

PEDRO AURELIANO TOSTES PINTÃO

PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA
CONSTRUÇÃO DE UMA CERVEJARIA ARTESANAL UTILIZANDO
ENERGIA SOLAR TÉRMICA E FOTOVOLTAICA COMO FONTES
ENERGÉTICAS**

SÃO PAULO

2012

PEDRO AURELIANO TOSTES PINTÃO

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA
CONSTRUÇÃO DE UMA CERVEJARIA ARTESANAL UTILIZANDO
ENERGIA SOLAR TÉRMICA E FOTOVOLTAICA COMO FONTES
ENERGÉTICAS**

Monografia apresentada ao Programa de
Educação Continuada da Escola
Politécnica da USP para conclusão do
curso de especialização em Energias
Renováveis, Geração Distribuída e
Eficiência Energética

Orientador: Prof. Dr. Cláudio Roberto de
Freitas Pacheco

SÃO PAULO
2012

FICHA CATALOGRÁFICA

Pintão, Pedro Aureliano Tostes

Estudo de viabilidade técnica e econômica para construção de uma cervejaria artesanal utilizando energia solar térmica e fotovoltaica como fontes energéticas / P.A.T. Pintão. -- São Paulo, 2013. 59 p.

Monografia (Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Programa de Educação Continuada em Engenharia.

1. Energia solar 2. Energia térmica 3. Energia fotovoltaica 4. Fontes naturais de energia I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Programa de Educação Continuada em Engenharia II. t.

Resumo

Este trabalho analisa a viabilidade e propõe a implantação de sistemas captação de energia solar térmica e fotovoltaica para alimentar o processo de produção de uma cervejaria artesanal de pequeno porte.

Procurou-se analisar detalhadamente o processo de produção de cerveja e os equipamentos comumente utilizados em cervejarias deste tipo, de modo que os sistemas de energia solar propostos possam ser integrados ou acoplados não só em um projeto de uma nova cervejaria, mas também em cervejarias já em operação.

Buscou-se a utilização de sistemas de energia solar de tecnologia conhecida e facilmente disponível não só em outros países, mas também no Brasil de forma a obter uma solução com boa viabilidade de aplicação.

Lista de Figuras

Figura 1 - Irradiação solar global horizontal – Brasil. Fonte: SWERA.....	11
Figura 2 - Irradiação solar global horizontal – Mundo. Fonte: Meteonorm	12
Figura 3 - Coletor solar térmico de tubo a vácuo.....	14
Figura 4 - Aplicação de aquecedor solar de tubo a vácuo.....	14
Figura 5 - Células poli e monocristalinas e painel fotovoltaico.....	15
Figura 6 – Esquema típico de um sistema de energia fotovoltaica isolado ou off-grid	16
Figura 7 - Preço de painel fotovoltaico em US\$/Wp (fonte: solarbuzz)	16
Figura 8 - Esquema típico de um sistema fotovoltaico conectado a rede (Grid Tie) .	17
Figura 9 - Aspectos básicos de uma cervejaria artesanal com energia tradicional ...	18
Figura 10 - Aspectos básicos de uma cervejaria artesanal com energia solar	19
Figura 11 - Fonte de Energia de uma cervejaria Tradicional x Solar	20
Figura 12 - Processo de Produção de Cerveja.....	22
Figura 13 - Sistema de resfriamento dos tanques de fermentação/maturação	33
Figura 14 - Sistema de resfriamento do mosto.....	34
Figura 15 - Tecnologia recomendada de coletores por faixa de temperatura (fonte: POSHIP)	38
Figura 16 - Integração do aquecimento solar em processos industriais (fonte: POSHIP)	39
Figura 17 - Sistema de aquecimento solar com armazenagem (fonte: POSHIP)	39
Figura 18 - Aquecimento na cervejaria tradicional.....	40
Figura 19 - Aquecimento na cervejaria solar	41
Figura 20 - Esquema de instalação dos reservatórios térmicos	45
Figura 21 - Instalação de sistema fotovoltaico trifásico em rede tipo split-phase (fonte: SMA).....	49
Figura 22 - Arranjo fotovoltaico	49

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Dimensionamento básico de equipamentos para uma cervejaria de 10mil L/mês	21
Tabela 2 - Consumo de vapor na Mosturação.....	24
Tabela 3 - Consumo de vapor na Clarificação.....	25
Tabela 4 - Consumo de vapor na Fervura.....	26
Tabela 5 - Consumo de vapor na Pasteurização.....	30
Tabela 6 - Consumo de energia na produção de cerveja, em suas diversas formas	31
Tabela 7 - Consumo de gás no gerador de vapor	32
Tabela 8 - Consumo de energia elétrica na central de água gelada.....	34
Tabela 9 - Consumo de energia elétrica geral na cervejaria	35
Tabela 10 - Irradiação solar Global Horizontal média mensal para Ribeirão Preto/SP em kWh/m ² /dia.....	36
Tabela 11 - Cálculo da radiação solar incidente no plano inclinado $\beta = 21^\circ$	37
Tabela 12 – Resumo da radiação solar global média no plano inclinado em Ribeirão Preto/SP	37
Tabela 13 - Consumo de vapor e gás na cervejaria tradicional e solar	42
Tabela 14 - Necessidade diária de energia térmica solar no processo.....	43
Tabela 15 - Capacidade dos reservatórios térmicos	45
Tabela 16 - Redução do consumo de energia na cervejaria.....	56
Tabela 17 - Fração solar do fornecimento de energia na Cervejaria Solar	56
Tabela 18 - Resumo análise financeira	57

Sumário

1. Introdução.....	9
2. Tutorial.....	11
2.1. Fonte Energética: Energia Solar	11
2.2. Aproveitamento Térmico da Energia Solar	13
2.2.1. Tubo a vácuo.....	13
2.3. Conversão elétrica da Energia Solar – Efeito Fotovoltaico	15
3. Caracterização da Cervejaria.....	18
3.1. Conceituação da Cervejaria com Energia Tradicional e com Energia Solar	18
3.2. Definição do Protótipo de Estudo Pela Capacidade de Produção	20
3.3. Especificação da Cervejaria Objeto de Estudo.....	21
3.4. Processo de Produção de Cerveja	22
3.5. Consumo de energia na cervejaria.....	22
3.5.1. Consumo de energia no processo	23
3.5.2. Produção de vapor para o processo	31
3.5.3. Central de água gelada	32
3.5.4. Consumo de energia elétrica geral da cervejaria	34
3.5.5. Resumo do consumo energético da cervejaria	35
4. Sistema de Energia Solar	36
4.1. Avaliação do Potencial Energético Solar.....	36
4.2. Campo de Coletores Térmicos.....	37
4.2.1. Escolha do tipo de sistema de Aquecimento Solar	37
4.2.2. Consumo de energia e consumo de gás.....	41
4.2.3. Área coletora necessária	42
4.2.4. Reservatório Térmico	44
4.2.5. Especificação dos Equipamentos	45

4.3.	Campo de Módulos Fotovoltaicos	46
4.3.1.	Área coletora necessária	46
4.3.2.	Especificação dos Equipamentos	48
4.3.3.	Arranjo dos painéis e Inversores.....	49
5.	Análise Financeira	50
5.1.	Investimento.....	50
5.1.1.	Energia Solar Térmica	50
5.1.2.	Energia Solar Fotovoltaica.....	51
5.2.	Custo Operacional e Manutenção	51
5.3.	Receitas (Economias)	51
5.4.	Fluxo de Caixa e Indicadores Financeiros.....	52
5.4.1.	Solar Térmico	52
5.4.2.	Solar Fotovoltaico	53
6.	Conclusão e Considerações Finais	55
6.1.	Outras Propostas para a Cervejaria Solar	57
7.	Bibliografia	58
8.	Anexos.....	60

1. Introdução

Os primeiros registros de produção de cerveja são de cerca de 6.000 a.C. Apesar das mudanças de algumas técnicas ao longo do tempo, o processo básico de fabricação se mantém relativamente inalterado há muito tempo.

Uma parte da energia utilizada no processo de fabricação de cerveja é para gerar calor para o processo de fabricação (cozimento e fervura do mosto). Enquanto antigamente, a principal fonte do calor utilizado era proveniente da queima de madeira, hoje é utilizado Gás Natural, GLP e energia elétrica.

A proposta desta monografia é analisar a utilização de uma nova fonte energética para o processo de produção de cerveja em uma cervejaria de pequeno porte. A Energia Solar pode ser utilizada como fonte de energia térmica e energia elétrica para o processo.

Como se trata de uma cervejaria de pequeno porte, equipamentos disponíveis no mercado para produção de energia solar térmica e elétrica devem ser suficientes para tornar a cervejaria autossuficiente em termos de consumo de energia. No entanto, a hipótese de produzir parcialmente a energia consumida também será analisada.

Ao final, espera-se definir um sistema de captação de energia solar térmica e fotovoltaica que seja capaz de fornecer energia para a cervejaria e a partir daí fazer análises sobre vantagens e desvantagens técnicas ambientais e econômicas da construção da cervejaria de energia solar em detrimento da cervejaria típica que use energia tradicional.

Como delimitação do escopo desta monografia, será feita uma análise detalhada do processo de fabricação de cerveja em uma cervejaria típica de pequeno porte.

A partir da análise do processo de produção, será feito um levantamento das fontes energéticas utilizadas dentro da cervejaria, incluindo tanto as etapas diretas de produção como energia utilizada de forma indireta como iluminação outros equipamentos.

Ao identificar as fontes energéticas, será feita uma análise sobre a possível substituição das fontes energéticas (total ou parcialmente) pela fonte solar, analisando os equipamentos mais adequados para a substituição.

Por fim, será feita uma análise de vantagens e desvantagens, levando-se em conta aspectos técnicos da fabricação de cerveja, aspectos ambientais e econômicos comparando a cervejaria tradicional com a cervejaria solar.

2. Tutorial

2.1. Fonte Energética: Energia Solar

A radiação solar tem cada vez mais sido considerada como fonte alternativa de energia pelo aumento da viabilidade de sua aplicação para fins úteis. É uma fonte permanente de energia natural que, junto com outras formas de energia renovável, tem enorme potencial para uma ampla variedade de aplicações, pois é abundante e acessível em praticamente todas as regiões do planeta Terra.

A energia solar pode fornecer cerca de 800.000 EJ/ano – cerca de 1.500 vezes o consumo mundial de energia primária em 2010. Seu potencial é muitas vezes maior do que qualquer outra fonte de energia conhecida.

O potencial energético solar do Brasil é favorável se comparado com a maior parte do planeta. Segundo os atlas solarimétricos disponibilizados pela Meteonorm e pelo INPE, a radiação solar global no Brasil se situa entre 1.400 kWh/m²/ano (Sul) e 2.300 kWh/m²/ano (interior do Nordeste). Se compararmos com a Alemanha (país que com maior potência instalada em painéis fotovoltaicos), verificamos uma grande vantagem do potencial brasileiro. No território alemão incide radiação entre 940 kWh/m²/ano e 1.300 kWh/m²/ano.

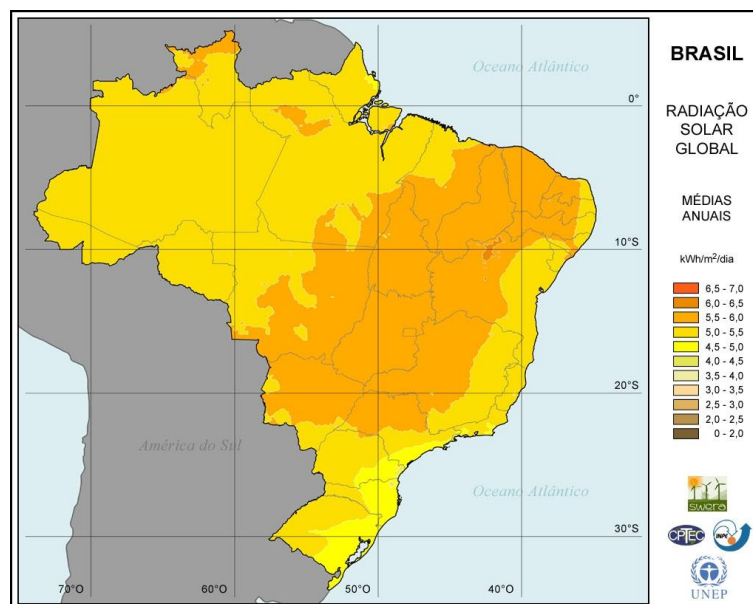


Figura 1 - Irradiação solar global horizontal – Brasil. Fonte: SWERA

Yearly sum of Global Horizontal Irradiation (GHI)

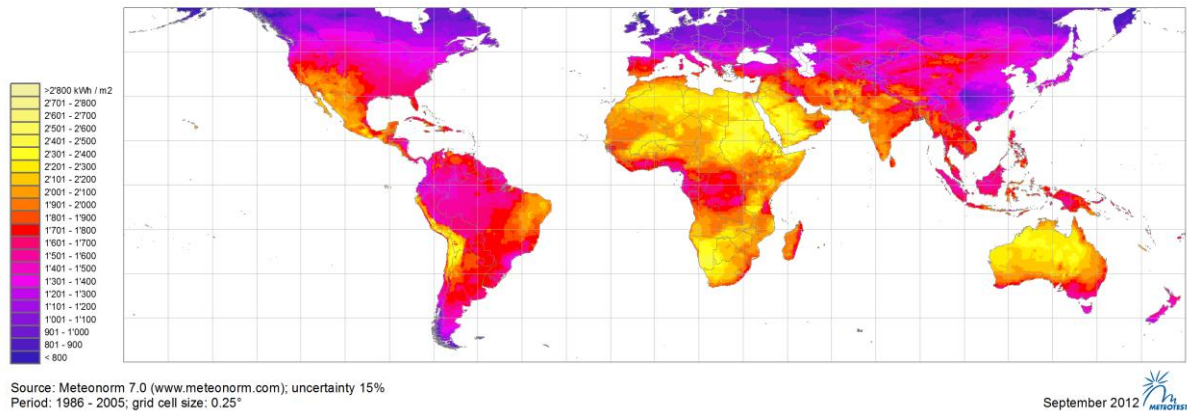


Figura 2 - Irradiação solar global horizontal – Mundo. Fonte: Météonorm

Diante da necessidade global de fontes renováveis que possam suprir o consumo de energia de forma sustentável, a energia solar tem se apresentado como uma alternativa viável para uma infinidade de aplicações. Tecnologias já muito conhecidas têm sido aprimoradas e se tornado mais acessíveis em termos tecnológicos e econômicos. Os painéis fotovoltaicos, por exemplo, tiveram em apenas um ano, queda de preço superior a 30% no mercado internacional. O aumento no custo de outras fontes de energia também ajuda a tornar a energia solar mais atrativa.

Do ponto de vista das aplicações da energia solar, destacam-se:

- Arquitetura e Urbanismo – técnicas de arquitetura buscam o conforto térmico e utilização da luz solar através da orientação relativa ao sol, sombras selecionadas, proporções favoráveis de área x volume.
- Agricultura – otimização da captura da energia solar para otimizar a produtividade de plantas
- Iluminação natural – utilização da luz do sol para iluminação durante o dia
- Aplicações térmicas – utilização da energia solar para aquecimento de água, de ambientes, calor de processo ou resfriamento de ambiente
- Energia Elétrica – conversão da energia solar em energia elétrica, seja através da conversão direta fotovoltaica ou da conversão indireta pela produção de vapor e utilização de gerador elétrico acoplado a turbinas a vapor.

O especial interesse deste trabalho é a utilização da energia solar para geração de calor de processo e geração de energia elétrica fotovoltaica para abastecer os equipamentos elétricos utilizados na fabricação de cerveja.

2.2.Aproveitamento Térmico da Energia Solar

Para o aproveitamento térmico da energia solar, utilizam-se comumente os coletores solares capazes de absorver a energia sob a forma de calor, a partir da radiação solar incidente no mesmo. Os coletores solares são aquecedores de fluidos e podem ser classificados em coletores concentradores e coletores planos em função da existência ou não de dispositivos de concentração da radiação solar. O fluido aquecido é mantido em reservatórios termicamente isolados até o seu uso final.

Os coletores solares planos são largamente utilizados para aquecimento de água para uso residencial ou comercial.

Para aplicações industriais como no caso da cervejaria, é muito frequente a necessidade de obtenção de temperaturas mais altas do que as temperaturas que os coletores planos mais comuns são capazes de proporcionar. Neste caso, os coletores conhecidos como tubo a vácuo, com “heat pipe”, que possuem maior eficiência são boa alternativa e, portanto, foram escolhidos para uso na cervejaria solar.

2.2.1. Tubo a vácuo

Os coletores de energia solar em forma tubular com sistema de isolamento térmico a vácuo ganharam desenvolvimento na Alemanha, na década de 90.

Estes coletores de tubo a vácuo recebem este nome devido ao isolamento térmico existente em seus coletores solares. São coletores compostos basicamente por dois tubos concêntricos, um interno ao outro, formando vácuo entre eles, que é o melhor isolante térmico existente.

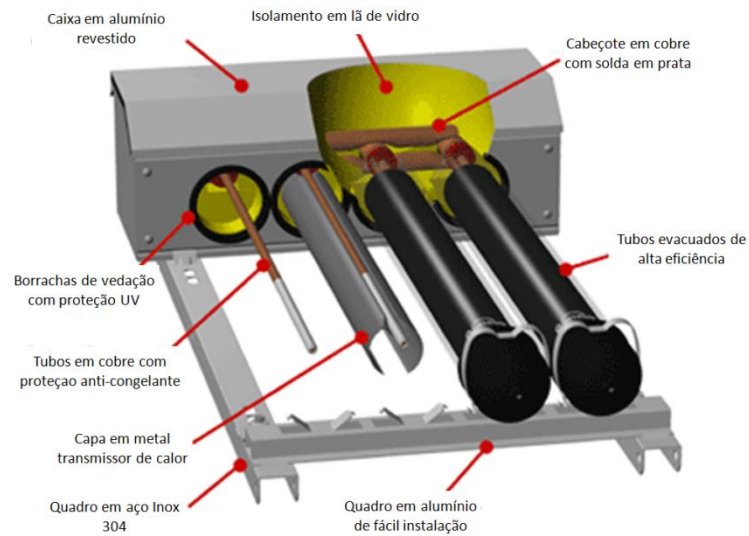


Figura 3 - Coletor solar térmico de tubo a vácuo

Os coletores são confeccionados em vidro com alta capacidade de absorção e possuem formato tubular que converge e amplia os raios solares para o seu interior recebendo radiação solar perpendicular na maior parte do dia.

Devido a sua grande eficiência em isolamento térmico e enorme absorção da energia solar incidente, existem coletores solares a vácuo que atingem temperaturas altas e aquecem a água até à 100°C.



Figura 4 - Aplicação de aquecedor solar de tubo a vácuo

2.3. Conversão elétrica da Energia Solar – Efeito Fotovoltaico

Quando a radiação solar é diretamente convertida em energia elétrica através do efeito fotovoltaico, chamamos de energia solar fotovoltaica.

O efeito fotovoltaico foi reportado inicialmente por Edmund Becquerel em 1839. Somente em 1954 a primeira célula solar de Silício foi reportada por Chapin, Fuller e Pearson, cuja eficiência de conversão era de 6%. Hoje, as células fotovoltaicas comerciais possuem eficiência de cerca de 16-18% e os painéis fotovoltaicos (associação de células em série/paralelo) possuem eficiência final de cerca 14-16%.



Figura 5 - Células poli e monocristalinas e painel fotovoltaico

A energia fotovoltaica tem sido utilizada no Brasil há muitos anos em áreas remotas onde não existe acesso à energia elétrica e o custo para levar a rede de distribuição de energia é muito elevado. Neste caso, são utilizadas baterias para o armazenamento da energia.

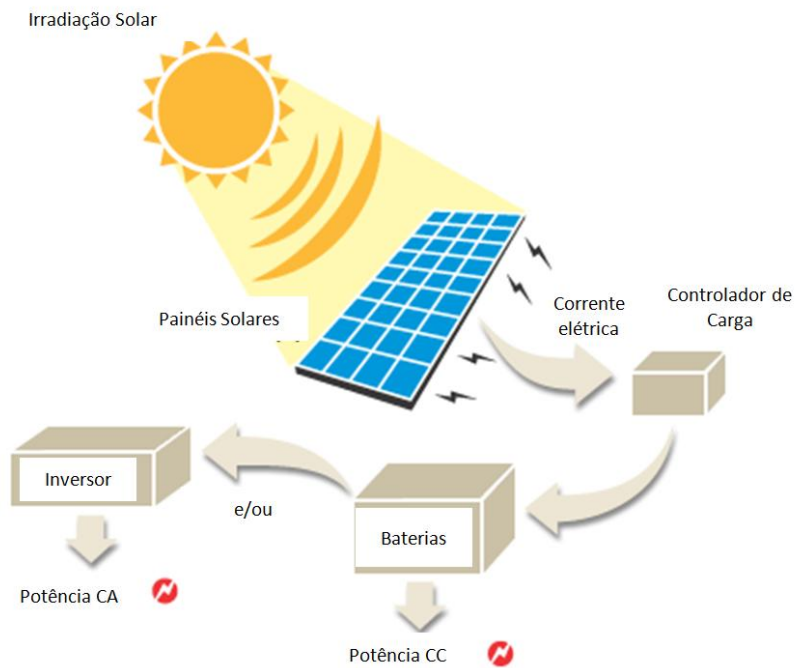


Figura 6 – Esquema típico de um sistema de energia fotovoltaica isolado ou off-grid

Em diversos países do mundo, no entanto, a energia fotovoltaica é utilizada de forma integrada a rede elétrica, consolidando-se como uma alternativa de fonte energética, mesmo para locais onde já existe acesso à eletricidade.

Com a queda dos preços dos painéis, os sistemas fotovoltaicos têm se tornado cada vez mais utilizados.

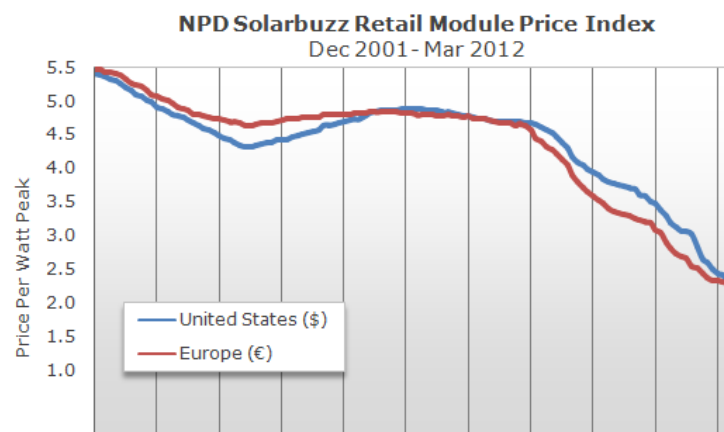


Figura 7 - Preço de painel fotovoltaico em US\$/Wp (fonte: solarbuzz)

Em abril de 2012, a ANEEL aprovou a Resolução Normativa Nº 482, que regulamenta a geração distribuída de energia no Brasil, em especial a energia fotovoltaica. Esta resolução abre caminho para que qualquer pessoa possa produzir parcial ou integralmente a energia elétrica para auto-consumo.

Uma das fontes de energia da cervejaria será a energia fotovoltaica. O sistema a ser instalado é um sistema “*Grid-Tie*” ou “conectado a rede”, considerando as diretrizes estabelecidas pela resolução Nº 482.

Os componentes básicos deste sistema são:

Módulos ou Painéis Fotovoltaicos: são dimensionados de acordo com a quantidade necessária para atender o consumo de energia do local.

Inversores *Grid-Tie*: convertem a corrente contínua produzida pelos painéis fotovoltaicos em corrente alternada e sincronizam a energia produzida com a rede elétrica. Deve ser dimensionado de acordo com a quantidade de painéis do sistema e ser compatível com a rede elétrica do local da instalação.

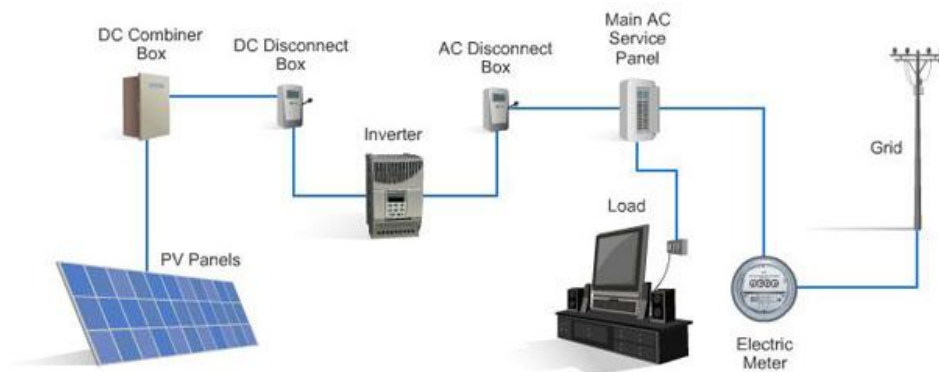


Figura 8 - Esquema típico de um sistema fotovoltaico conectado a rede (Grid Tie)

3. Caracterização da Cervejaria

3.1. Conceituação da Cervejaria com Energia Tradicional e com Energia Solar

A Figura 9 - Aspectos básicos de uma cervejaria artesanal com energia tradicional mostra de maneira esquemática os aspectos básicos de uma cervejaria artesanal. Observa-se que o processo de fabricação da cerveja transforma a matéria prima utilizando os recursos disponíveis. As máquinas e equipamentos consomem energia na forma de gás e de energia elétrica disponível na rede de distribuição. O Gás é utilizado para abastecer a caldeira responsável pela produção de vapor utilizado no processo produtivo para fornecer calor e aquecimento.

A energia elétrica é utilizada nos diversos equipamentos, motores elétricos, equipamentos de controle e iluminação.

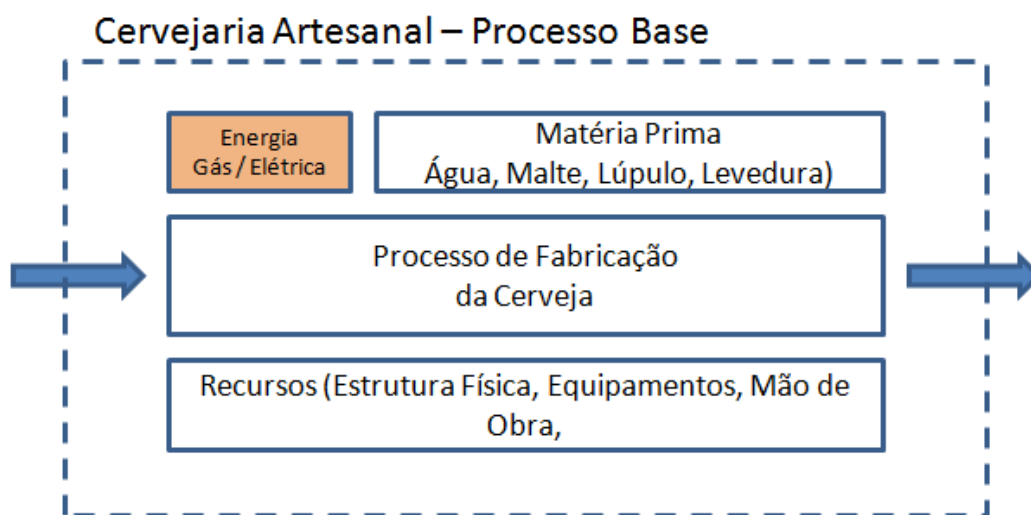


Figura 9 - Aspectos básicos de uma cervejaria artesanal com energia tradicional

Em nosso estudo apresentamos os aspectos a considerar pelo fato de introduzir-se a alteração do quadro de energia conforme mostrado na Figura 10 - Aspectos básicos de uma cervejaria artesanal com energia solar

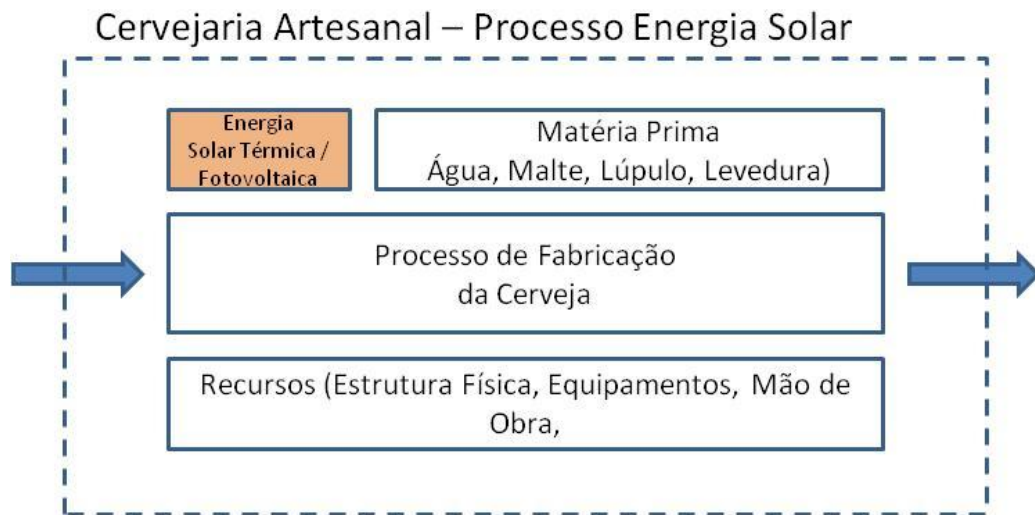


Figura 10 - Aspectos básicos de uma cervejaria artesanal com energia solar

A introdução da energia solar não implica em alteração nos equipamentos ou processos utilizados para a produção de cerveja. O funcionamento da energia solar, pelo contrário, irá apenas atenuar o consumo de gás e energia elétrica na cervejaria como um todo. A expectativa inicial é que mais de 50% da energia térmica e até 100% da energia elétrica podem ser substituídos pela energia solar.

A Figura 11 - Fonte de Energia de uma cervejaria Tradicional x Solar mostra que o sistema tradicional de energia e o processo de fabricação permanecem inalterados quando introduzimos a energia solar como a fonte principal de energia. Apenas o fluxo de energia principal passa a fluir a partir da fonte solar.

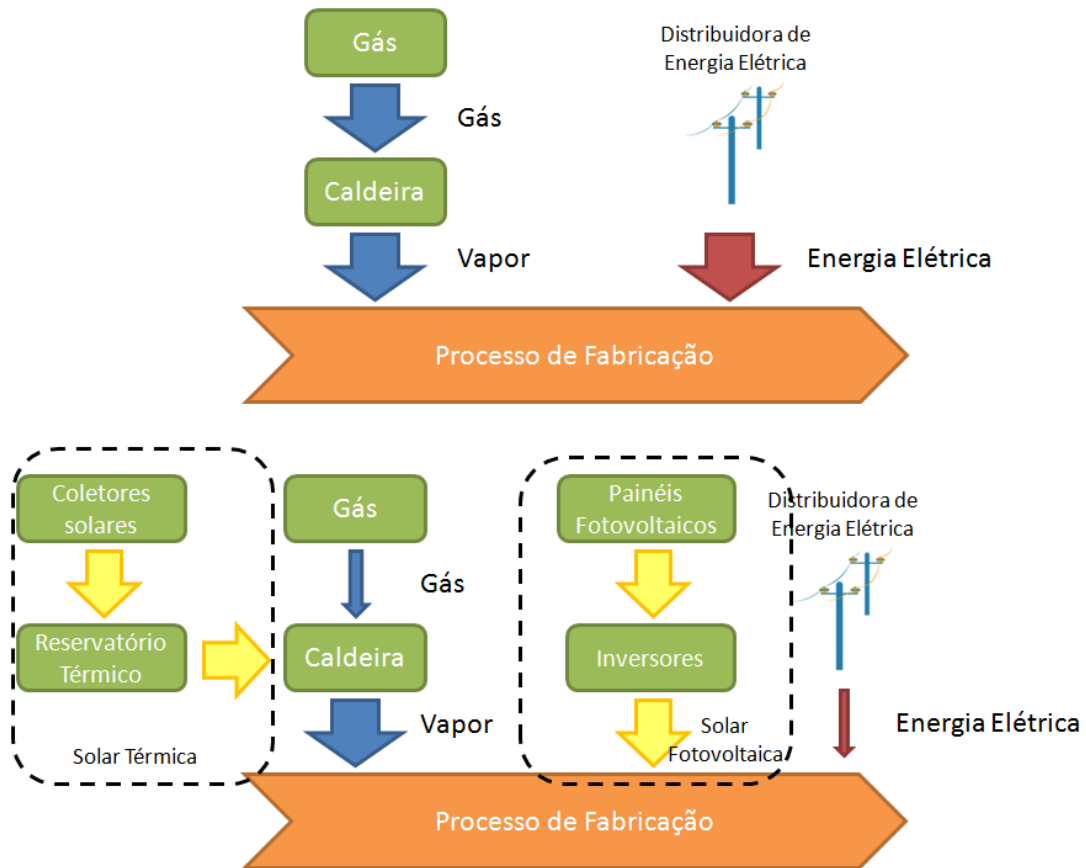


Figura 11 - Fonte de Energia de uma cervejaria Tradicional x Solar

3.2. Definição do Protótipo de Estudo Pela Capacidade de Produção

Não existe uma definição legal ou formal no Brasil para o que viria a ser uma nanocervejaria, microcervejaria ou uma cervejaria artesanal. Sem dúvida o fator mais importante para essas definições é a capacidade de produção da planta produtora de cerveja. Pesquisando em blogs que falam sobre cervejarias de pequeno porte, chega-se mais ou menos a um consenso que cervejarias com capacidade superior a 200mil L/mês não são mais consideradas microcervejarias. As cervejarias artesanais são todas aquelas que não possuem produção em larga escala e as nanocervejarias são aquelas de baixíssima produção mensal, podendo ser inclusive caseiras ou feitas em estabelecimentos chamados “brewpubs”, local onde se consome 100% da cerveja produzida.

Este projeto não está centrado no volume de produção em si, mas em uma avaliação da viabilidade de se usar energia solar em cervejarias de pequeno porte. Fixamos o volume de produção em 10.000L de cerveja por mês, que servirá de base para todos os cálculos e avaliações que serão feitos neste projeto.

Em qualquer cervejaria, o volume de produção sofre variações ao longo do tempo oriundas de variações na demanda. A capacidade de produção, portanto, deve ser flexível o suficiente para absorver tais variações. Normalmente, os equipamentos que limitam a capacidade de produção são os fermentadores, pois são os equipamentos utilizados no processo de fermentação e maturação que dura um longo período dentro do ciclo de produção da cerveja.

Assim sendo, quando estabelecemos a capacidade de produção da cervejaria em 10.000 L/mês, significa que esta é a capacidade dada pelos fermentadores. Os demais equipamentos da cervejaria estarão abaixo de sua capacidade máxima, podendo absorver algumas variações na produção. Podemos ter uma panela de brassagem, por exemplo, com capacidade de 500L, que irá produzir no máximo 1 batelada por dia (teoricamente, este equipamento poderia produzir até um máximo de 3 bateladas por dia). Para aumentar a capacidade da cervejaria, portanto bastaria aumentar o número de fermentadores.

Quando pensamos no consumo de energia, este está diretamente ligado ao volume de produção de cerveja e não exatamente à capacidade dos equipamentos.

3.3.Especificação da Cervejaria Objeto de Estudo

A cervejaria objeto de estudo poderá ser representada pela especificação seguinte

Volume de Produção da Cervejaria: 10.000 L/mês

Dimensionamento básico dos equipamentos baseados no volume de produção mensal de cerveja, considerando 20 dias de fermentação/maturação e capacidade máxima de 2 brassagens/fervuras diárias e 21 dias/mês é mostrado na Tabela 1.

Equipamento	Cap. Unitária	Qtde	Cap. Mensal	Ociosidade
Panela Brassagem	500 L	1	21.000 L	~52%
Panela Fervura	500 L	1	21.000 L	~52%
Fermentador	1.000 L	7	10.500 L	~5%

Tabela 1 - Dimensionamento básico de equipamentos para uma cervejaria de 10mil L/mês¹

¹ Baseado no volume de produção mensal de cerveja, considerando 20 dias de fermentação/maturação e capacidade máxima de 2 brassagens/fervuras diárias e 21 dias úteis/mês

3.4. Processo de Produção de Cerveja

Para determinação do consumo de energia térmica e elétrica no processo de produção, vamos primeiro descrever o processo básico de produção de cerveja pela Figura 12 - Processo de Produção de Cerveja.



Figura 12 - Processo de Produção de Cerveja

3.5. Consumo de energia na cervejaria

Para determinar o consumo total de energia da cervejaria adotamos a premissa inicial de uma produção de 10mil L/mês. Dividimos o consumo de energia em:

- 1) Variável ou diretamente ligado ao volume de produção de cerveja. Esta é a principal parcela da energia e vamos defini-la através do consumo específico

de cada etapa do processo em $\text{kg}_{\text{vp}} / \text{L}_{\text{cerv}}$ (quilogramas de vapor vindo da caldeira por Litros de cerveja produzida) para a energia térmica e $\text{kWh}_{\text{ee}} / \text{L}_{\text{cerv}}$ (kilowatt-hora de energia elétrica por Litros de cerveja produzida)

- 2) Consumo geral da cervejaria, representado pelo consumo de energia elétrica gasto com iluminação, computadores, ar-condicionado e demais equipamentos elétricos. Esta parcela será determinada através do consumo em $\text{kWh}_{\text{ee}}/\text{mês}$ ((kilowatt-hora de energia elétrica consumida por mês)

3.5.1. Consumo de energia no processo

A estimativa de consumo de energia em cada etapa do processo foi feita considerando bateladas de produção de 500L de cerveja.

A produção total de cerveja (10.000L / mês) corresponde a 20 bateladas / mês, sendo que em um dia de produção são feitas duas bateladas de 500L para que se possa preencher um fermentador de 1.000L

Nas etapas 1 a 5 do processo → 500L

Etapas 6 a 10 do processo → 1.000L (acumula duas bateladas)

1. Moagem do Malte

Descrição:	Moagem dos grãos de malte
Equipamento Utilizado:	Moinho de cereais com motor elétrico 3/4 cv e capacidade de moagem 150kg/h

Foto:



Características do processo:	Capacidade: 150kg/h Potência: 3/4cv ou 562W Consumo: 3,75Wh/kg _{moído} Consumo de malte: 0,3kg / L_{cerv}
-------------------------------------	---

Consumo de Energia**Térmica:**

-

Consumo de Energia**Elétrica:**562Wh/500L_{cerv} ou 1,125Wh/L_{cerv}**2. Mosturação**

Para calcular o consumo de vapor, utilizamos os dados fornecidos pelo fabricante da caldeira (Caldeira Geradora de Vapor à Gás GLP – fabricante Etna Modelo GV-90 – Anexo I). Segundo os dados do fabricante, esta caldeira fornece 90Kg de vapor/h – saturado a 8kg/cm² e 170°C, fornecendo 60.000kcal/h.

Na Tabela 2, calculamos a taxa média de consumo da capacidade de caldeira.

Mosturação	Valor	Unidade
Massa de Água	500	Kg
Temperatura Inicial	22	°C
Temperatura Final	80	°C
Tempo Total	1,5	h
Calor específico da água	1	Kcal/kg.°C
Consumo de energia	19.333	kcal/h
Perdas por troca de calor com o ambiente	15	%
Consumo de energia no processo /h	22.233	kcal/h
Consumo total de energia no processo	33.350	kcal
Necessidade de Vapor	33	Kg/h
Necessidade total de Vapor	50	Kg
Capacidade da Caldeira	90	Kg/h
Taxa de ocupação da capac. da Caldeira	37	%

Tabela 2 - Consumo de vapor na Mosturação

Descrição:

Cozimento do malte por cerca de 1,5h, com rampas e tempos pré-determinados de temperatura

Equipamento Utilizado:

Panela ou Tina de brassagem ou cozimento

Foto:**Características do processo:**

Temperatura Inicial: $T_{amb} = 22^{\circ}\text{C}$

Temperatura Final: $T_{final} = 80^{\circ}\text{C}$

Tempo do processo: 1,5h

	Sistema mexedor de mosto: motor elétrico de 1cv ou 750W Bomba centrífuga de 2cv ou 1.500W Consumo de vapor: $50\text{kg}_{\text{vp_sat}}$
Consumo de Energia Térmica:	$50\text{kg}_{\text{vp_sat}}/500\text{L}_{\text{cerv}}$ ou $0,1\text{kg}_{\text{vp_sat}}/\text{L}_{\text{cerv}}$
Consumo de Energia Elétrica:	$3375\text{Wh}/500\text{L}_{\text{cerv}}$ ou $6,75\text{Wh}/\text{L}_{\text{cerv}}$

3. Clarificação do Mosto

Assim como no processo de mosturação, calculamos a taxa média de consumo da capacidade de caldeira para o processo de clarificação.

ÁGUA DE LAVAGEM	Valor	Unidade
Massa de Água	200	Kg
Temperatura Inicial	22	°C
Temperatura Final	80	°C
Tempo Total	1	h
Calor específico da água	1	Kcal/kg.°C
Consumo de energia	11.600	kcal/h
Perdas por troca de calor com o ambiente	15	%
Consumo de energia no processo /h	13.340	kcal/h
Consumo total de energia no processo	13.340	kcal
Necessidade de Vapor	20	Kg/h
Necessidade total de Vapor	20	Kg
Capacidade da Caldeira	90	Kg/h
Taxa de ocupação da capac. da Caldeira	22	%

Tabela 3 - Consumo de vapor na Clarificação

Descrição:	Filtragem do mosto com intuito de clarificação. O mosto sai da panela de brassagem e é bombeado através de um filtro para outro recipiente, separando a parte sólida (bagaço de malte) do líquido (mosto). Neste processo é adicionada água aquecida a 80°C para auxiliar na filtragem.
Equipamento Utilizado:	Panela ou Tina ou de Filtragem/Clarificação

Foto:



Características do processo:

Temperatura: $T_{\text{inicial}} = T_{\text{final}} = 80^{\circ}\text{C}$

Sistema afofador: motor elétrico / redutor: 1/4cv ou 187W

Bomba elétrica para filtragem de 3/4cv ou 562W

Adição de 200L de água de lavagem a 80°C

Duração de 1h

Consumo de energia elétrica = $750\text{Wh}/500\text{L}_{\text{cerv}}$

Consumo de Energia

Térmica:

$20\text{kg}_{\text{Vp_sat}}/500\text{L}_{\text{cerv}}$ ou $0,04\text{kg}_{\text{Vp_sat}}/\text{L}_{\text{cerv}}$

Consumo de Energia

Elétrica:

$750\text{Wh}/500\text{L}_{\text{cerv}}$ ou $1,5\text{Wh}/\text{L}_{\text{cerv}}$

4. Fervura do Mosto

Fervura (Etapa I - Aquecimento)	Valor	Unidade	Fervura (Etapa II - Fervura)	Valor	Unidade
Massa de Água Inicial	550	Kg	Massa de Água Inicial	550	Kg
Temperatura Inicial	80	$^{\circ}\text{C}$	Massa de Água Final	500	Kg
Temperatura Final	100	$^{\circ}\text{C}$	Temperatura do Processo	100	$^{\circ}\text{C}$
Tempo Total	0,25	h	Tempo Total	1,5	h
Calor específico da água	1	Kcal/kg. $^{\circ}\text{C}$	Entalpia água Líquido sat (hl)	100	kCal/Kg
			Entalpia água Vapor sat (hv)	639	kCal/Kg
Consumo de energia	44.000	kcal/h	Consumo de energia	17.957	kcal/h
Perdas por troca de calor com o ambiente	15	%	Perdas por troca de calor com o ambiente	20	%
Consumo de energia no processo /h	50.600	kcal/h	Consumo de energia no processo /h	21.548	kcal/h
Consumo total de energia no processo	12.650	kcal	Consumo total de energia no processo	32.322	kcal

Fervura (média do processo todo)	Valor	Unidade
Tempo Total	1,75	h
Consumo total de energia	44.972	Kcal
Consumo de energia /h	25.698	kcal/h
Necessidade de Vapor	38	Kg/h
Necessidade total de Vapor	67	Kg
Capacidade da Caldeira	90	Kg/h
Taxa de ocupação da capac. da Caldeira	43	%

Tabela 4 - Consumo de vapor na Fervura

Descrição:

Fervura do Mosto e lupulagem. O mosto clarificado é fervido por cerca de 1,5h, quando é feita a adição de lúpulo ao mosto

Equipamento Utilizado:

Panela ou Tina de Fervura

Foto:



Características do processo:

Temperatura Inicial: $T_{\text{inicial}} = 80^{\circ}\text{C}$

Temperatura Final: $T_{\text{final}} = 100^{\circ}\text{C}$

Tempo do processo: 1,75h

Bomba centrífuga de 2cv ou 1.500W

Consumo de vapor: $67\text{kg}_{\text{vp_sat}} / \text{h}$

Consumo de Energia Térmica:

$67\text{kg}_{\text{vp_sat}}/500\text{L}_{\text{cerv}}$ ou $0,134\text{kg}_{\text{vp_sat}}/\text{L}_{\text{cerv}}$

Consumo de Energia Elétrica:

$2625\text{Wh}/500\text{L}_{\text{cerv}}$ ou $5,25\text{Wh}/\text{L}_{\text{cerv}}$

5. Resfriamento do Mosto

Descrição:

Resfriamento do mosto para a temperatura de 18 graus.

Água gelada troca calor com o mosto para resfriamento

Equipamento Utilizado:

Trocador de calor de placas para resfriamento do mosto

Foto:



Características do processo:

Temperatura Inicial: $T_{\text{inicial}} = 100^{\circ}\text{C}$

Temperatura Final: $\sim T_{\text{amb}} = 18^{\circ}\text{C}$

Tempo do processo: 1h

Bomba de trasfega 3cv ou 2250W

Bomba de circulação de água gelada 1cv ou 750W

Consumo de água gelada a 1°C : $3 \times 1 = 1500\text{L}$


Consumo de Energia Térmica:

1500L de água gelada a 1°C . Para produzir esta quantidade diária de água gelada, é utilizado um chiller com compressor de 2cv, funcionando em média 6h/batelada

Consumo de Energia Elétrica:

$3000\text{Wh}/500\text{L}_{\text{cerv}}$ ou $6\text{Wh}/\text{L}_{\text{cerv}}$

6. Fermentação

Descrição:	Fermentação da cerveja a temperatura controlada. Duas bateladas de mosto são adicionadas ao fermentador junto com o fermento e permanecem por 5 dias em temperatura controlada de 18°C
Equipamento Utilizado:	Tanque de Fermentação/Maturação
Foto:	
Características do processo:	<p>Temperatura Controlada: $T_{\text{fermentação}} = 18^{\circ}\text{C}$</p> <p>Tempo do processo: 5 dias</p> <p>Bomba para circulação de água gelada: 3cv ou 2250W (válvula do tanque aberta 20% do tempo em média para o processo de fermentação)</p> <p>Consumo de solução água+álcool gelada (-6°C)</p>
Consumo de Energia Térmica:	Fornecida por sistema de chiller elétrico com 2 compressores de 3cv cada.
Consumo de Energia Elétrica:	$54000\text{Wh}/10000\text{L}_{\text{cerv}}$ ou $5,4\text{Wh}/\text{L}_{\text{cerv}}$

7. Maturação

Descrição:	Maturação da cerveja a temperatura controlada. Quando a fermentação é concluída, a temperatura da cerveja é baixada para cerca de 3°C, permanecendo assim por 15 dias.
Equipamento Utilizado:	Tanque de Fermentação/Maturação
Foto:	
Características do	Temperatura Controlada: $T_{\text{maturação}} = 3^{\circ}\text{C}$

processo:	Tempo do processo: 15 dias Bomba para circulação de água gelada: 3cv ou 2250W (válvula do tanque aberta 40% do tempo em média para o processo de fermentação) Consumo de solução água+álcool gelada (-6°C)
Consumo de Energia Térmica:	Fornecida por sistema de chiller elétrico com 2 compressores de 3cv cada.
Consumo de Energia Elétrica:	324000Wh/10000L _{cerv} ou 32,4Wh/L _{cerv}

8. Filtração

Descrição:	Na filtração, a cerveja sai da maturação ainda contendo elementos que causam turbidez e circula por um filtro que retém as partículas maiores, tornando a cerveja mais clara. A cerveja filtrada é armazenada em tanques antes do engarrafamento.
Equipamento Utilizado:	Filtro
Foto:	
Características do processo:	Temperatura: $T_{\text{inicial}} = T_{\text{final}} = 5^{\circ}\text{C}$ Bomba elétrica para filtragem de 1cv ou 750W Duração de 0,5h
Consumo de Energia Térmica:	
Consumo de Energia Elétrica:	375Wh/1000L _{cerv} ou 0,375Wh/L _{cerv}

9. Embarrilhamento / Engarrafamento

Descrição:	A cerveja é engarrafada ou embarrilhada, conforme o destino da produção. Para a cervejaria artesanal, consideramos 50% para cerveja e 50% para chopp
Equipamento Utilizado:	Engarrafadora
Foto:	
Características do processo:	A envasadora possui cerca de 300W de potência e consome energia elétrica

Duração de 3h	
Consumo de Energia	
Térmica:	
Consumo de Energia	
Elétrica:	900Wh/1000L _{cerv} ou 0,9Wh/L _{cerv}

10. Pasteurização

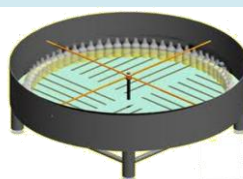
A Tabela 5 resume o cálculo do consumo de vapor no processo de pasteurização da cerveja. Considera-se que cerca de 50% da produção será pasteurizada. O restante é vendido como chope, que não passa pelo processo de pasteurização.

Pasteurização	Valor	Unidade
Massa de Água	250	Kg
Temperatura Inicial	22	°C
Temperatura Final	60	°C
Tempo Total	0,33	h
Calor específico da água	1	Kcal/kg.°C
Consumo de energia	28.500	kcal/h
Perdas por troca de calor com o ambiente	15	%
Consumo de energia no processo /h	32.775	kcal/h
Consumo total de energia no processo	10.925	kcal
Necessidade de Vapor	49	Kg/h
Necessidade total de Vapor	16	Kg
Capacidade da Caldeira	90	Kg/h
Taxa de ocupação da capac. da Caldeira	54	%

Tabela 5 - Consumo de vapor na Pasteurização

Descrição:	Pasteurização através do aquecimento e resfriamento da cerveja já engarrafada para eliminar a contaminação.
Equipamento Utilizado:	Pasteurizadora

Foto:



Características do processo:	50% do volume de cerveja é pasteurizado, utilizando cerca de 16kg _{v_p_sat} Duração de 2h
-------------------------------------	---

Os restantes 50% são envasados em barris, sem pasteurização	
Consumo de Energia Térmica:	$16\text{kg}_{\text{Vp_sat}}/500\text{L}_{\text{cerv}}$ ou $0,8\text{kg}_{\text{Vp_sat}}/\text{L}_{\text{cerv}}$
Consumo de Energia Elétrica:	

A Tabela 6 resume o consumo de energia térmica e elétrica do processo de fabricação de cerveja

Processo	Consumo de energia elétrica Wh/L _{CERV}	Consumo de vapor saturado Kg _{VAPOR} / L _{CERV}	Consumo energia elétrica Chillers* Wh/L _{CERV}
Moagem do Malte	1,12		
Mosturação	6,75	0,100	
Clarificação do Mosto	1,50	0,040	
Fervura do Mosto	5,25	0,134	
Resfriamento do Mosto	6,00		Chiller 1: 18,00
Fermentação	5,40		Chiller 2: 108,00
Maturação	32,40		
Filtração	0,37		
Embarilhamento / Engarrafamento	0,90		
Pasteurização		0,032	
TOTAL	59,70	0,306	126,00

Tabela 6 - Consumo de energia na produção de cerveja, em suas diversas formas

* Os chillers utilizados são elétricos. O detalhamento do consumo de energia destes equipamentos encontra-se no item 3.5.3

3.5.2. Produção de vapor para o processo

Para atender a demanda do processo de produção de cerveja, a cervejaria deve possuir uma caldeira para geração de vapor.

A caldeira considerada para esta cervejaria pelo fabricante da caldeira (Caldeira Geradora de Vapor à Gás GLP – fabricante Etna Modelo GV-90 – Anexos). Segundo os dados fornecidos pelo fabricante, esta caldeira fornece 90Kg de vapor/h – saturado a 8kg/cm² e 170°C, fornecendo 60.000kcal/h.

O consumo específico de gás GLP é de 67g_{GLP} / Kg_{VAPOR} se for abastecida com água a 20°C e 60g_{GLP} / Kg_{VAPOR} se for abastecida com água a 80°C

Como se levantou no item anterior, o consumo de vapor na cervejaria é da ordem de 0,306 Kg_{VAPOR} / L_{cerv} produzido. As bateladas para produção de cerveja são de 500L

Na cervejaria solar, a caldeira desejada deve ser capaz de trabalhar com alimentação de água a temperatura ambiente ou com água pré-aquecida pelo sistema de coletores solares.

Quando alimentada com água pré-aquecida, o consumo de gás para atender a demanda do processo será menor, conforme podemos observar na Tabela 7.

Alimentação	Consumo de gás	Consumo de Vapor	Consumo vapor (10KL)	Consumo mensal de gás
Água a 20°C	67g _{GLP} / Kg _{VAPOR}	0,306Kg _{VAPOR} / L _{cerv}	3060Kg _{VAPOR}	205Kg _{GLP}
Água a 80°C	60g _{GLP} / Kg _{VAPOR}	0,306Kg _{VAPOR} / L _{cerv}	3060Kg _{VAPOR}	183Kg _{GLP}

Tabela 7 - Consumo de gás no gerador de vapor

3.5.3. Central de água gelada

Para atender a demanda do processo de produção de cerveja, a cervejaria deve possuir uma central de água gelada a ser utilizada para manter a temperatura dos tanques de fermentação e maturação controlada durante todo o processo.

Esta central de água gelada deve ter capacidade suficiente para manter controlada a temperatura dos tanques. Durante o processo de fermentação, a temperatura depende do tipo de fermento utilizado. O processo de fermentação é exotérmico e libera calor que deve ser retirado pela circulação de água gelada no tanque. Todo o controle é automático e feito através da abertura e fechamento de válvulas que libera ou não a circulação de água gelada nos tanques.

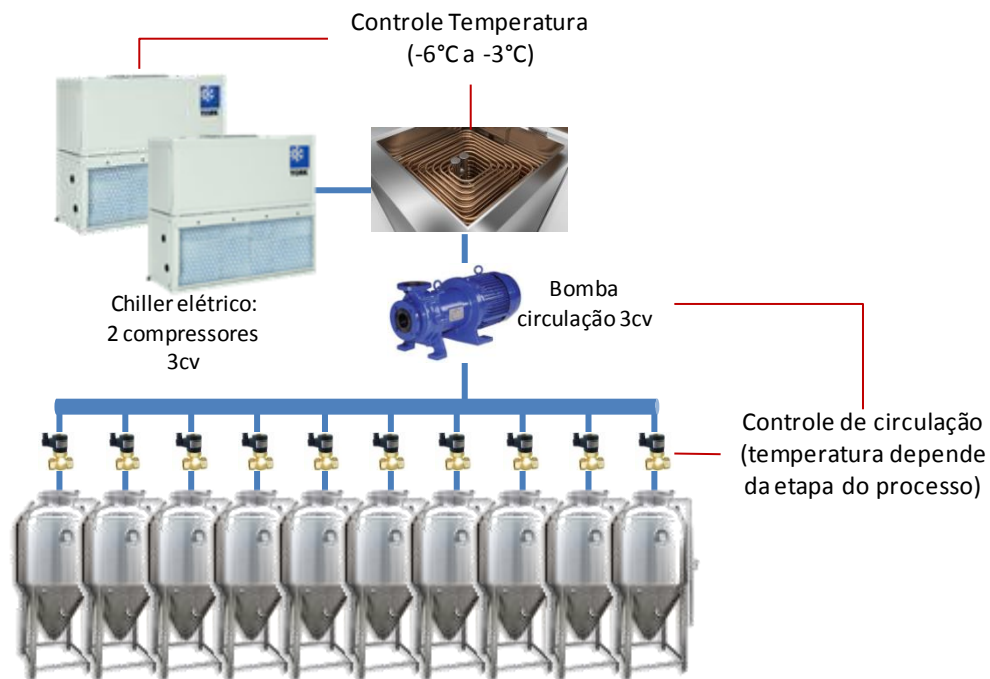


Figura 13 - Sistema de resfriamento dos tanques de fermentação/maturação

Além do resfriamento dos tanques de fermentação e maturação, a cervejaria possui um segundo sistema de água gelada utilizado para resfriamento do mosto depois do processo de fervura para que possa atingir rapidamente a temperatura ideal para início da fermentação. Ao contrário do chiller para resfriamento do tanque, este sistema não fica ligado constantemente e sim apenas para gerar água gelada suficiente para resfriar o mosto. A proporção é de cerca de 3 x 1, ou seja para resfriar 1L de cerveja, utiliza-se 3L de água gelada a 1°C, atingindo assim a temperatura necessária em torno de 18°C. A troca de calor é feita através de um trocado de placas.



Figura 14 - Sistema de resfriamento do mosto

	Potência elétrica do compressor	Tempo médio de Funcionamento	Consumo mensal	Consumo específico
Chiller 1 (tanques fermentação)	2x 3cv (4500W)	8h/dia	1080kWh/mês	108 Wh/LCERV
Chiller 2 (resfriamento mosto)	2cv (1500W)	6h/batelada 500L	180kWh/mês	18 Wh/LCERV

Tabela 8 - Consumo de energia elétrica na central de água gelada

3.5.4. Consumo de energia elétrica geral da cervejaria

Equipamento	Qtde	Potência média (W)	Horas de uso diário (h)	Dias de uso / mês (dias)	Consumo mensal (kWh/mês)
Lâmpada LED	10	7	8	21	11,76
Lâmpada Econômica	15	20	8	21	50,4
Lâmpada Externa	4	45	12	30	64,8
Ar-condicionado escritório 9.000 btu/h	1	750	8	21	126
Câmara Fria	1	375	24	30	270

Computador	2	150	8	21	50,4
Geladeira 450L	2	76	24	30	109,44
Freezer Horizontal	1	60	24	30	43,2
Diversos	5	100	2	21	21
TOTAL					747

Tabela 9 - Consumo de energia elétrica geral na cervejaria

3.5.5. Resumo do consumo energético da cervejaria

A tabela abaixo resume todo o consumo de energia da cervejaria tradicional nas formas de energia elétrica ou de gás (caldeira).

Consumo para produção de 10.000L	kWh/mês	Kg _{GÁS_GLP} /mês
Energia elétrica no processo	597	
Energia elétrica nos chillers	1260	
Energia elétrica geral da cervejaria	747	
Gás GLP na caldeira		205
Total	2604	205

4. Sistema de Energia Solar

O sistema de energia solar proposto para a cervejaria tem como objetivo reduzir o consumo de energia estimado conforme item 3.5.5.

4.1. Avaliação do Potencial Energético Solar

A Cervejaria Solar será instalada na cidade de Ribeirão Preto - SP. Dentre os fatores levados em conta para a escolha, consideramos o fato de a cidade ser um polo cervejeiro com fornecedores e mão de obra especializada mais acessível, além de possuir um elevado nível de irradiação solar, conforme podemos verificar pelo Atlas Solarimétrico.

Para uma informação mais específica e detalhada mês a mês, consultamos os dados disponibilizados pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) em conjunto com o LABSOLAR (Laboratório de Energia Solar / Universidade Federal de Santa Catarina).

Estes dados estão disponíveis em uma base mundial do projeto SWERA (Solar and Wind Energy Resources Assessment) e são dados em termos da Radiação Global Horizontal, em kWh/m²/dia calculados em células de 40km

Na base de dados, encontramos os seguintes dados para o plano horizontal para as coordenadas (47,741 OESTE e 21,192 SUL) distante apenas 7km das coordenadas oficiais da cidade de Ribeirão Preto (47,810 OESTE e 21,178 SUL)

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
irradiação	7.178	5.744	5.487	5.498	4.505	3.367	3.822	5.098	5.753	6.944	6.619	6.173	5.511

Tabela 10 - Irradiação solar Global Horizontal média mensal para Ribeirão Preto/SP em kWh/m²/dia

Como o consumo de cerveja é sazonal, tradicionalmente maior no período de verão, adotamos por estratégia utilizar um plano inclinado que receba a maior radiação total no ano todo ao invés de otimizar o sistema para melhor produção no inverno. Desta maneira, podemos fazer o cálculo de correção de acordo com a Tabela 11, considerando o ângulo de inclinação β igual à latitude (21°)

Mês	\bar{H} Kwh/m ² .dia	\bar{H} MJ/m ² .dia	\bar{H}_0 MJ/m ² .dia	K_T	n	δ °	\bar{H}_d/\bar{H}	β °	ϕ °	ω_s rad	ω'_s rad	\bar{R}_b	ρ	\bar{R}	\bar{H}_T global MJ/m ² .dia	\bar{H}_T global kWh/m ² .dia	\bar{H}_T direta MJ/m ² .dia	\bar{H}_T direta kWh/m ² .dia
Jan	7,18	25,84	39,3	0,66	17	-20,9	0,35	21	-21,178	1,72	1,57	0,86	0,20	0,91	23,42	6,507	14,56	4,044
Fev	5,74	20,68	37,7	0,55	47	-13,0	0,40	21	-21,178	1,66	1,57	0,94	0,20	0,96	19,77	5,493	11,58	3,217
Mar	5,49	19,75	35,7	0,55	75	-2,4	0,39	21	-21,178	1,59	1,57	1,05	0,20	1,02	20,18	5,607	12,65	3,514
Abr	5,50	19,79	29,8	0,66	105	9,4	0,31	21	-21,178	1,51	1,51	1,19	0,20	1,12	22,25	6,180	16,09	4,470
Mai	4,51	16,22	26,6	0,61	135	18,8	0,33	21	-21,178	1,44	1,44	1,32	0,20	1,21	19,67	5,464	14,38	3,994
Jun	3,37	12,12	23,3	0,52	162	23,1	0,38	21	-21,178	1,40	1,40	1,40	0,20	1,24	15,07	4,186	10,58	2,938
Jul	3,82	13,76	25,8	0,53	198	21,2	0,37	21	-21,178	1,42	1,42	1,37	0,20	1,22	16,85	4,679	11,83	3,285
Ago	5,10	18,35	29,2	0,63	228	13,5	0,33	21	-21,178	1,48	1,48	1,24	0,20	1,16	21,28	5,910	15,36	4,266
Set	5,75	20,71	32,7	0,63	258	2,2	0,34	21	-21,178	1,56	1,56	1,10	0,20	1,06	21,96	6,100	15,08	4,190
Out	6,94	25,00	38,1	0,66	288	-9,6	0,34	21	-21,178	1,64	1,57	0,97	0,20	0,98	24,41	6,780	16,12	4,477
Nov	6,62	23,83	40,8	0,58	318	-18,9	0,39	21	-21,178	1,70	1,57	0,88	0,20	0,92	21,96	6,101	12,88	3,578
Dez	6,17	22,22	39,0	0,57	334	-23,0	0,40	21	-21,178	1,74	1,57	0,84	0,20	0,90	20,01	5,559	11,23	3,119

Tabela 11 - Cálculo da radiação solar incidente no plano inclinado $\beta = 21^\circ$

Radiação		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
\bar{H}	Global plano horizontal	7.178	5.744	5.487	5.498	4.505	3.367	3.822	5.098	5.753	6.944	6.619	6.173	5.511
\bar{H}_T	Global plano inclinado	6.507	5.493	5.607	6.180	5.464	4.186	4.679	5.910	6.100	6.780	6.101	5.559	5.716
\bar{H}_T	Direta plano inclinado	4.044	3.217	3.514	4.470	3.994	2.938	3.285	4.266	4.190	4.477	3.578	3.119	3.762

Média mensal em kWh/m²/dia

Tabela 12 – Resumo da radiação solar global média no plano inclinado em Ribeirão Preto/SP

4.2.Campo de Coletores Térmicos

4.2.1. Escolha do tipo de sistema de Aquecimento Solar

Para dimensionamento e escolha do tipo e tamanho do sistema de aquecimento solar, são necessárias algumas discussões.

O processo de fabricação de cerveja consome boa quantidade de energia térmica a baixas temperaturas, até 80°C, principalmente nos processos de Mosturação, Clarificação e Pasteurização. Apenas na etapa de fervura, a temperatura do processo fica em torno de 100°C. Nas cervejarias tradicionais, utiliza-se uma caldeira geradora de vapor, conforme discutido anteriormente que fornece vapor a uma temperatura média de 150°C e cerca de 1,5 a 2bar de pressão para o processo.

A Figura 15 mostra o resultado de uma análise que recomenda para a faixa de temperatura que se trabalha no processo da cervejaria (*medium temperature*) a utilização de coletores estacionários de alta eficiência.

Temperature range (detail level 1)	Temperature range (detail level 2)	Temperature range (detail level 3)	Temperature interval	Recommended collector technology
Low temperature	Very low temperature	Very low temperature	$\leq 40\text{ }^{\circ}\text{C}$	Unglazed or non-selective standard flat plate
	Low temperature	Low temperature	$>40 \dots 60\text{ }^{\circ}\text{C}$	Selective standard flat plate
Medium and medium-high temperature	Medium temperature	Medium temperature A1	$>60 \dots 80\text{ }^{\circ}\text{C}$	High efficient stationary
		Medium temperature B1	$>80 \dots 100\text{ }^{\circ}\text{C}$	
		Medium temperature B2	$>100 \dots 120\text{ }^{\circ}\text{C}$	
		Medium temperature C1	$>120 \dots 140\text{ }^{\circ}\text{C}$	Parabolic trough
		Medium temperature C2	$>140 \dots 160\text{ }^{\circ}\text{C}$	
	Medium – High temperature	Medium – High temperature	$>160 \dots 240\text{ }^{\circ}\text{C}$	
High temperature	High temperature	High temperature	$> 240\text{ }^{\circ}\text{C}$	

Figura 15 - Tecnologia recomendada de coletores por faixa de temperatura (fonte: POSHIP)

Conforme discutido no relatório de IEA (2008) e POSHIP (2001), uma grande dificuldade de utilização do aquecimento solar em processos industriais de média e alta temperatura é a integração do sistema no processo industrial, tendo em vista que o sistema de energia solar deve ser adaptado para trabalhar nas condições exigidas pelo processo.

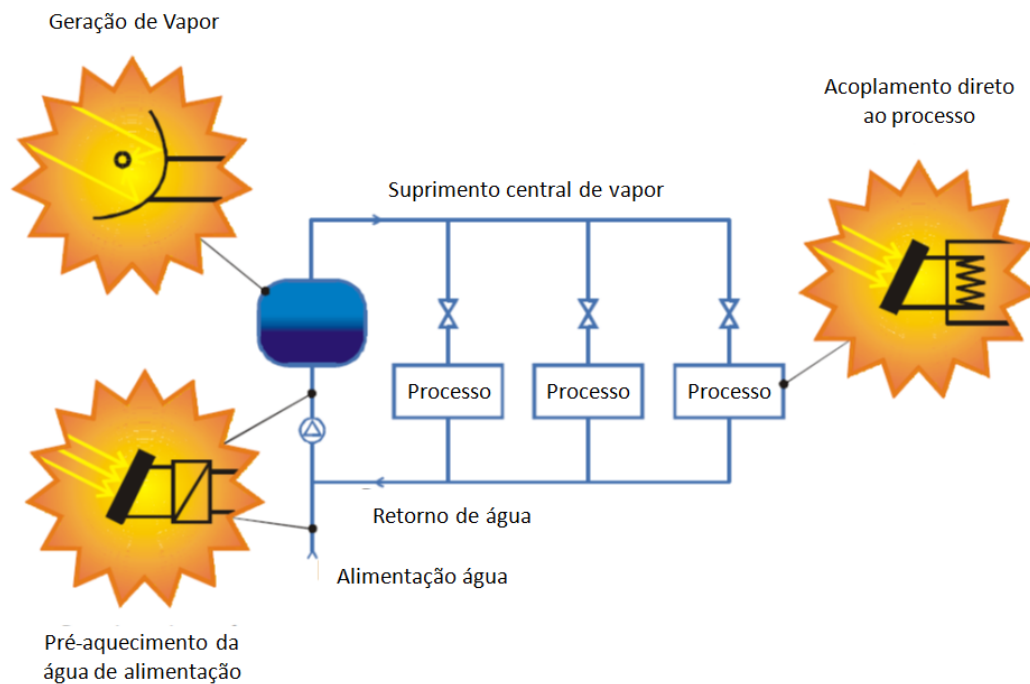


Figura 16 - Integração do aquecimento solar em processos industriais (fonte: POSHIP)

Estes sistemas podem ser desenhados para fornecer a energia diretamente ao processo ou armazenar a energia para posterior utilização.

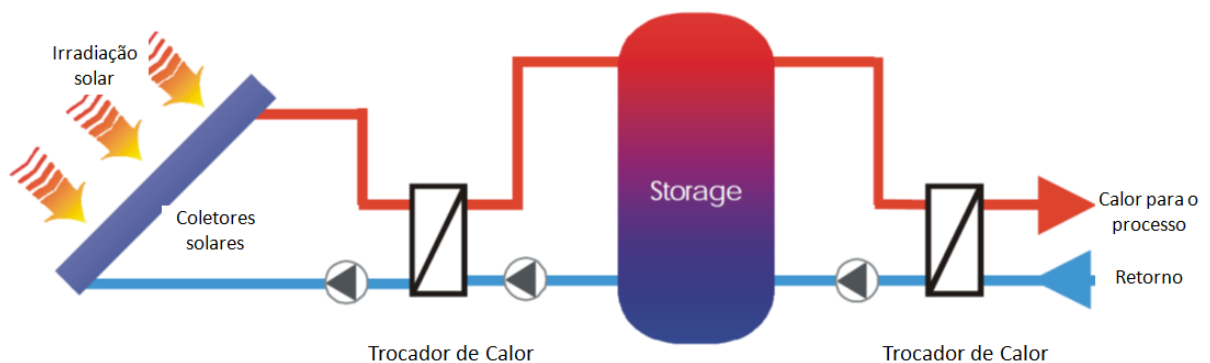


Figura 17 - Sistema de aquecimento solar com armazenagem (fonte: POSHIP)

Diante das características da cervejaria artesanal, optou-se por utilizar um sistema de aquecimento solar com as seguintes características

Coletores solares de tubo a vácuo - custo relativamente baixo (frente aos coletores concentradores) e pode trabalhar facilmente com temperaturas na faixa de 80-100°C

- Fluido de transmissão de calor em solução de água + glicol em circuito separado e trocando calor com a água dos reservatórios térmicos através de 2 trocadores de calor.
- O sistema de energia solar irá fornecer calor direto ao processo e para pré-aquecimento da água, mas não será gerado vapor
- Serão utilizados 2 trocadores de calor e 2 reservatórios térmicos, sendo que um contém água comum pré-aquecida para a caldeira e também utilizada diretamente no processo de pasteurização. O segundo reservatório contém água cervejeira (água tratada) para utilização diretamente nos processos de mosturação e clarificação.

A Figura 18 mostra o processo da cervejaria tradicional onde o gás e a caldeira são responsáveis pelo fornecimento de calor ao processo através do vapor.

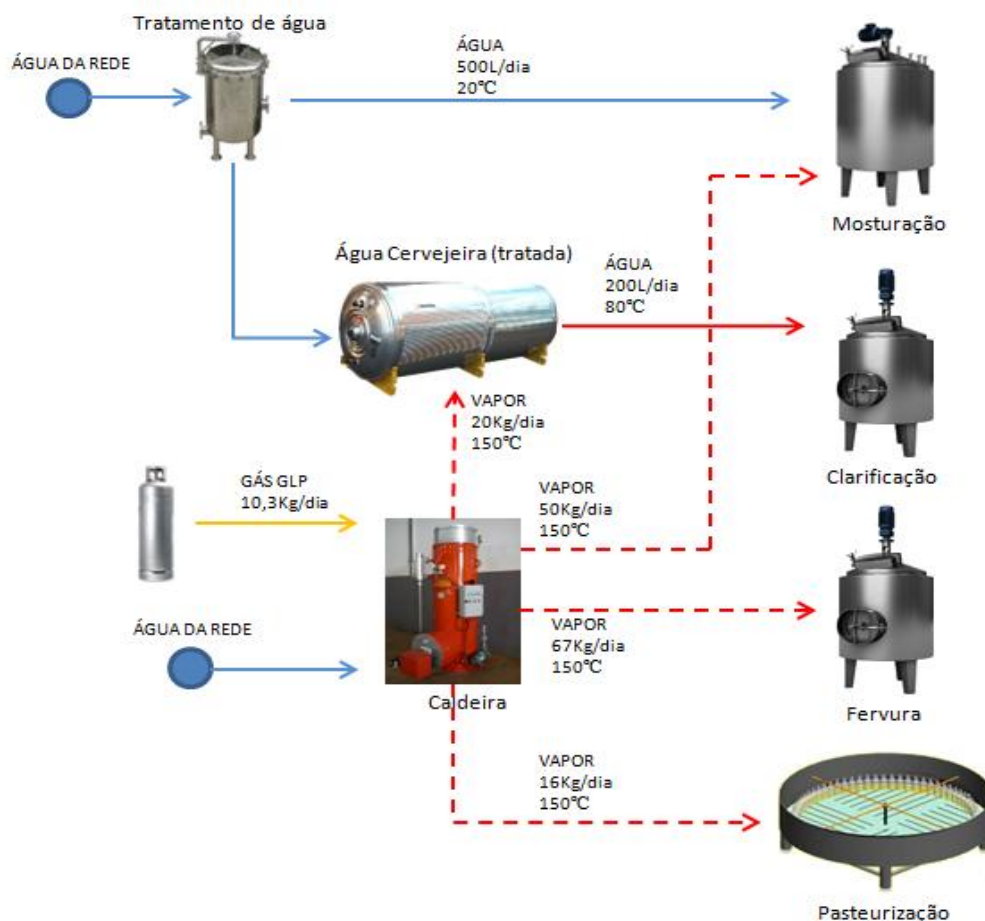


Figura 18 - Aquecimento na cervejaria tradicional

A Figura 19 mostra as alterações feitas para a cervejaria solar, onde parte do aquecimento é fornecido pelos coletores solares e armazenado em reservatórios térmicos de água comum e água cervejeira. A água armazenada nos reservatórios é utilizada para pré-aquecimento e para utilização diretamente no processo. A caldeira permanece responsável pelo fornecimento de vapor ao processo.

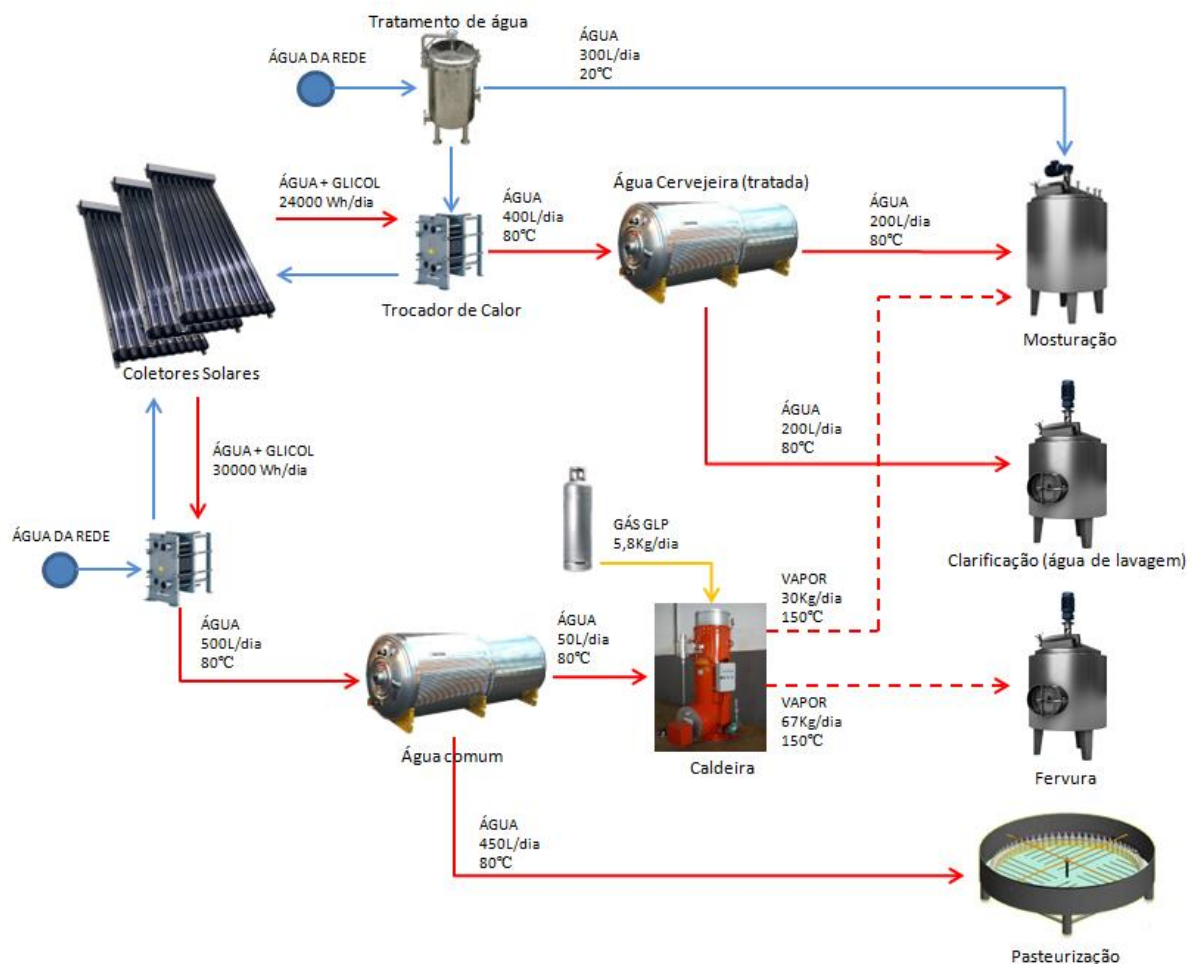


Figura 19 - Aquecimento na cervejaria solar

4.2.2. Consumo de energia e consumo de gás

A Tabela 13 resume o consumo de vapor e de gás na caldeira na cervejaria tradicional e cervejaria solar. Observa-se a redução da quantidade de vapor utilizada no processo de mosturação. A pasteurização e clarificação passam a receber 100% da energia térmica utilizada através dos reservatórios de água quente. O consumo

médio de gás na caldeira tem uma leve redução pela utilização de água pré-aquecida.

Observa-se uma redução de 43% no consumo de gás na cervejaria solar.

	Unidade	Consumo de vapor da caldeira	
		Cervejaria Convencional	Cervejaria c/ Aquecimento Solar
Consumo de Vapor da Caldeira		153,1	97,2
Mosturação	Kg vapor / batelada ou / dia	49,8	30,0
Fervura	Kg vapor / batelada ou / dia	67,1	67,1
Pasteurização	Kg vapor / batelada ou / dia	16,3	0,0
Água de Lavagem	Kg vapor / batelada ou / dia	19,9	0,0
Consumo de gás na Caldeira	Kg GLP / Kg vapor	0,067	0,060
Consumo total de gás	Kg GLP / batelada ou / dia	10,3	5,8
Consumo mensal (x 20)	KG GLP / mês	205,2	116,6

Tabela 13 - Consumo de vapor e gás na cervejaria tradicional e solar

4.2.3. Área coletora necessária

Podemos calcular a área necessária de coletores, conforme metodologia de dimensionamento ABNT NBR 15569:2008

$$V = V_{Armaz} = V_{consumo} = 900 \frac{L}{dia}$$

$$= E_{Total} = E_{útil} \times (1 + perdas) = V \times \gamma \times C_p \times (T_{arm} - T_{amb}) \times (1 + perdas)$$

$$E_{Total} = 900 \times 1000 \times 11,63 \times 10^{-4} \times (80 - 35) = 47,1 \times (1 + 15\%) = 54kWh/dia$$

Onde:

E_{Total} é a energia útil em kWh/dia

V é o volume necessário para armazenagem,

γ é o peso específico da água igual a $1000kg/m^3$

C_p é o calor específico da água igual a $11,63 \times 10^{-4} kWh/kg \text{ } ^\circ C$

T_{arm} = temperatura de armazenagem e T_{amb} é a temperatura ambiente

Perdas = 15%

A área coletora necessária deve ser suficiente para fornecer 54kWh/dia em energia térmica ao sistema (considerou-se 15% de perda de energia no processo de troca de calor e armazenamento). Desprezou-se o fato de que aos finais de semana não há produção na cervejaria artesanal. Os finais de semana poderão ser utilizados

como reserva de capacidade de fornecer energia e portanto forma de expansão da produção de cerveja sem necessidade de ampliar o tamanho do sistema de energia solar.

COLETORES SOLARES	Valor	Unidade	
Massa de Água diária	900	Kg	
Temperatura Inicial*	35	°C	
Temperatura Final	80	°C	
Tempo Total	12	h	
Calor específico da água	1	Kcal/kg.°C	
Consumo de energia	40.500	kcal/h	
Perdas por troca de calor com o ambiente	15	%	
Necessidade diária de energia dos coletores	46.575	kcal/dia	= 54 kWh/dia

* Com o reaproveitamento do calor de processo pode-se obter uma temperatura inicial média mais elevada

Tabela 14 - Necessidade diária de energia térmica solar no processo

A área coletora é calculada através da equação

$$A_{coletora} = \frac{E_{Total} \times FC_{inst} \times 4,901}{PMDEE \times I_G} = \frac{54 \times 1 \times 4,901}{4,901 \times (0,495 - 0,0249 \times 1,72) \times 5,716} = 20,89m^2$$

$A_{coletora}$ é a área coletora em m^2

I_G é a irradiação global média anual para o local em $kWh/m^2.dia$

FC_{inst} = fator de correção para inclinação e orientação do coletor = 1

$E_{total} = E_{útil} + perdas$

$PMDEE$ é a produção média diária de energia específica do coletor solar, expressa em kWh/m^2 , calculada pela equação

$$PMDEE = 4,901 \times (Fr_{\tau\alpha} - 0,0249 \times Fr_{UL})$$

$Fr_{\tau\alpha}$ é o coeficiente de ganho do coletor = 0,495 (valor médio sugerido ASHRAE)

Fr_{UL} é o coeficiente de perdas do coletor = 1,720 (valor médio sugerido ASHRAE)

Da Tabela 12 – Resumo da radiação solar global média no plano inclinado em Ribeirão Preto/SP, temos que a disponibilidade de radiação solar diária média é de 5716 Wh/m²/dia.

A área total dos coletores deve ser de 20,89m²

4.2.4. Reservatório Térmico

O reservatório térmico poderá ser de baixa pressão, localizado em uma área mais alta, uma vez que irá abastecer diretamente o processo ou a caldeira, que não necessitam de pressurização no abastecimento.

Os trocadores de calor do aquecedor solar serão internos ao reservatório térmico, com controle e circulação através de uma bomba.

O sistema de apoio será feito pela própria caldeira, mas somente será utilizado quando a água quente a ser adicionada diretamente no processo não for suficiente (pasteurização e clarificação/água de lavagem). Nos processos onde o sistema solar é utilizado apenas como pré-aquecimento, a caldeira atua diretamente no aquecimento durante o processo e não no reservatório.

Como o sistema de aquecimento não é crítico para a produção (a cervejaria pode produzir mesmo sem a água pré-aquecida através do gás), optou-se por adotar uma autonomia de 2 dias de produção nos reservatórios. Neste caso, em situações de mais de dois dias com muito pouco sol, pode ser necessário utilizar o aquecimento da caldeira para complementar o sistema solar.

Utilizando reservatórios duplicados, pode-se controlar melhor a temperatura do tanque que abastece diretamente o processo enquanto apenas um dos tanques permanece trocando calor com os coletores.

É recomendado pelos fabricantes um tanque com capacidade 30% superior ao consumo para poder ter uma melhor troca de calor com as diferentes temperaturas conforme a altura no reservatório. Desta maneira calculou-se os reservatórios térmicos conforme a Tabela 15.

	Consumo diário (L)	Autonomia requerida (L)	Folga	Volume a armazenar (L)	# Tanques	Volume requerido do tanque	Tanque comercial adotado
Água Cervejeira	400	2	30%	1040	2	520	600L
Água Comum	500	2	30%	1300	2	650	700L

Tabela 15 - Capacidade dos reservatórios térmicos

Para efeito de cálculos do tamanho do reservatório, considerou-se o volume diário consumido (V_{consumo}) de 900L/dia e o volume total dos reservatórios é de 2340L



Figura 20 - Esquema de instalação dos reservatórios térmicos

4.2.5. Especificação dos Equipamentos

Equipamento	Tipo, Marca, Modelo	Quantidade
Coletores Solares	Placas de coletores solares de tubo a vácuo. 30 Tubos por placa. Dimensões 1980x2196mm. Área coletora 4,35m ²	5
Reservatório Térmico (água comum)	Reservatório térmico 600L	2
Reservatório Térmico (água cervejeira)	Reservatório térmico 700L	2
Tubulação, bombas, conexões, controle de temperatura, etc.	Diversos	

4.3.Campo de Módulos Fotovoltaicos

Conforme levantamento de dados do processo produtivo (item 3.5.5), estima-se o consumo de energia elétrica total da cervejaria em 2604kWh/mês para uma produção de 10.000L mensais de cerveja. Para produção desta quantidade de energia, pode-se determinar um sistema adequado de módulos de captação de energia fotovoltaica.

4.3.1. Área coletora necessária

Para determinar a área coletora necessária, faz-se necessário conhecer a radiação global média no plano dos coletores e o desempenho global do sistema

Segundo ALMEIDA (2012) a produtividade final do sistema (Y_F) é definida como a quantidade de energia elétrica (ER) em corrente alternada injetada na rede por unidade de potência nominal do gerador fotovoltaico (PNG). Pode ser também definida como o número de horas equivalentes que o gerador fotovoltaico deveria operar com sua potência nominal para produzir a mesma quantidade de energia elétrica injetada na rede.

$$Y_F = \frac{E_R}{P_{NG}} \quad (1)$$

A produtividade de referência do sistema (Y_R) é a quantidade de radiação total disponível no plano do gerador fotovoltaico por unidade de irradiância de referência. Este parâmetro também é conhecido como número de horas de sol pleno (ALMEIDA, 2012)

$$Y_R = \frac{H_{SP}}{G_{STC}} \quad (2)$$

Desempenho global do sistema (PR do inglês Performance Ratio) é um valor adimensional que mostra o efeito total das perdas por e falhas em um sistema fotovoltaico, indicando quanto sua operação aproxima-se de um sistema ideal (PR = 1) (ALMEIDA, 2012).

$$PR = \frac{Y_F}{Y_R} \quad (3)$$

Valores típicos para o desempenho global ficam entre 0,6 e 0,8, sendo que sistemas com bom desempenho tem PR acima de 0,75, valor adotado para o sistema a ser instalado na cervejaria.

Dentre as perdas típicas do sistema embutidas na produtividade de referência e no desempenho global, segundo ALMEIDA (2012) estão:

- Perdas na conversão fotovoltaica – 85%
- Perdas por degradação – 5%
- Perdas por temperatura – 7,12%
- Perdas por sujidade – 5,86%
- Perdas na instalação – corrente contínua – 6%
- Perdas no inversor – 7,84%
- Perdas no transformador – 2%
- Perdas de conexão – 4,54%

Tendo como base o fato que a cervejaria será instalada na cidade de Ribeirão Preto e os painéis serão instalados sobre o telhado de uma nova construção. Portanto, as condições de instalação dos painéis fotovoltaicos será otimizada para a maior produção de energia possível ao longo do ano, através de uma estrutura fixa, direcionada para o Norte verdadeiro inclinada em 21 graus. Nestas condições, a radiação solar global média disponível é da ordem de 5716 Wh/m²/dia (Tabela 12) ou ainda 173,86kWh/m²/mês.

Esta radiação disponível pode ser interpretada como o número de Horas de Sol Pleno se tomarmos por referência um gerador fotovoltaico de 1kWp.

$$Y_R \equiv H_{SP} = 5716 \frac{Wh}{m^2 \times dia} \times 365 \frac{dias}{ano} \div 0,001 \frac{kWh}{Wh} = 2086 \frac{kWh}{m^2 \times ano} \equiv 2086 \frac{kWh}{kWp \times ano}$$

Adotando o desempenho global de 0,75, podemos calcular a produtividade final do sistema.

$$Y_F = Y_R \times PR = 2086 \times 0,75 = 1565 \frac{kWh}{kWp \times ano} \text{ ou } \div 12 = 130,4 \frac{kWh}{kWp \times mês}$$

Para determinar a potência nominal do campo fotovoltaico necessária para gerar 2604kWh/mês de energia elétrica (E_R), voltamos à equação:

$$Y_F = \frac{E_R}{P_{NG}} \Rightarrow P_{NG} = \frac{E_R}{Y_F} = \frac{2604}{130,4} \cong 20kWp$$

Portanto, será necessária uma potência nominal do gerador fotovoltaico de 20kWp para suprir o consumo e energia elétrica da cervejaria.

Adotando um modelo de painel fotovoltaico comercial com eficiência 14,3%, marca Jetion modelo JT235PCe (especificações técnicas em Anexo), com potência nominal de 235Wp e dimensões 1655x992x40mm, encontra-se uma quantidade 85 painéis necessários, ocupando área total de 139,7m².

Para atender esta demanda e balancear o sistema em cada inversor, adotamos um sistema com 84 painéis que produzirá cerca de 98,8% da energia necessária.

A produção média do sistema adotado é de 2572,3kWh/mês

4.3.2. Especificação dos Equipamentos

Para este estudo, os equipamentos que compõe o sistema fotovoltaico podem ser resumidos conforme a tabela abaixo:

Equipamento	Tipo, Marca, Modelo	Quantidade
Módulos Fotovoltaicos	Módulo fotovoltaico policristalino, marca Jetion, modelo JT235PCe com 14,3% de eficiência de conversão	84
Inversores	Inversor Grid Tie para conexão a rede, marca SMA, modelo Sunny Mini Central 6000, com eficiência máxima de 97%	3
Estrutura para fixação dos painéis	Perfis de alumínio reforçado de 3,5m cada	48
Cabeamento, chaves e miscelâneas de instalação	Cabo de 6mm ² de seção com proteção UV para uso externo e outros equipamentos	180m

O dimensionamento dos inversores para este sistema foram feitos através do software disponibilizado pelo fabricante (análise em Anexo)

4.3.3. Arranjo dos painéis e Inversores

Como a rede da distribuidora em Ribeirão Preto (Companhia Paulista de Força e Luz) fornece energia em 3 fases com voltagem 127/220 e os inversores são especificados para trabalhar em 220V, optou-se por fazer um arranjo de instalação com 3 inversores monofásicos, modelo com transformador embutido, balanceando assim a produção de energia elétrica entre as 3 fases. O arranjo fotovoltaico e o esquema de conexão a rede pode ser observado pelas figuras abaixo.

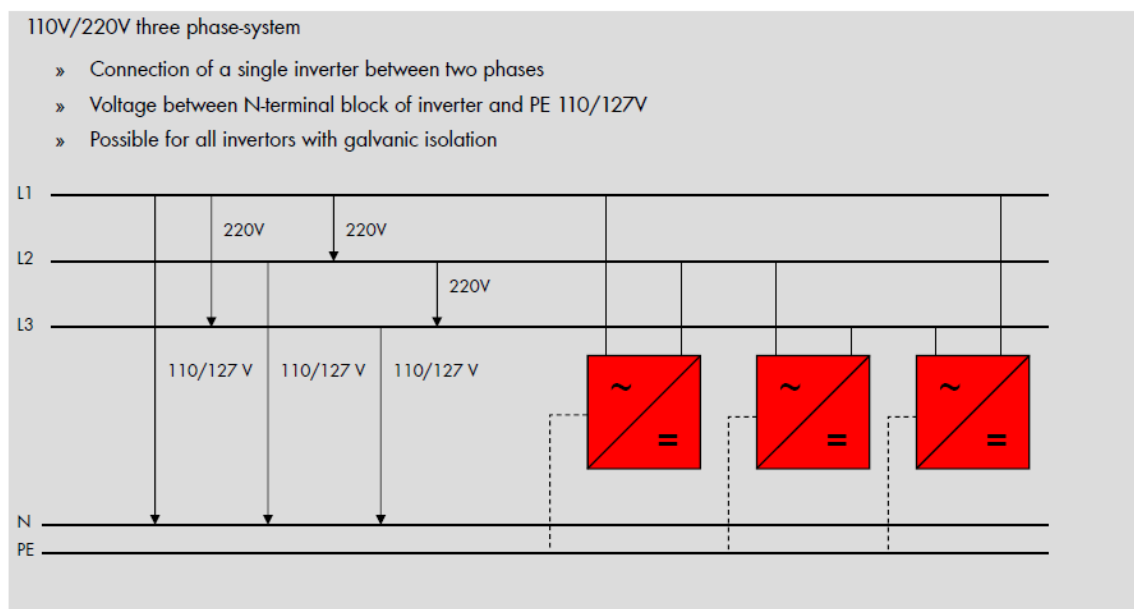


Figura 21 - Instalação de sistema fotovoltaico trifásico em rede tipo split-phase (fonte: SMA)

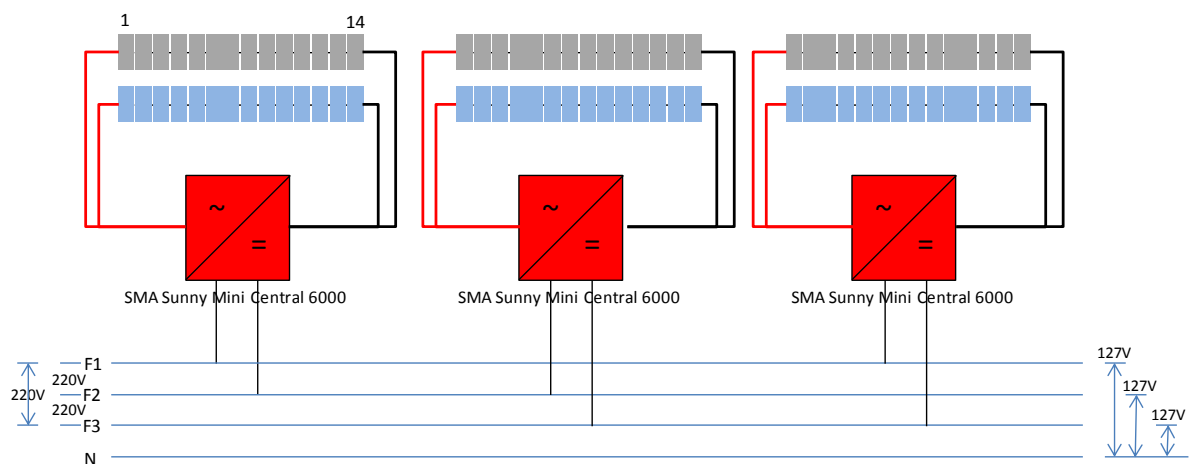


Figura 22 - Arranjo fotovoltaico

5. Análise Financeira

Para análise do resultado financeiro, o mais importante é comparar as condições da cervejaria solar frente a uma situação base que é a cervejaria tradicional.

Considera-se a cervejaria tradicional como linha de base e a cervejaria solar como a nova situação proposta. Com esta hipótese, podemos fazer a avaliação financeira do projeto considerando-se como investimento os valores orçados para adaptação da cervejaria para introdução do equipamento de energia solar, tanto térmico como fotovoltaico. Como receita na análise financeira, consideramos a economia proveniente da substituição parcial da fonte energética da situação original (gás GLP e energia elétrica) pela fonte solar.

As análises foram separadas para os dois sistemas para que possa ser avaliado o tipo de sistema mais vantajoso.

O período para a avaliação do projeto é de 25 anos (fotovoltaico) e 20 anos (térmico), tendo em vista a durabilidade prevista para os equipamentos. Para o sistema fotovoltaico é prevista uma troca dos inversores no 12º ano. Os demais parâmetros de análise são apresentados mais a frente.

5.1. Investimento

5.1.1. Energia Solar Térmica

Valor de investimento total para o sistema solar térmico foi estimado em contato com fabricantes em R\$20.310,00

	Valor Unitário	Qtde	Valor Total
Placas coletoras tubo a vácuo	R\$ 1.190	5	R\$ 5.950
Reservatório Térmico 700L	R\$ 2.190	2	R\$ 4.380
Reservatório Térmico 600L	R\$ 1.990	2	R\$ 3.980
Sup. e mat. instalação	R\$ 1.500	1	R\$ 1.500
Mão de obra Instalação	R\$ 4.500	1	R\$ 4.500
			R\$ 20.310

5.1.2. Energia Solar Fotovoltaica

Valor de investimento total para o sistema fotovoltaico (orçamento no Anexo) foi estimado em R\$164.526,00

	Valor Unitário	Qtde	Valor Total
Painel	R\$ 888	84	R\$ 74.561
Inversor	R\$ 13.412	3	R\$ 40.236
Sup e mat instalação	R\$ 18.816	1	R\$ 18.816
Mão de obra instalação	R\$ 30.912	1	R\$ 30.912
			R\$ 164.526

5.2.Custo Operacional e Manutenção

O custo de operação e manutenção do sistema térmico é bastante baixo. Consideramos como estimativa um custo anual de cerca de 2% sobre o valor do investimento.

O custo de operação e manutenção do sistema fotovoltaico é praticamente zero. Os painéis devem ser limpos com frequência entre 3 e 6 meses dependendo das condições locais e regime de chuvas, que faz parte da limpeza natural dos painéis.

Segundo dados disponíveis em relatórios do National Renewables Energy Laboratory (NREL) dos EUA em seu website o custo médio anual de manutenção para sistemas fotovoltaicos está entre 0,1% e 0,5% do valor do investimento.

Além deste custo é prevista a troca completa dos inversores no 12º ano de operação.

5.3.Receitas (Economias)

O consumo de gás economizado pelo sistema de aquecimento solar foi estimado na Tabela 13 - Consumo de vapor e gás na cervejaria tradicional e solar é de 88,6kg/mês.

O gás GLP utilizado pela cervejaria é comprado em botijões de 45kg, que tem o valor médio de mercado de R\$180/botijão de 45kg o que resulta em uma tarifa média de R\$4,00/kg.

Com estes valores, a economia mensal no consumo de gás é calculada em R\$354,40/mês

A receita proporcionada pela introdução do sistema de energia elétrica fotovoltaica está diretamente relacionada à tarifa paga de energia para a distribuidora de energia elétrica.

A tarifa de energia da distribuidora CPFL – Paulista em Ribeirão preto para a classe B3 (baixa tensão – aplicável para a Cervejaria) é de R\$0,29052/kWh (sem impostos). Os impostos na tarifa de energia incidem sobre a tarifa final e devem ser calculados “por dentro”. Aplicando os impostos (ICMS: 25%, PIS/COFINS: adotou-se a média de 6% – variam conforme o mês pelo regime cumulativo), a tarifa final com impostos é de R\$0,42104/kWh.

Foi considerada uma perda uniforme de 0,75% ao ano da capacidade de produção de energia dos módulos fotovoltaicos.

Considerou-se um aumento do custo da tarifa de energia elétrica de 5% ao ano para o período de análise do projeto, aumentando o valor da receita ano a ano.

A economia em energia elétrica deve ser inicialmente de 2572,3kWh/mês ou R\$1083,04/mês

5.4. Fluxo de Caixa e Indicadores Financeiros

5.4.1. Solar Térmico

Os parâmetros adotados para a análise financeira do sistema solar térmico são:

ANÁLISE FINANCEIRA				
PREMISSAS ADOTADAS:				
Valor do Investimento:	R\$ 20.310	Taxa Desconto:	8,00%	% a.a.
Vida Útil Sistema:	20 anos	Inflação Gás:	4,00%	% a.a.
Manutenção:	2,00%	Capital Próprio:	100%	% Inv a.a.
Perda Produção:	0,75%			% a.a.
Tarifa gás:	R\$ 4,00 /kg			

Abaixo segue fluxo de caixa para o investimento na

Investimento Instalação: R\$ 20.310

Ano 1 - Retorno estimado: R\$ 4.253

Ano	Fluxo Caixa (R\$)	Valor Acumulado (R\$)	Valor Acumulado descontado (R\$)
1	-R\$ 16.463	-R\$ 16.463	-R\$ 16.463
2	R\$ 3.984	-R\$ 12.480	-R\$ 12.775
3	R\$ 4.125	-R\$ 8.355	-R\$ 9.239
4	R\$ 4.271	-R\$ 4.084	-R\$ 5.848
5	R\$ 4.421	R\$ 337	-R\$ 2.598
6	R\$ 4.577	R\$ 4.914	R\$ 517
7	R\$ 4.737	R\$ 9.651	R\$ 3.502
8	R\$ 4.903	R\$ 14.554	R\$ 6.363
9	R\$ 5.074	R\$ 19.628	R\$ 9.104
10	R\$ 5.250	R\$ 24.878	R\$ 11.730
11	R\$ 5.432	R\$ 30.311	R\$ 14.247
12	R\$ 5.620	R\$ 35.931	R\$ 16.657
13	R\$ 5.815	R\$ 41.746	R\$ 18.966
14	R\$ 6.015	R\$ 47.761	R\$ 21.178
15	R\$ 6.222	R\$ 53.982	R\$ 23.296
16	R\$ 6.435	R\$ 60.417	R\$ 25.325
17	R\$ 6.655	R\$ 67.073	R\$ 27.267
18	R\$ 6.883	R\$ 73.955	R\$ 29.127
19	R\$ 7.117	R\$ 81.073	R\$ 30.909
20	R\$ 7.360	R\$ 88.432	R\$ 32.614

Resultados na análise de 20 anos

PAY-BACK SIMPLES:	4,9 anos
TAXA INTERNA DE RETORNO:	27,2%
VALOR PRESENTE LÍQUIDO:	R\$ 32.614

5.4.2. Solar Fotovoltaico

Os parâmetros adotados para a análise financeira do sistema solar fotovoltaico são:

ANÁLISE FINANCEIRA				
PREMISSAS ADOTADAS:				
Valor do Investimento:	R\$ 164.526	Taxa Desconto:	8,00%	% a.a.
Vida Útil Sistema:	25 anos	Inflação Energia:	5,00%	% a.a.
Troca de Inversores:	13 anos	Capital Próprio:	100%	
Manutenção:	0,50%			% Inv a.a.
Perda Produção:	0,75%			% a.a.
Tarifa Energia:	R\$ 0,42 /Kwh			

Investimento Instalação: R\$ 164.526
 Ano 1 - Retorno estimado: R\$ 12.996

Ano	Fluxo Caixa (R\$)	Valor Acumulado (R\$)	Valor Acumulado descontado (R\$)
1	-R\$ 152.352	-R\$ 152.352	-R\$ 152.352
2	R\$ 12.721	-R\$ 139.631	-R\$ 140.573
3	R\$ 13.292	-R\$ 126.339	-R\$ 129.177
4	R\$ 13.886	-R\$ 112.452	-R\$ 118.154
5	R\$ 14.506	-R\$ 97.946	-R\$ 107.491
6	R\$ 15.152	-R\$ 82.795	-R\$ 97.179
7	R\$ 15.825	-R\$ 66.970	-R\$ 87.207
8	R\$ 16.526	-R\$ 50.444	-R\$ 77.564
9	R\$ 17.257	-R\$ 33.187	-R\$ 68.241
10	R\$ 18.018	-R\$ 15.169	-R\$ 59.228
11	R\$ 18.812	R\$ 3.643	-R\$ 50.514
12	R\$ 19.639	R\$ 23.282	-R\$ 42.091
13	-R\$ 19.735	R\$ 3.547	-R\$ 49.928
14	R\$ 21.399	R\$ 24.946	-R\$ 42.060
15	R\$ 22.335	R\$ 47.282	-R\$ 34.455
16	R\$ 23.311	R\$ 70.593	-R\$ 27.107
17	R\$ 24.328	R\$ 94.920	-R\$ 20.006
18	R\$ 25.387	R\$ 120.308	-R\$ 13.144
19	R\$ 26.491	R\$ 146.799	-R\$ 6.515
20	R\$ 27.642	R\$ 174.440	-R\$ 110
21	R\$ 28.841	R\$ 203.281	R\$ 6.078
22	R\$ 30.090	R\$ 233.372	R\$ 12.055
23	R\$ 31.393	R\$ 264.764	R\$ 17.830
24	R\$ 32.750	R\$ 297.514	R\$ 23.407
25	R\$ 34.164	R\$ 331.678	R\$ 28.795
26	-R\$ 4.599	R\$ 327.079	R\$ 28.124
27	R\$ 37.174	R\$ 364.253	R\$ 33.149
28	R\$ 38.774	R\$ 403.027	R\$ 38.003
29	R\$ 40.442	R\$ 443.469	R\$ 42.691
30	R\$ 42.180	R\$ 485.649	R\$ 47.218

Resultados na análise de 25 anos

PAY-BACK SIMPLES:	10,8 anos
TAXA INTERNA DE RETORNO:	9,8%
VALOR PRESENTE LÍQUIDO:	R\$ 28.795

6. Conclusão e Considerações Finais

O processo de produção de cerveja utiliza principalmente energia elétrica e energia térmica na forma de calor e frio sendo que a temperatura do processo não ultrapassa 100°C. Nas cervejarias tradicionais é utilizado normalmente caldeira a gás produzindo vapor em temperaturas próximas de 150°C como fluido transmissor de calor.

Com a tecnologia atual de aquecimento solar é bastante factível atingir estas temperaturas que são consideradas apenas médias. Não é necessário sistema de rastreadores ou coletores concentradores para atingir estas temperaturas, sendo mais indicados os coletores fixos de alta eficiência. Os coletores de tubo a vácuo são bastante difundidos e com boa relação custo x benefício para este tipo de aplicação.

Com a Resolução Normativa 482 da ANEEL, abriu-se uma nova possibilidade de aplicação da energia elétrica de fonte fotovoltaica para auto-consumo com a criação do mecanismo de compensação de energia, através de sistemas Grid Tie, que funcionam em paralelo com a rede convencional de energia.

Analizamos neste trabalho a implantação de um sistema de aquecimento solar que reduz o consumo de gás no processo e um sistema fotovoltaico que gera 100% da energia elétrica da cervejaria.

Os sistemas analisados são bastante conhecidos e utilizados comercialmente no mundo todo. O processo de produção da cerveja não precisa sofrer alterações o que indica que a cervejaria solar possui viabilidade técnica de implantação.

Com a implantação da energia solar nos moldes propostos, a cervejaria tem uma redução de 99% do consumo de energia elétrica e 43% de redução no consumo de gás. Desta maneira a cervejaria reduz 75% do seu gasto com energia, que passa a ser fornecido pelos sistemas de aquecimento solar e fotovoltaico.

A Tabela 16 resume as condições de fornecimento de energia antes e após a utilização do sistema solar.

Consumo de Energia:	Elétrica	Gás GLP
Cervejaria Tradicional	2.604,0 kWh/mês	205,20 Kg/mês
Cervejaria Solar	32,0 kWh/mês	116,60 Kg/mês
Redução	99%	43%

Tabela 16 - Redução do consumo de energia na cervejaria

Fração de energia solar em termos de:	Energia	Financeiro
	<i>Considerando aprov. Energético* de 11,63kWh / kg GLP</i>	<i>Considerando custo de R\$0,42104/kWh e R\$4,00/kg GLP</i>
Cervejaria Tradicional	4.990,5 kWh/mês	R\$ 1.917,19 /mês
Cervejaria Solar	1.388,1 kWh/mês	R\$ 479,87 /mês
Redução	72%	75%

* Dados do fabricante da caldeira

Tabela 17 - Fração solar do fornecimento de energia na Cervejaria Solar

Os dois sistemas mostraram-se vantajosos do ponto de vista financeiro, considerando todo o período de vida útil. O investimento no sistema de aquecimento (solar térmico) se paga mais rapidamente (< 5 anos), sendo portanto recomendado como prioridade. O sistema fotovoltaico precisa de cerca de 11 anos para se pagar completamente (payback simples) e tem uma rentabilidade baixa que pode não ser satisfatória para alguns investidores.

Vale lembrar que não foram considerados nesta análise resultados como os ambientais e ganhos de imagem e marketing advindos da implantação de um sistema de energia limpa e renovável na cervejaria.

A Tabela 18 resume os dados da análise financeira para os dois sistemas (térmico e fotovoltaico)

Sistema	Unidade	Solar Fotovoltaico	Solar Térmico
Investimento	R\$	164.526	20.310
Energia gerada	kWh/mês	2.572	1.620
Receita (economias)	R\$/mês	1.083	354
Payback Simples	Anos	10,8	4,9
TIR	%	9,8%	27,2%
VPL	R\$	28.795	32.614

Tabela 18 - Resumo análise financeira

6.1.Outras Propostas para a Cervejaria Solar

Além do uso da energia solar, observou-se durante o trabalho uma infinidade de oportunidades de melhorias que possuem afinidade com a construção de uma cervejaria que não só utilize energia de fonte limpa e renovável, mas que seja eficiente energeticamente e provoque um nível mínimo de impacto na sociedade e ambiente onde esteja instalada. Registra-se abaixo algumas das oportunidades identificadas que podem ser melhor discutidas em futuros estudos.

- Implantação de sistema de monitoramento e gestão do consumo de energia
- Implantação de sistema de monitoramento e gestão do consumo de água
- Melhor recuperação do calor no processo (fervura, pasteurização, mosturação, resfriamento, outros)
- Tratamento de água e resíduos
- Destinação de resíduos produtores locais (adubação e alimentação animal)
- Utilização de fornecedores locais
- Utilização de equipamentos de alta eficiência (trocadores de calor, iluminação, motores, caldeira, etc.)
- Manutenção preventiva de equipamentos
- Educação e engajamento de funcionários e clientes
- Aproveitamento de iluminação natural

7. Bibliografia

ABNT NBR 15569:2008. Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto - Projeto e instalação. 2008

ALMEIDA, M. P. Qualificação de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede. Dissertação (Mestrado em Energia). São Paulo. 2012.

ANEEL, Resolução Normativa Nº 482, de 17/04/2012

ASHRAE. Active Solar Heating Systems Design Manual. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. 1998. Disponível em <<http://solar-rating.org/>>

CPFL PAULISTA. Taxas e Tarifas. Disponível em <<http://www.cpfl.com.br/Informaccedilotildees/TaxaseTarifas/tabid/206/Default.aspx>>. Acesso em 10/11/2012

CRESESB, Energia Solar Princípios e Aplicações. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br>>. Acesso em 03/10/2012

DUFFIE J. A.; BECKMAN W. A. Solar Engineering of Thermal Processes, 2ª Ed, EUA, Wiley, 1991.

IEA. Task33/IV - Potencial for Solar Heat in Industrial Processes. Claudia Vannoni, Riccardo Battisti, Serena Drigo. 2008. Madrid.

METEONORM. Mapa de radiação solar. Disponível <http://meteonorm.com/download/maps/>, acesso em 26/09/2012

NEOSOLAR. Informações fornecidas por Neosolar Energia e disponíveis em <<http://www.neosolar.com.br>>

PINTO NETO, A. F. C. Qualificação e etiquetagem de inversores para sistemas fotovoltaicos conectados à rede. Dissertação (Mestrado em Energia). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

POSHIP. The Potential of Solar Heat Industrial Processes - Final Report. 2001. European Commision.

SOLARBUZZ. Module Pricing. Disponível em <<http://www.solarbuzz.com/facts-and-figures/retail-price-environment/module-prices>>. Acesso em 26/09/2012.

SWERA. Solar Radiation Brazil - Global horizontal solar radiation in kWh/m²/day for 1 year organized into cells with 40km x 40km. Disponível em <<http://en.openei.org/datasets/node/567>>. Acesso em 16/10/2012

8. Anexos