O fluxograma abaixo representa a arquitetura do sistema energético. A solução da equipe de energia consistirá no dimensionamento do sistema de proteção, de motores, bombas, projeto de ventiladores e todo o balanceamento químico necessário para atender a demanda de produto final. O sistema contará com motores que serão conectados na rede e acionarão os ventiladores, bombas e o reator. Os apêndices A e B mostram o cálculo estequiométrico das reações, determinação de massas, volumes e uma estimativa de volume de ar necessário e vazão.

As bombas serão dimensionadas a partir da pressão necessária para elevar o fluido até o reator ou, no caso do ciclo de regeneração, do reator para o tanque de armazenamento da solução de captura. A solução de captura foi escolhida com base na literatura e deveria ser uma solução de hidróxido, sendo escolhida a soda cáustica, ou hidróxido de sódio, (NaOH). Para a regeneração da soda cáustica será utilizado o hidróxido de cálcio (Ca(OH)$\_2$), que irá ajudar na formação final de carbonato de cálcio (CaCO$\_3$), nosso produto final.

Os ventiladores foram projetados e dimensionados em conjunto com a equipe de estruturas. A figura \ref{fig: Campo de Aplicação de Ventiladores e Compressores} mostra o campo de aplicação de ventiladores e compressores. Dessa forma, se destacou a necessidade de escolher um ventilador do tipo axial, pois o sistema irá trabalhar com altas vazões e baixas quedas de pressão.

\begin{figure}[!h]

\centering

\includegraphics[width=7cm]{figuras/Henn, Ventiladoresecompressores.png}

\caption{Campo de Aplicação de Ventiladores e Compressores} Fonte: \cite{Henn2006}

\label{fig: Campo de Aplicação de Ventiladores e Compressores}

\end{figure}

\subsection{Dimensionamento da Fonte de Energia Ininterrupta}

Em situações de interrupção da rede elétrica, a carga referente aos dispositivos eletrônicos será automaticamente alimentada por um banco de baterias. O nobreak, mais conhecido como UPS (do inglês, Uninterruptible Power Supply), foi dimensionado para suprir as necessidades de alimentação dos equipamentos eletrônicos do sistema. A tabela \ref{Dispositivos Eletrônicos do Sistema} mostra os dispositivos que serão supridos pelo nobreak.

\begin{table}[htbp]

\caption{Dispositivos Eletrônicos do Sistema}

\centering

\label{Dispositivos Eletrônicos do Sistema}

\begin{tabular}{|p{4.7cm}|p{4.7cm}|p{4.7cm}|} \hline

\textbf{Quantidade de sensores no projeto} & \textbf{Componente} & \textbf{Potência máxima (W)} \\\hline

1 & Sensor Umidade DHT11 e temperatura ambiente & 0,007 \\\hline

1 & Sensor de EZO-CO2™ & 0,97\\\hline

1 & Sensor de Velocidade de rotação do ventilador & 0,25\\\hline

4 & Sensor de Nível LA26M-40 & 5 \\\hline

3 & Sensor Temperatura MLX90614 & 0,0072\\\hline

1 & Sensor de Pressão PXM309 & 0,0048\\\hline

1 & Sensor de nível e18-d80nk & 0,125\\\hline

1 & Raspberry Pi 3 Modelo B. & 2,5\\\hline

1 & Raspberry Pi 3 Modelo B+ & 3\\\hline

1 & MSP 430G2755 & 0,0009\\\hline

\end{tabular}

\end{table}

O modelo de nobreak escolhido foi o de dupla conversão \cite{balbinot2014analise}, onde o sinal de entrada é retificado e alimenta as baterias e a entrada do inversor. Em seguida, o inversor inverte a tensão CC em um sinal senoidal puro, sem ruídos e regulado em tensão e frequência. Quando a rede passa a oferecer valores abaixo dos permitidos, o retificador se bloqueia e as baterias entram instantaneamente em descarga, sem nenhum tempo de transferência.

Quando a rede elétrica retorna às condições normais, o retificador é religado, com partida rampa para evitar picos de partida. Existe, ainda, um ramo reserva para que em casos de falha na dupla conversão, no inversor, baterias ou no retificador, a carga seja transferida para a rede reserva. A figura \ref{UPS online} representa o diagrama simplificado do nobreak online de dupla conversão utilizado.

\begin{figure} [!h]

\centering

\includegraphics[width=9cm]{figuras/UPS\_Online.PNG}

\includegraphics[width=9cm]{figuras/UPS\_Online2.PNG}

\caption{Nobreak online de dupla conversão} Fonte: \cite{balbinot2014analise}.

\label{UPS online}

\end{figure}

Como o equipamento mais solícito do sistema ficará ligado por um período de até 5 horas, estimou-se esse período para a autonomia do nobreak. Para isso, a capacidade do equipamento deve ser de 59,40 Wh. A tensão nominal da bateria será igual a tensão de alimentação da maior carga, 12V. A corrente de projeto foi calculada se baseando no cenário em que pelo menos um de cada componente eletrônico é solicitado ao mesmo tempo, precisando assim de 10,3 A. Utilizando um fator de segurança de 1,7, a corrente de projeto será de 17 A. A figura \ref{Circuito Nobreak} representa o circuito do nobreak simplificado. A figura \ref{Diagrama Unifilar} mostra o diagrama unifilar do sistema caratco.

\begin{figure} [!h]

\centering

\includegraphics[width=15cm]{figuras/Circuito\_Simplificado\_Nobreak.PNG}

\caption{Circuito do Nobreak Simplificado}.

\label{Circuito Nobreak}

\end{figure}

\begin{figure} [!h]

\centering

\includegraphics[width=15cm]{figuras/DiagramaUnifilar.PNG}

\caption{Diagrama Unifilar do Sistema}.

\label{Diagrama Unifilar}

\end{figure}

\section{Sistema Energético}

\label{sec:energia}

O escopo da solução energética do sistema energético consiste na implementação de uma fonte de alimentação principal, uma fonte de alimentação de emergência para os dispositivos eletrônicos e todo o balanceamento químico necessário para atender a demanda de produto final. O dimensionamento de bombas e exaustores, em conjunto com a equipe de estruturas, foi realizado. Os apêndices A e B mostram o memorial de cálculos estequiométricos das reações, determinação de massas e volumes, e definição da vazão de projeto a partir do volume de ar necessário para capturar a quantidade necessária de CO$\_2$ equivalente à 1 crédito de carbono, no período de uma semana. O fluxograma da figura \ref{fig: Arq. Energia} representa a arquitetura proposta para o sistema energético.

\begin{figure} [!h]

\centering

\includegraphics[scale=0.6]{figuras/Arquitetura do sistema de Energia.PNG}

\caption{Arquitetura do Sistema Energético}.

\label{fig: Arq. Energia}

Fonte: Autoria Própria.

\end{figure}

As cargas do projeto serão alimentadas pela fonte de alimentação chaveada, havendo energia na rede elétrica, entretanto quando houver interrupção proveniente da rede elétrica haverá uma fonte de alimentação de emergência para assegurar o bom funcionamento dos equipamentos nesses casos e evitar possíveis distúrbios. A alimentação de emergência será dimensionada apenas para os dispositivos eletrônicos, pois são os equipamentos mais sensíveis de todo o sistema Catarco. Os equipamentos, como motores, possuirão dispositivos de proteção próprios contra sobrecargas e curto circuitos. O sistema também será alimentado pela rede, no caso de motores e bombas, e por um barramento feito com um transformador, para as eletroválvulas.

\subsection{Cargas do Sistema}

\label{subsec:cargas}

O sistema Catarco possui um conjunto de equipamentos que precisam estar em bom funcionamento para que os objetivos do projeto sejam alcançados. O levantamento das cargas do sistema possibilita a visão das demandas energéticas de todo o projeto.

\subsubsection{Sistema de Absorção de CO$\_2$}

O sistema de absorção de CO$\_2$, como relatado na seção \ref{sec:estrutura}, utiliza dois exaustores. Os exaustores foram selecionados de acordo com a vazão de ar necessária para suprir o volume de ar que possibilitasse a captura de CO$\_2$ esperada, em condições ideais, de forma que foi selecionado o modelo E80T6 da fabricante brasileira Ventisilva. O memorial de cálculos referente à vazão e volume de ar, e as planilhas construídas com o objetivo de automatizar os cálculos, se encontram no apêndice B. A tabela \ref{Características dos Motores dos Exaustores} apresenta as características dos motores que acionarão os exaustores.

\begin{table}[htbp]

\caption{Características dos Motores dos Exaustores}

\label{Características dos Motores dos Exaustores}

\centering

\begin{tabular}{c|c|c|c|c} \hline

\textbf{Modelo} & \textbf{Tensão [V]} & \textbf{Corrente [A]} &\textbf{Potência [W]} &\textbf{Quantidade} \\\hline

E80T6 & 220 & 6 & 1100 & 2 \\\hline

\end{tabular}

Fonte: Adaptação do Catálogo do Fabricante.

\end{table}

Ainda no sistema de absorção de CO$\_2$ serão necessárias quatro bombas. Duas delas serão bombas que farão a circulação da solução de captura, possibilitando que o fluido circule por toda a estrutura do filtro pelo tempo necessário para saturar de CO$\_2$. Após a saturação, as outras duas bombas serão responsáveis por fazer o transporte do produto da reação de NaOH com o CO$\_2$, o Na$\_2$CO$\_3$, para o reservatório.

O cálculo das alturas manométricas de cada seção, para circulação e para transporte para o reservatório, foi feito a partir da equação \ref{altura manométrica}. O memorial de cálculos para a escolha das bombas se encontra no apêndice \ref{Dimensionamento das Bombas}. No anexo X se encontram os catálogos do fabricante e as curvas de NPSH requerido. Os modelos escolhidos para as bombas, do sistema de absorção, e suas especificações podem ser observadas na tabela \ref{Características das Bombas de Circulação e Direcionamento para o Reservatório}.

\begin{equation}

\label{altura manométrica}

H\_m=(H\_s + H\_r + PC + C\_t)+5\%

\end{equation}

\begin{table}[htbp]

\caption{Características das Bombas de Circulação e Direcionamento para o Reservatório}

\label{Características das Bombas de Circulação e Direcionamento para o Reservatório}

\centering

\begin{tabular}{c|c|c|c|c} \hline

\textbf{Modelo} & \textbf{Tensão [V]} & \textbf{Corrente [A]} &\textbf{Potência [W]} &\textbf{Quantidade} \\\hline

BPR-9 & 220 & 0,5 & 120 & 4 \\\hline

\end{tabular}

Fonte: Adaptação do Catálogo do Fabricante.

\end{table}

\subsubsection{Reator}

O produto da reação no interior do reator é NaOH regenerado e CaCO$\_3$. O NaOH estará em meio aquoso, devido a água formada na primeira etapa de captura, já o CaCO$\_3$ estará em fase sólida. Como esse processo finaliza formando um líquido com sólidos em suspensão foi necessário encontrar uma bomba, para levar esse fluido até a fase de separação, que atendesse essa especificação. Com as alturas de sucção e recalque foi calculada a altura manométrica que a bomba precisaria vencer, pela equação \ref{altura manométrica}. Todo o memorial de cálculo se encontra no apêndice \ref{Dimensionamento das Bombas}. As características da bomba selecionada podem ser observadas na tabela \ref{Características da Bomba para Líquidos com Sólidos em Suspensão}. O catálogo dessa bomba, própria para atuar em líquidos com sólidos em suspensão, está no Anexo X.

\begin{table}[htbp]

\caption{Características da Bomba para Líquidos com Sólidos em Suspensão}

\label{Características da Bomba para Líquidos com Sólidos em Suspensão}

\centering

\begin{tabular}{c|c|c|c|c} \hline

\textbf{Modelo} & \textbf{Tensão [V]} & \textbf{Corrente [A]} &\textbf{Potência [W]} &\textbf{Quantidade} \\\hline

BCA-40 & 220 & 2,5 & 560 & 1 \\\hline

\end{tabular}

Fonte: Adaptação do Catálogo do Fabricante.

\end{table}

\subsubsection{Separação das fases Sólida e Líquida}

A separação das fases presentes no fluido do reator se dará por um decantador centrífugo. As especificações do motor que alimentará a centrífuga de decantação se encontram na tabela \ref{Características do Motor do Decantador Centrífugo}

\begin{table}[htbp]

\caption{Características do Motor do Decantador Centrífugo}

\label{Características do Motor do Decantador Centrífugo}

\centering

\begin{tabular}{c|c|c|c|c} \hline

\textbf{Modelo} & \textbf{Tensão [V]} & \textbf{Corrente [A]} &\textbf{Potência [W]} &\textbf{Quantidade} \\\hline

WEG W22 & 220 & 8,15 & 1793 & 1 \\\hline

\end{tabular}

Fonte: Adaptação do Catálogo do Fabricante.

\end{table}

\subsubsection{Sistema de realimentação de NaOH}

O sistema de realimentação é o sistema que precisa de uma bomba que deve vencer a maior altura de todo o projeto. O fluido deve ser levado do reservatório de NaOH para as calhas do sistema de absorção de CO$\_2$. A bomba selecionada para essa função foi a BCR-200. As características dessa bomba podem ser observadas na tabela \ref{Características da Bomba de Realimentação do Sistema}, e todo o memorial de cálculo utilizado para fazer seu dimensionamento se encontra no apêndice \ref{Dimensionamento das Bombas}. O catálogo do fabricante e as curvas de NPSH requerido se encontram no anexo X.

\begin{table}[htbp]

\caption{Características da Bomba de Realimentação do Sistema}

\label{Características da Bomba de Realimentação do Sistema}

\centering

\begin{tabular}{c|c|c|c|c} \hline

\textbf{Modelo} & \textbf{Tensão [V]} & \textbf{Corrente [A]} &\textbf{Potência [W]} &\textbf{Quantidade} \\\hline

BCR-2000 & 220 & 0,85 & 186 & 1 \\\hline

\end{tabular}

Fonte: Adaptação do Catálogo do Fabricante.

\end{table}

\subsubsection{Dispositivos Eletrônicos}

Os dispositivos eletrônicos são os responsáveis por todo o acionamento e controles do sistema Catarco. A tabela \ref{Dispositivos Eletrônicos} mostra os dispositivos eletrônicos utilizados no sistema, melhor especificados na seção \ref{sec:eletronica}.

\begin{table}[htbp]

\caption{Dispositivos Eletrônicos}

\label{Dispositivos Eletrônicos}

\centering

\begin{tabular}{c|c|c|c|c} \hline

\textbf{Equipamento} & \textbf{Tensão [V]} & \textbf{Corrente [A]} &\textbf{Potência [W]} &\textbf{Quantidade} \\\hline

Eletroválvula & 24 & 9,9 & 237,6 & 4\\

Servo Motor & 5 & 0,9 & 4,5 & 1\\

Módulo Relé & 12 & 1,5 & 18 & 2\\

Sensor$^a$ & 5 & 0,001 & 0,005 & 1\\

Sensor CO$\_2$ & 5 & 0,194 & 0,97 & 1\\

Sensor rpm & 12 & 0,1 & 1,2 & 2\\

Sensor nível & 12 & 0,417 & 5 & 4\\

Sensor$^b$ & 5 & 0,008 & 0,004 & 2\\

Sensor$^c$ & 5 & 0,020 & 0,01 & 1\\

Sensor nível & 5 & 0,025 & 0,125 & 2\\

Raspberry &5 & 0,6 & 3 & 1\\

MSP & 5 & 0,000180 & 0,001 & 2\\

NRF24L01& 3,6 & 0,017 & 0,06 & 3\\\hline

\end{tabular}

$^a$Umidade e temperatura. $^b$Temperatura.

$^c$Pressão.

\end{table}

\subsection{Fonte de Alimentação}

A fonte de alimentação principal do sistema será chaveada, devido ao seu menor tamanho e maior eficiência. Seu dimensionamento se dará a partir das cargas levantadas na seção anterior. Entretanto, a fonte chaveada fará o barramento para alimentação de 12V. Para as eletroválvulas alimentadas em 24V, utilizaremos um transformador Trafo Hunion 220V para 24V. Os motores e bombas serão alimentados pela rede alternada em 220V, devido às especificações dos equipamentos. O apêndice \ref{Diagrama Unifilar} mostra o diagrama unifilar do sistema Catarco.

\subsubsection{Sistema de alimentação de emergência}

Em situações de interrupção da rede elétrica, a carga referente aos dispositivos eletrônicos será automaticamente alimentada por um banco de baterias. O nobreak, mais conhecido como UPS (do inglês, \emph{Uninterruptible Power Supply}), foi dimensionado para suprir as necessidades de alimentação dos equipamentos eletrônicos do sistema. Para isso, utilizaremos as cargas levantadas na tabela \ref{Dispositivos Eletrônicos}.

A fonte de alimentação emergencial foi dimensionada levando em consideração a corrente total do pior caso. Foi considerado que os sensores são equipamentos que precisam estar funcionando durante todo o processo do Catarco, e para seu bom funcionamento seus comunicadores e controladores também devem estar em funcionamento. Verificou-se que a corrente total utilizada por esses equipamentos seria 6,7 A. As eletroválvulas não foram consideradas para este caso, pois estarão alimentadas em outro barramento.

Considerando um fator de segurança de 1,5 para a corrente, encontrou-se a corrente de projeto de 10A. A fonte de alimentação emergencial proposta deve ter um carregador automático das baterias ligada à rede alternada e ter uma saída contínua regulada em 12V.

O modelo escolhido foi baseado no modelo online de dupla conversão\cite{balbinot2014analise}, onde o sinal de entrada é retificado e alimenta as baterias e a entrada do inversor. No entanto, para o nosso caso, não será necessário o uso do inversor, uma vez que as baterias já irão entregar a tensão CC adequada para as cargas. Quando a rede passar a oferecer valores abaixo dos permitidos, o retificador se bloqueia e as baterias entram instantaneamente em descarga, sem nenhum tempo de transferência. Esse modelo foi escolhido devido à sensibilidade dos dispositivos do sistema, para que não haja distúrbios, em relação à mínima interrupção de energia, que afete a sua funcionalidade. O acionamento do circuito de alimentação de emergência será feito por meio de um relé que, quando ocorrer falha na fonte chaveada causada por interrupções na rede, irá alternar a chave para a alimentação das baterias. O relé escolhido foi o reversor selado NA/NF - 15A/12V, de 5 terminais.

As baterias foram dimensionadas para alimentar 12V, que é a maior tensão necessária dos dispositivos. A autonomia da bateria foi definida para durar por até 5 horas, uma vez que os sensores não podem ser desligados. A corrente de projeto estabelecida, de 10A, e considerando 5 horas de ininterrupção, a autonomia da bateria deve ser de 50Ah. A figura \ref{fig: circuito nobreak} mostra o esquemático do circuito de carregamento flutuante da bateria.

\begin{figure} [!h]

\centering

\includegraphics[scale=0.6]{figuras/cap6/Circuito do carregador flutuante nobreak.png}

\caption{Circuito carregador da Bateria.}

\label{fig: circuito nobreak}

(a) circuito retificador de onda completa. (b) conversor cc/cc. (c) circuito carregador flutuante.Fonte: Autoria Própria.

\end{figure}

%\subsubsection{Dimensionamento de Condutores}

%O dimensionamento dos condutores foi feito de acordo com a norma NBR 5410/2004, com o objetivo de estabelecer as condições da instalação elétrica garantindo, assim, o funcionamento adequado da instalação, conservação dos bens presentes no local e proteção elétrica.

\subsection{Dispositivos de Proteção e Barramentos}

A tensão de alimentação dos motores e das bombas é 220V. Apesar dos motores serem trifásicos e das bombas monofásicas, seus circuitos precisam ser protegidos. Algumas outras cargas do sistema, também irão precisar de tensões específicas, inferiores à tensão disponibilizada pelas fontes de alimentação chaveada, emergencial e pelos outros barramentos. Por isso, foi necessário a utilização de um conversor abaixador de tensão CC/CC. O nível de tensão desejado é de 5V, optou-se pela utilização do módulo regulador de tensão CC/CC Lm2596 Step Down 12V P/ 5V. O detalhamento dos dispositivos de proteção e dos barramentos incluídos no projeto foi feito na seção\ref{sec:eletronica\_energia}.

Para proteger o sistema contra sobrecorrente, evitando danos no isolamento dos condutores ou componentes quando houver sobrecarga ou curto-circuito, foi dimensionado um fusível para uma corrente, pelo menos, 20\% maior que a corrente de operação do circuito protegido. Para o cálculo da corrente do fusível foi considerada a tensão de 220V, pelo local que será instalada. No barramento do transformador (24V) foi escolhido um fusível de vidro 5x20 - 6A 250V e no barramento da fonte chaveada (12V) um fusível de vidro 5x20 - 0,5A 250V.

\begin{equation}

I\_{fusível,trafo} = 1,2 \cdot \frac{P\_{operação}}{V\_n \cdot FP \cdot \eta} = \frac{950,6 \cdot 1,2}{220 \cdot 1 \cdot 1} = 5,18A

\end{equation}

\begin{equation}

I\_{fusível,fonte} = 1,2 \cdot \frac{68}{220\cdot 1 \cdot 1} = 0,371 A

\end{equation}

\newpage