13. Custo para implantação do sistema de fluxo intermitente (data base 16/8/2015)

Quant.	Descrição	Valor Unitário (R\$)	Custo Total (R\$)
16	unidade coletora	67,34	1.077,44
12	emendas/união para mangueira ½"	3,25	39,00
6	conexão t ½" para mangueira	2,00	12,00
36	abraçadeira inox ½" para mangueira	0,71	25,52
1	registro gaveta ½"	12,45	12,45
2	adaptador ½"	1,00	2,00
Valor total do sistema de fluxo intermitente – 14,4 m² com capacidade de aquecimento = 2.000 litros			1.168,41

Fonte: Elaborada pelo autor

5.3.3 Custos para implantação do reservatório do sistema de fluxo contínuo

A relação descrita na Tabela 14 é necessária para montar o reservatório que irá coletar a água aquecida pelo sistema de fluxo contínuo. Ao lado de cada item está descrito sua finalidade. Não foi previsto neste projeto o sistema de isolamento térmico.

Tabela 14. Custo para implantação do reservatório para o sistema de fluxo contínuo (data base 16/8/2015)

continua

Quant.	Componentes	Finalidade	Valor Unitário R\$)	Custo Total (R\$)
2	caixa d'água de polietileno de 1.000 litros	armazenar a água aquecida	640,00	1.340,00
2	adaptador com flanges e anel de 32 mm	unir as unidades coletoras aos reservatórios	13,00	26,00
1	registro gaveta ½"	manutenção	12,45	12,45

conclusão

Quant.	Componentes	Finalidade	Valor Unitário R\$)	Custo Total (R\$)
2	adaptador com flanges e anel de 32 mm	para instalação das boias	13,00	26,00
2	boia plástica	repor a água ao reservatório	8,00	16,00
1	T soldável de 32 mm	interligar a saída das 2 caixas	2,20	2,20
1	lixa para ferro nº 80	limpar as superfícies soldáveis	2,38	2,38
2	tubos PVC soldável 32 mm	transportar a água aquecida aos chuveiros	30,00	60,00
2	adaptador polietileno 32mm x 12,7 mm	unir as unidades coletoras aos reservatórios	2,00	4,00
3	cotovelos 90° soldáveis 32 mm	transportar a água aquecida aos chuveiros	3,00	6,00
1	fita veda rosca 18x40	conexão roscáveis	8,10	8,10
1	cola PVC 75 gramas	conexões soldáveis	5,50	5,50
2	luva soldável de 32 mm	transportar a água aquecida aos chuveiros	1,20	2,4
Custo total do reservatório				1.510,98

Fonte: Elaborada pelo autor

5.3.4 Custos para implantação da proposta de otimização

Os materiais descritos na Tabela 15 são necessários para a implantação do sistema proposto como resultado desta pesquisa, e que atenderia a demanda de 116 banhos com volume de 50 litros por banho.

O custo para atender toda demanda do Centro de Ressocialização seria 3 vezes o valor de um sistema (R\$ 1.763,56), ou seja, R\$ 5.290,68.

Também foram obtidos orçamentos de um sistema de placa plana que atenderia 70 pessoas com um banho de 50 litros cada. O fabricante

indicou um sistema composto por 20 placas de 2 m² cada (40m²) a um custo de R\$ 18.000,00, e garante temperaturas médias anual de 55 °C.

Tabela 15. Custo para implantação do sistema proposto (data base 16/8/15)

Quant.	Descrição	Valor Unitário (R\$)	Custo Total (R\$)
24	unidade coletora	67,34	1.616,16
12	emendas/união para mangueira ½"	3,25	39,00
19	conexão t ½ para mangueira	2,00	38,00
75	abraçadeira inox ½" para mangueira	0,58	43,50
2	registro gaveta ½"	12,45	24,90
2	adaptador ½"	1,00	2,00
Valor total do sistema de fluxo contínuo – 21,6 m² com capacidade de aquecimento = 5.800 litros			1.763,56

Fonte: Elaborada pelo autor

6 CONCLUSÃO

De acordo com o objetivo do estudo foi possível analisar a viabilidade técnica e econômica de um sistema de aquecimento de água construído com mangueiras de polietileno em um conjunto de serpentinas. Este sistema já é recorrente nos meios acadêmicos, conhecidamente como Sistemas de Aquecimento Solar de Baixo Custo (SASBC).

O experimento realizado em um Centro de Ressocialização permitiu a propositura de otimização com a adoção de uma melhor configuração para o sistema de fluxo intermitente que comprovadamente aumentaria sua eficiência. Propôs-se também a instalação de um sistema em cada Ala do presídio para a coleta de um volume total de 17.403 litros que utilizado em fluxo contínuo asseguraria o banho dos detentos a uma temperatura superior a 37 °C no inverno.

A questão econômica foi realizada comparando-se o sistema proposto com o aquecimento a gás utilizado em outro Centro de Ressocialização com as mesmas características. Desta comparação chegou-se à conclusão de que o custo mensal para banho no sistema a gás é de R\$ 2.821,00 enquanto que o sistema apresentado teria custo zero, pois trata-se de energia renovável. A Taxa de Investimento de Retorno (TIR) seria de dois meses, já que a sua instalação total custaria R\$ 5.278,68.

Ressalta-se também que o sistema proposto permitiria banho quente a todos os detentos em todos os dias do ano em cumprimento as normativas nacionais e internacionais resultando na diminuição dos gastos do Estado com a saúde dos mesmos. Além disso, o sistema constitui-se em uma alternativa para geração de renda aos detentos que participaram da montagem e manutenção do sistema. Outros dados relevantes para a implantação do sistema proposto são:

- a) o custo para atender toda a demanda do Centro de Ressocialização seria 3 vezes o valor de um sistema (R\$ 1.763,56), ou seja, R\$ 5.290,68;
- b) o custo para atender toda a demanda do Centro de Ressocialização seria 3 vezes o valor de um sistema (R\$ 7.356,00), ou seja, R\$ 22.068,00 utilizando serpentinas comerciais;
- c) o custo para atender toda a demanda do Centro de Ressocialização seria 3 vezes o valor de um sistema (R\$ 18.000,00), ou seja, R\$ 54.000,00 utilizando placas planas comerciais.

Os objetivos foram atingidos na medida em que o estudo permitiu apresentar os resultados da implantação do sistema de aquecimento solar de baixo custo em uma Unidade prisional, contribuindo para a melhoria da sua infraestrutura e minimização da insalubridade da população carcerária.

Destaca-se também a integração social dos detentos através dos conhecimentos adquiridos na implantação do sistema que poderão ser utilizados após o cumprimento da sentença para geração de renda além de serem multiplicadores da tecnologia em municípios da região e também da conscientização do consumo consciente de água e energia elétrica.

Após o levantamento destes dados observa-se que o sistema de aquecimento de água desenvolvido é viável tanto técnica quanto economicamente.

Estudos futuros poderão verificar a viabilidade do sistema em outras unidades públicas (creches, hospitais e outros) que demandem uma larga utilização de água quente para banho e procedimentos.

7 REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-128 – Projeto e execução de instalações prediais de água quente. Rio de Janeiro, 30/09/1993.

AGUIAR, L. J. G. et al. Estimativa da radiação de onda longa atmosférica em área de floresta e de pastagem no sudoeste da Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, p. 215-224, 2011.

ALENCAR, F.; SAGLIETTI, J. R. C. Análise de viabilidade de uma telha coletora de energia solar de cimento amianto. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 14, n. 2, p. 37-47, 1998.

ANDRADE, T. **Consumo e cultura contemporânea: contribuições para a questão ambiental**. São Carlos: Departamento de Ciências Sociais da Universidade Federal de São Carlos/UFSCar, ago. 2008.

BECKMANN, M. Z. et al. Radiação solar em ambiente protegido cultivado com tomateiro nas estações verão-outono do Rio Grande do Sul. **Cienc. Rural**, v. 36, n. 1, p. 86-92, 2006.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 5 de outubro de 1988. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, 5/10/1988.

BRASIL. Lei nº 7.210, de 11 de julho de 1984. Institui a Lei de Execução Penal. **Diário Oficial da União**. Brasília (DF), 13/7/1984.

BRASIL. Conselho Nacional de Política Criminal e Penitenciária. Resolução nº 14/94, de 11 de novembro de 1994. **Diário Oficial da União**. Brasília (DF), 12/11/1994.

_____. Lei n. 9.394 de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. **Diário Oficial da União**. Brasília (DF), 23/1/1996.

_____. CÂMARA DE EDUCAÇÃO BÁSICA/ CONSELHO NACIONAL DE EDUCAÇÃO. Parecer CNE nº 4 de 16 de fevereiro de 2000. Aprova as Diretrizes Operacionais para a Educação Infantil. **Diário Oficial da União**. Brasília (DF), 6/7/2000.

CHAVES, M. A.; ESCOBEDO, J. F. A software to process daily solar radiation data. **Renewable Energy**, v. 19, n.1–2, p. 339-344, 2000.

DAL PAI, E. **Modelos de estimativa da radiação atmosférica em função da temperatura, umidade e dos índices radiométricos Kt e Kd para Botucatu-SP**. 2014. Tese (Doutorado em Agronomia (Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu.

DAL PAI, A.; ESCOBEDO, J. F. Influência da massa ótica nos valores instantâneos da fração solar difusa. **Energia na Agricultura**, v. 16, n.3, p. 1-6, 2001.

DPE/SP. Defensoria Pública de SP obtém liminar que determina fornecimento de água aquecida para detentos no Estado. 5/11/2013. Disponível em: <<http://www.gecap.direitorp.usp.br/index.php/noticias/269-defensoria-publica-de-sp-obtem-liminar-que-determina-fornecimento-de-agua-aquecida-para-detentos-no-estado>>. Acesso em: 15 ago. 2015.

ESCOBEDO, J. F. et al. Modeling hourly and daily fractions of UV, PAR and NIR to global solar radiation under various sky conditions at Botucatu, Brazil. **Applied Energy**, v. 86, p. 299-309, 2009.

GOMES, E. N. et al. Estimativa da radiação direta na incidência horária, diária e mensal em função do índice de claridade (KT). In; I CBENS – I Congresso Brasileiro de Energia Solar ABENS – Associação Brasileira de Energia Solar. Fortaleza, 8 a 11 abr. 2007. **Anais....** Fortaleza, 2007.

INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Normais climatológicas do BRASIL 1961-1990. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>>. Acesso em 15 ago. 2015.

IQBAL, M. **An introduction to solar radiation**. New York: Academic Press, 1983. 390p.

KOTTEK, M. et al. World Map of the Köppen-Geiger climate classification update. **Meteorologische Zeitschrift**, Berlin, v. 15, n. 3, p. 259-263, June 2006.

LIU, B. Y. H.; JORDAN, R. C. The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation. **Solar Energy**, Oxford, v. 3, n. 4, p. 1-19, 1960.

OLIVEIRA; R. A.; MOURA, M. R. Consumo de energia elétrica: uma análise de fonte alternativa de coletor solar de baixo custo. **Persp. Online: hum. & sociais aplicada**, Campos dos Goytaxazes, v. 13, n. 5, p.15-26, 2015

ONU. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Regras Mínimas para o Tratamento dos Reclusos – 1955, adotadas pelo Primeiro Congresso das Nações Unidas sobre a Prevenção do Crime e o Tratamento dos Delinquentes, realizado em Genebra em 1955, e aprovadas pelo Conselho Econômico e Social das Nações Unidas através das suas resoluções 663 C (XXIV), de 31 de julho de 1957 e 2076 (LXII), de 13 de maio de 1977. Resolução 663 C (XXIV) do Conselho Econômico e Social. Genebra, 31/8/55.

PATTANASETHANON, S. et al. All sky modeling daylight availability and illuminance/irradiance on horizontal plane for Mahasarakham, Thailand. **Energy Conversion & Management**, Belton, v. 48, pp. 1601-1614, 2007.

PINHEIRO, N. A. M.; SILVEIRA, R. M. C. F.; BAZZO, W. A. O contexto científico-tecnológico e social acerca de uma abordagem crítico-reflexiva: perspectiva e enfoque. **Revista Iberoamericana de Educación**, v. 1, n. 49, 25 mar. 2009

REIS, M. R. O.; LEITE, A. A. F.; BARBOSA, T. N. Modelo teórico de um coletor solar de placa plana mesclando materiais virgens com materiais reciclados (CSSR). In: XXXI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. **Inovação Tecnológica e Propriedade Intelectual: desafios da Engenharia de Produção na consolidação do Brasil no cenário econômico mundial**, 4 a 7 out. 2011, Belo Horizonte, MG, Brasil, 2011,

SANTOS, J. G. et al. Avaliação de um coletor solar plano em argamassa de traço simples para aplicações rurais e urbanas periféricas. In: REUNIÃO ANUAL DA SBPC, Ciência e Sobrevivência. 13., 1991, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBPC, 1991, p. 95-96.

SÃO PAULO. Constituição Estadual. Atualizada até a Emenda nº 39, de 28/1/2014. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**. São Paulo, sala das Sessões, 5 out. 1989.

SINGH, J. Heat transfer fluids and systems for process and energy applications. New York: Marcel Dekker, Inc., 1985.

SILVA, L. A. **Coletor de polietileno**: uma alternativa de aproveitamento de energia solar de baixo custo. 1992. 54 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na

Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

SILVEIRA, R. M. C. F.; BAZZO, W. A. Ciência, tecnologia e sociedade: a relevância do enfoque CTS para o contexto do ensino médio. **Revista Ciência & Educação**, São Paulo, 13, p. 71-84, 2007.

SOUZA, A. P. et al. Annual evolution of global, direct and diffuse radiation and fractions in tilted surfaces. **Engenharia Agrícola**, v. 32, p. 247-260, 2012.

TERAMOTO, E. T.; ESCOBEDO, J. F. Análise da frequência anual das condições de céu em Botucatu, São Paulo. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 9, p.985–992, 2012.

TIGRE. Produtos. Disponível em: <http://www.tigre.com.br/pt/produtos_unico.php?cpr_id=7&cpr_id_pai=4&lnh_id=4&prd_id=660>. Acesso em: 21 out. 2015.

VARELLA, F. K. M. **Tecnologia solar residencial: inserção de aquecedores solares de água no Distrito de Barão Geraldo – Campinas**. 2004. 136 f. Tese (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

WOELZ, A. T. Aquecedor solar de baixo custo (ASBC): uma alternativa custo-efetiva. Proceedings of the 4th Encontro de Energia no Meio Rural, Campinas, 2002. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022002000100019&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 21 abr. 2016.