

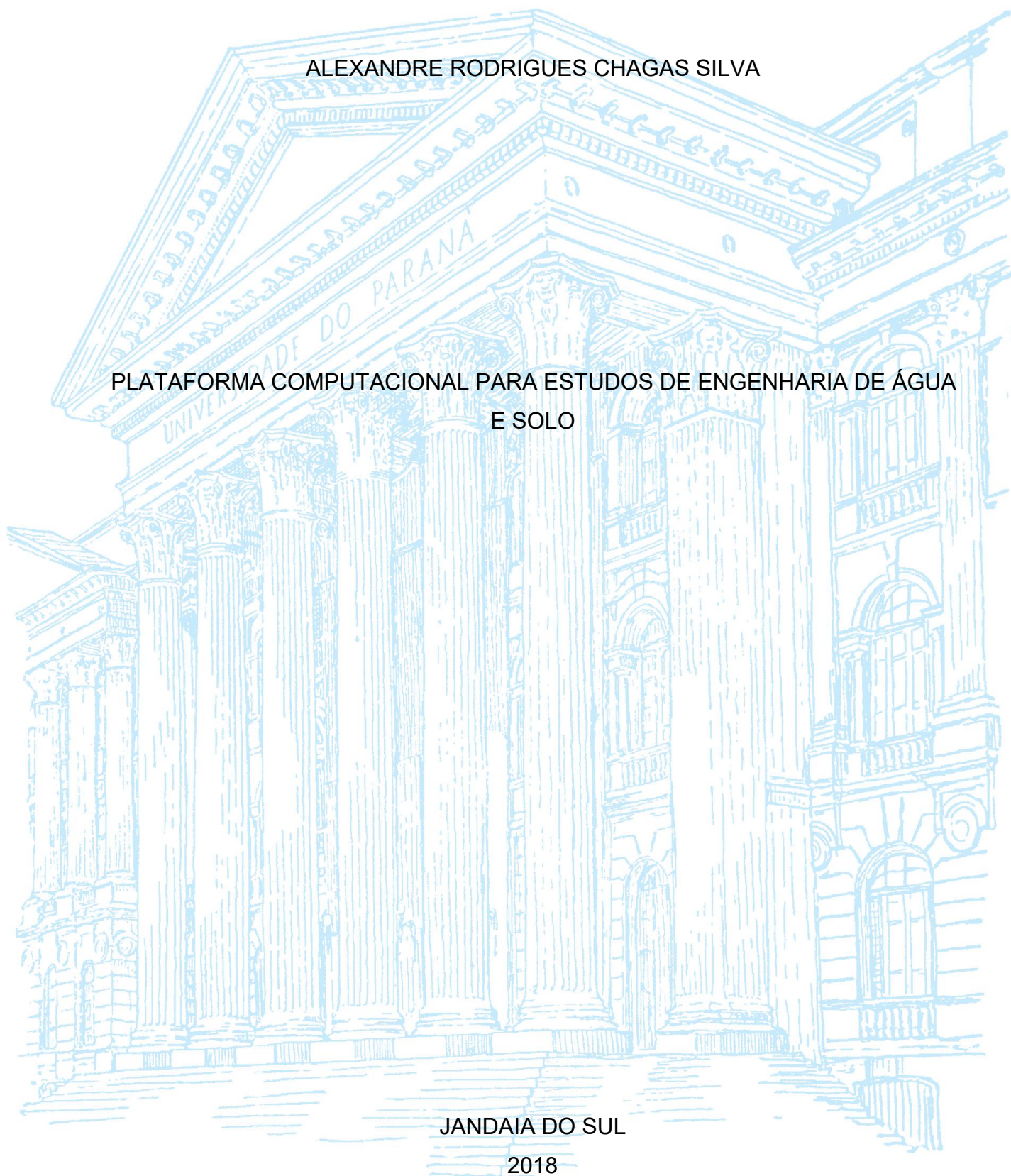
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ALEXANDRE RODRIGUES CHAGAS SILVA

PLATAFORMA COMPUTACIONAL PARA ESTUDOS DE ENGENHARIA DE ÁGUA
E SOLO

JANDAIA DO SUL

2018



ALEXANDRE RODRIGUES CHAGAS SILVA

PLATAFORMA COMPUTACIONAL PARA ESTUDOS DE ENGENHARIA DE ÁGUA
E SOLO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Agrícola, Campus Avançado em Jandaia do Sul, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. André Luiz Justi

JANDAIA DO SUL

2018

Silva, Alexandre Rodrigues Chagas
S586p Plataforma computacional para estudos de engenharia de água e solo/
Alexandre Rodrigues Chagas Silva. Jandaia do Sul: 2018.
55 p.: il.

Orientador: Prof. Dr. André Luiz Justi.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal
do Paraná. Campus Jandaia do Sul. Curso de Graduação em Engenharia
Agrícola.

1. Software livre. 2. Engenharia - Software. 3. Computadores digitais.
Monografia. I. Züge, Alexandre Prusch. orient. II. Título. III. Universidade
Federal do Paraná.

CDD: 005.1

Sistema de Bibliotecas/UFPR, Biblioteca do Campus Jandaia do Sul
Layane Feifer Calixto Janjacom CRB9/1711

TERMO DE APROVAÇÃO

ALEXANDRE RODRIGUES CHAGAS SILVA

PLATAFORMA COMPUTACIONAL PARA ESTUDOS DE ENGENHARIA DE ÁGUA E SOLO

TCC apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Agrícola, Campus Avançado em Jandaia do Sul, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola.



Prof. Dr. André Luiz Justi
Orientador – Engenharia Agrícola, UFPR



Prof. Dr. Maycon Diego Ribeiro
Engenharia Agrícola, UFPR



Prof. Dr. Carlos Henrique Wachholz de Souza
Engenharia Agrícola, UFPR

Jandaia do Sul, 03 de dezembro de 2018.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter me guiado até o presente momento.

Aos meus pais Alexandre Chagas Silva e Adriana Rodrigues Chagas Silva, pelo apoio e dedicação, inclusive nas horas em que já havia convencido a mim mesmo de que a desistência era o melhor caminho, encontrei em ambos uma rocha sólida recheada de motivação.

Ao meu irmão Ygor Henrique Chagas Silva, companheiro de trajetória desde o nascimento e, por 5 anos durante a graduação, me ajudou a superar desafios, caminhando lado a lado.

A Quézia Bassaco Nunis, Mauro Bassaco Nunis e Ranieri Augusto Bassaco Nunis, pois tiveram importante contribuição ao se tornarem minha segunda família.

A todos os professores que me ajudaram a chegar até aqui, compartilhando seu conhecimento. Em especial ao Dr. André Luiz Justi, orientador por 4 anos durante essa graduação, que tem sido peça chave para meu crescimento pessoal e profissional.

A todos os contribuintes pagantes de impostos por possibilitarem a minha formação em uma universidade pública gratuita e de qualidade.

Todas as vitórias ocultam uma abdicação.

Simone de Beauvoir

RESUMO

O presente trabalho refere-se à construção de uma plataforma computacional para divulgação de sistemas relacionados a estudos de Engenharia de Água e Solo, assim como a apresentação de seus respectivos códigos-fonte para livre apreciação, utilização e implementação de melhorias. Dessa forma é possível a utilização de campos de inserção de dados/informações para que o usuário tenha plena ciência das funções desempenhadas por cada sistema disponível, contando ainda com formas de acesso às ferramentas, com links de referência e download. Durante esse trabalho serão discutidos sobre quatro sistemas computacionais (dois relacionados a estudos de Engenharia Hidráulica, um de Ciência dos Solos e um de Engenharia de Irrigação) e apresentação da plataforma. O funcionamento do primeiro sistema apresentado é limitado aos sistemas operacionais Linux (Ubuntu e outras distribuições derivadas) e Windows (XP, Vista, 7, 8 e 10), por se tratar de um software desenvolvido através da *IDE* (ambiente de desenvolvimento integrado) Lázarus; seu objetivo é auxiliar durante o dimensionamento de sistemas de recalque hidráulico na Engenharia Agrícola. Não obstante o segundo software apresentado foi desenvolvido através da mesma *IDE*, porém, com o objetivo de auxiliar durante cálculos relativos a determinação de índices físicos do solo, granulometria, plasticidade e consistência. O terceiro sistema apresentado, assim como o quarto, foi desenvolvido com a utilização de tecnologias de desenvolvimento web, buscando a compatibilidade com sistemas operacionais em dispositivos mobile e desktop, simultaneamente, além de, no caso do terceiro sistema, eliminar a necessidade de servidor, com a possibilidade de ser utilizado online ou *offline*, conforme a necessidade do usuário. Seu objetivo é ser uma versão do primeiro software apresentado, com maior compatibilidade, valendo-se apenas de suas principais funções (determinação do regime de escoamento, cálculos de perdas de carga, determinação do N.P.S.H disponível e da potência absorvida no eixo da bomba).

Palavras-chave: Software didático. Software livre. Plataforma de softwares de Engenharia.

ABSTRACT

The present work refers to the construction of a web platform for the dissemination of systems related to soil and water studies, as well as the presentation of their respective source code for free appreciation, use and implementation of improvements. In this way it is possible to use fields of data insertion / information so that the user is fully aware of the functions performed by the system in question, also having access to the tools, with reference links and download. During this work will be discussed on four systems (two related to studies of Water Engineering, one of soil science e one of Irrigation Engineering) and presentation of the platform. The operation of the first system presented is limited to the Linux operating systems (Ubuntu and derivatives) and Windows (xp, vista, 7, 8 and 10), because it is a software developed through the IDE (integrated development environment) Lazarus; its objective is to assist during the sizing of hydraulic repression systems in Agricultural Engineering. Nevertheless, the second software presented was developed through the same IDE, but with the objective of assisting in calculations concerning the determination of soil physical indexes, granulometry, plasticity and consistency. The third system presented, as well as the fourth one, was developed with the use of web development technologies, seeking compatibility with operating systems in mobile and desktop devices simultaneously, and, in the case of the third system, eliminate the need for server, with the possibility of being used online or offline, as needed; its objective is to be a version of the first software presented, with greater compatibility, using only its main functions (determination of the flow regime, calculations of losses of load, determination of N.P.S.H available and the power absorbed in the axis of the pump).

Keywords: Educational Software. Free software. Engineering software platform.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxo de ações na plataforma.....	17
Figura 2 - Ferramentas disponíveis na plataforma.....	18
Figura 3 - Formulário de cadastro das ferramentas na plataforma.....	19
Figura 4 - Fluxo de informações do software HAAS desktop.....	20
Figura 5 - Configuração visual do menu inicial do software HAAS desktop	20
Figura 6 - Formulário para classificação do regime de escoamento.....	22
Figura 7 - Formulário para calcular perda de carga na tubulação	24
Figura 8 - Formulário para calcular perdas de carga causadas por peças especiais	25
Figura 9 - Formulário para calcular a potência do motor em sistema de recalque hidráulico.....	27
Figura 10 - Formulário para calcular custo anual de bombeamento em motores a combustão.....	28
Figura 11 - Divisão do software solos v1.0.....	30
Figura 12 - Formulário “menu inicial” do software Solos v1.....	31
Figura 13 - Representação gráfica das 3 fases do solo.....	32
Figura 14 - Formulário para calcular o índice de vazios do solo.....	34
Figura 15 - Formulário: Porcentagem de material passante nas peneiras.....	36
Figura 16 - Formulário para determinar o limite de liquidez do solo.....	37
Figura 17 - Formulário para calcular o índice de consistência do solo.....	38
Figura 18 - Fluxo de informações do sistema HAAS WEB.....	39
Figura 19 - Etapas para dimensionamento de sistemas de recalque (HAAS WEB).	40
Figura 20 - Resultados para perdas de carga nas tubulações de sucção e recalque	41
Figura 21 - Cálculos para verificação do N.P.S.H disponível.....	42
Figura 22 - Cálculo para encontrar a potência da bomba.....	42
Figura 23 - Fluxo de ações para utilização do sistema irriga dim.....	43
Figura 24 - Formulários de cadastro e login para o sistema irriga dim.....	44
Figura 25 - Central de projetos do sistema Irriga dim.....	45
Figura 26 - Formulário de pesquisa do sistema irriga dim.....	46
Figura 27 - Formulário para determinar a disponibilidade de água no solo para irrigação.....	48
Figura 28 - Formulário para ET0 através do método indireto - Blaney Criddle Modificado (FAO).....	49

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	12
2.1	SOFTWARE COMO FERRAMENTA DE APRENDIZAGEM.....	12
2.2	SOFTWARE APLICADO NA ENGENHARIA DE ÁGUA E SOLO.....	12
2.3	A LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO JAVASCRIPT.....	13
2.4	A LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO PHP.....	14
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	15
4	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	17
4.1	PLATAFORMA COMPUTACIONAL PARA ESTUDOS.....	17
4.2	HAAS DESKTOP.....	19
4.3	SOFTWARE DESKTOP SOLOS V1.0.....	30
4.4	SISTEMA HAAS WEB.....	39
4.5	SISTEMA IRRIGA DIM.....	43
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	50
5.1	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	50
	REFERÊNCIAS.....	51

1 INTRODUÇÃO

Softwares de código aberto facilitam seu estudo e, permitem intercâmbio de informações entre a comunidade envolvida, favorecendo o aprendizado (MAYER & MIOTTO, 2017). Aprendizado no sentido de permitir não só acesso ao código em si, mas aos comentários (caso existam) e fluxo de instruções que permitem ao sistema realizar suas funções, ou seja, a essência das técnicas de engenharia empregadas e disponibilizadas para uso através da interface de usuário, também são passíveis de serem visualizadas e compreendidas. A utilização de um software para estudos, pode transformar não apenas a forma como o aluno aprende, mas permite também o desenvolvimento de habilidades e competências (PEREIRA & SILVA, 2012).

Nesse sentido, softwares aplicados na engenharia agrícola, podem contribuir para uma melhor análise de situações problema e, para o planejamento que se faz necessário durante projetos (DOS REIS, 2005).

Em contraste a esse fato, ainda há carência de ferramentas com potencial de auxiliar durante a tomada de decisão no meio agrícola, principalmente as relacionadas à tecnologia da informação (PIACENTINI et al., 2012). De acordo com ZANATTA & VARELLA (2007), sistemas aplicados a resolução eficiente de problemas relacionados a atividade agrícola tendem a suprir essa demanda. Portanto, um fator tão importante quando o desenvolvimento de soluções, é sua disponibilidade para utilização, facilitando assim que, sua utilização seja realizada por um número maior de pessoas.

Nessas atribuições podem ser incluídas: reduzir processos repetitivos, mostrar de forma ágil os resultados obtidos e aproveitar uma grande diversidade de dados para a tomada de decisão, seja ela automática, ou não (PALOSCHI et al., 2016). Contribuindo assim, para uma diminuição na lacuna de tempo, entre o surgimento de uma necessidade e a obtenção de possível(eis) solução / soluções.

Portanto, esse trabalho tem por objetivo a criação de uma plataforma computacional para divulgação de softwares relacionados a Engenharia de Água e Solo, de forma que, estudantes, entusiastas ou profissionais da área, consigam manipular o código fonte, através da realização de download de uma cópia do projeto (todas as ferramentas desse trabalho estão disponíveis em: <https://github.com/alexandreacademicoufpr>) e, assim, adequar as suas necessidades específicas, caso necessário.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 SOFTWARE COMO FERRAMENTA DE APRENDIZAGEM

OLIVEIRA et al, (2002), ressaltam a importância do software educacional para reforço aos conhecimentos e habilidades adquiridas, sendo este também, uma forma de permitir um aprendizado expressivo para aqueles que os utilizam.

Além desses benefícios, por possuírem expressiva capacidade de realizar cálculos, ferramentas computacionais podem auxiliar durante a realização de testes em fase de projeto. Segundo BOTREL e MARQUES (2000), a utilização de software nessa fase de projeto pode facilitar e agilizar a realização de testes simulando diversas situações, por permitirem a realização de cálculos de forma automática. Sendo essa propriedade um meio para resolução de diversas situações problema, e/ou conferência de resultados previamente obtidos pelo aluno.

Assim, permitem ganho em eficiência ao entregar resultados de cálculos, considerando que ao fazer uso de ferramentas desse gênero o usuário é capaz de realizar operações com maior velocidade. Para SILVA, JUSTI e SAIZAKI (2018, p. 27), sob esse ponto de vista é possível afirmar que, com o auxílio de softwares didáticos, há maior velocidade na tomada de decisão, culminando em ganho de competitividade.

Isso não significa o abandono do pensamento crítico, pelo contrário, seja qual for a ferramenta computacional, é imprescindível que o estudante de engenharia compreenda como são realizados os cálculos.

O pré-requisito fundamental para uso do computador na resolução de problemas da engenharia é o estudante pensar de forma lógica e sistemática. Minimizar o problema através do uso de facilidades e/ou simplificações pode custar um preço muito alto para o futuro da engenharia. (ALEXANDRE et al., 2016 p. 01).

Portanto é de interesse comum que as ferramentas, apresentem indicações a respeito dos procedimentos adotados, como é comum em softwares didáticos.

2.2 SOFTWARE APLICADO NA ENGENHARIA DE ÁGUA E SOLO

MARQUES & MARQUES (2002), defendem que softwares utilizados na agricultura irrigada, permitem alterar o valor de variáveis e, são ferramentas importantes para determinação da viabilidade econômica de técnicas de irrigação.

Portanto softwares podem atuar testando valores e encontrando uma solução mais adequada em diversas situações, como por exemplo: Variar o diâmetro de uma tubulação e recalcular todas as perdas de carga, até chegar no custo final do sistema.

Dessa forma, sua utilidade pode ser expandida para uma visualização gráfica de resultados, o que permite não apenas uma avaliação numérica, mas também uma avaliação visual (GONÇALVES, FOLEGATTI & MATA, 2001). Essa avaliação é possível graças a interface gráfica do software, responsável por mostrar os dados ao usuário de forma amigável.

Com isso em mente, softwares podem auxiliar o usuário a tomar decisões de forma mais rápida e assertiva. Tornando-os ferramentas de elevado valor para aqueles que necessitam maximizar a eficiência de sistemas de irrigação dinamicamente e de forma rápida, aplicando apenas a lâmina de água necessária e no tempo correto (OLIVEIRA & CARVALHO, 1998).

Não obstante, na Engenharia de Solo os mesmos preceitos podem ser levados em consideração com relação ao planejamento de uso do solo e verificação de variáveis, como a determinação da compressibilidade por exemplo. Para REINART, ROBAINA, & REICHART (2003), essa determinação é possível através de softwares e apresenta uma boa aproximação, inclusive com a possibilidade de visualização gráfica de variáveis.

De acordo com TEN CATEN, et al (2012), softwares aplicados são ferramentas importantes quando se trata de solo e, necessitam ser explorados e melhorados pela comunidade científica, para que resultados objetivos sejam obtidos de forma rápida

2.3 A LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO JAVASCRIPT

Para BERTOLOSSI (2012), a linguagem de programação Javascript, tem como características principais: Baixo tempo gasto com desenvolvimento de aplicações, facilidade de atualização e portabilidade. Portanto é uma alternativa a ser considerada para o desenvolvimento de aplicações extensas e que necessitam estar presente em mais de um sistema operacional.

Essa “presença”, pode ser facilmente entendida, uma vez que o Javascript é uma linguagem executada a partir do browser e, pode manipular elementos de uma

página WEB (FOLLE, 2012, p.13). O que o torna uma linguagem poderosa para executar ações no lado cliente da aplicação (parte visível ao usuário).

2.4 A LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO PHP

A linguagem pré-processadora de hipertexto (PHP), pode ser utilizada de forma livre e gratuita em diferentes sistemas operacionais (MS Windows e Linux) e prover conexão com bancos de dados, como o MySQL (NIEDERAUER, 2005, p.5). O que a torna uma integradora entre lado servidor e lado cliente de uma aplicação.

Dessa forma a partir da versão 5, quando efetivamente se torna orientada a objetos, a linguagem se configura como uma das principais, quando o assunto é desenvolvimento de aplicações complexas para a internet (SERRÃO, 2006).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para a construção dos sistemas apresentados nesse trabalho, foram utilizadas linguagens de programação (Pascal, Javascript e PHP), linguagem de marcação de hipertexto (*HTML*), linguagem de estilo em cascata (*CSS*), padrão de modelos, visualizações e controladores; ambientes de desenvolvimento integrado (*MVC*), bancos de dados (*MySQL*), *frameworks* diversas e leitores de texto.

Cada uma dessas tecnologias tem um objetivo fim, seja esse objetivo o desenvolvimento de aplicações desktop ou web. Portanto, vale dizer que, não foram utilizadas tecnologias de desenvolvimento exclusivamente destinadas a dispositivos móveis e, para suprir essa demanda, o conceito utilizado para o desenvolvimento de aplicações web foi “*mobile first*”, no qual o foco do projeto é manter primariamente a compatibilidade com dispositivos móveis e de forma secundária, desktops. Portanto, uma estratégia que pode ser utilizada é o redimensionamento do tamanho e realocação de componentes da interface de usuário de acordo com o tamanho da tela empregada na visualização (COSTA, 2014).

Para o desenvolvimento do sistema, *Hydraulic Alternative Application System* para *WEB* (*HAAS WEB*), sistema voltado para o dimensionamento de sistemas de recalque hidráulico na Engenharia Agrícola, fez valer-se de tecnologias de desenvolvimento *front-end* (*lado cliente*) principalmente, como a linguagem de programação Javascript, com o objetivo de tornar a aplicação independente de um servidor. Dessa forma, não é necessário atualizar o *browser*, nem recarregar o conteúdo, no período entre cálculos. Possibilitando a utilização da ferramenta *offline*, uma vez que é carregado todo o conteúdo, o próprio Javascript realiza todas as operações através do navegador (NIEDERAUER, 2004).

O mecanismo de estilização de documentos (nesse caso o próprio conteúdo *HTML* do *HAAS WEB*), se fez presente em todas as sessões, dessa forma foi aplicada folha de estilo em cascata (*CSS 3*), para construção visual do sistema e, auxiliar em sua usabilidade. Nesse sentido visando melhorar a experiência do usuário, foi adotado o padrão bootstrap 3 (divisão da página em 12 colunas com larguras iguais), para manipular a disposição dos componentes na tela, adotando a responsividade (capacidade de se adaptar a diferentes tamanhos de tela). Por fim, foi utilizada a linguagem de marcação de hipertexto *HTML 5*, para mostrar o conteúdo no *browser*.

Durante o desenvolvimento da plataforma, todas essas tecnologias foram utilizadas, acrescidas do *Laravel 5.5 (LTS)* até o presente momento), uma *Framework* de desenvolvimento *web*, que utiliza a linguagem de programação *PHP 7* e, segue o padrão de desenvolvimento *MVC* (modelos, visualizações e controladores) e, além disso, possibilita a utilização do *composer*, o gerenciador de dependências *do PHP*, para iniciar a criação de projetos, sendo este o método utilizado no presente trabalho. Foi utilizada ainda, a linguagem de consulta estrutura *SQL* para realizar operações no banco de dados *MySql* gerenciado através do sistema gerenciador de bancos de dados, o *PHPMYADMIN*.

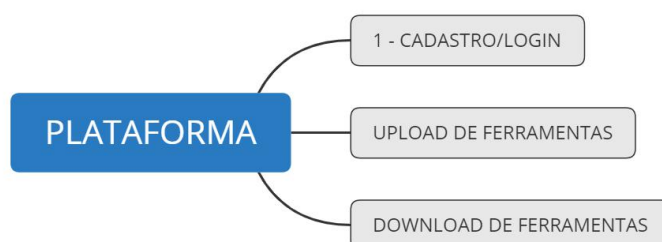
Além disso, para a construção dos softwares desktop, foi utilizado o ambiente de desenvolvimento integrado *Lázarus*, sendo este, considerado uma ferramenta *RAD* (de rápido desenvolvimento de aplicações), multiplataforma, capaz de gerar aplicações para *MS Windows* e *Linux*, além de ser software livre e gratuito. Através linguagem de programação de alto nível e orientada a objetos *Pascal* (ZIVIANI, 2004).

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

4.1 PLATAFORMA COMPUTACIONAL PARA ESTUDOS

Todas as ferramentas apresentadas nesse trabalho se encontram na plataforma. Para obtê-las não é necessário realizar cadastro, pois o mesmo somente é necessário caso haja interesse em efetuar o *upload* / *download* de uma ferramenta relacionada ao estudo de Engenharia de Água e Solo (Figura 1).

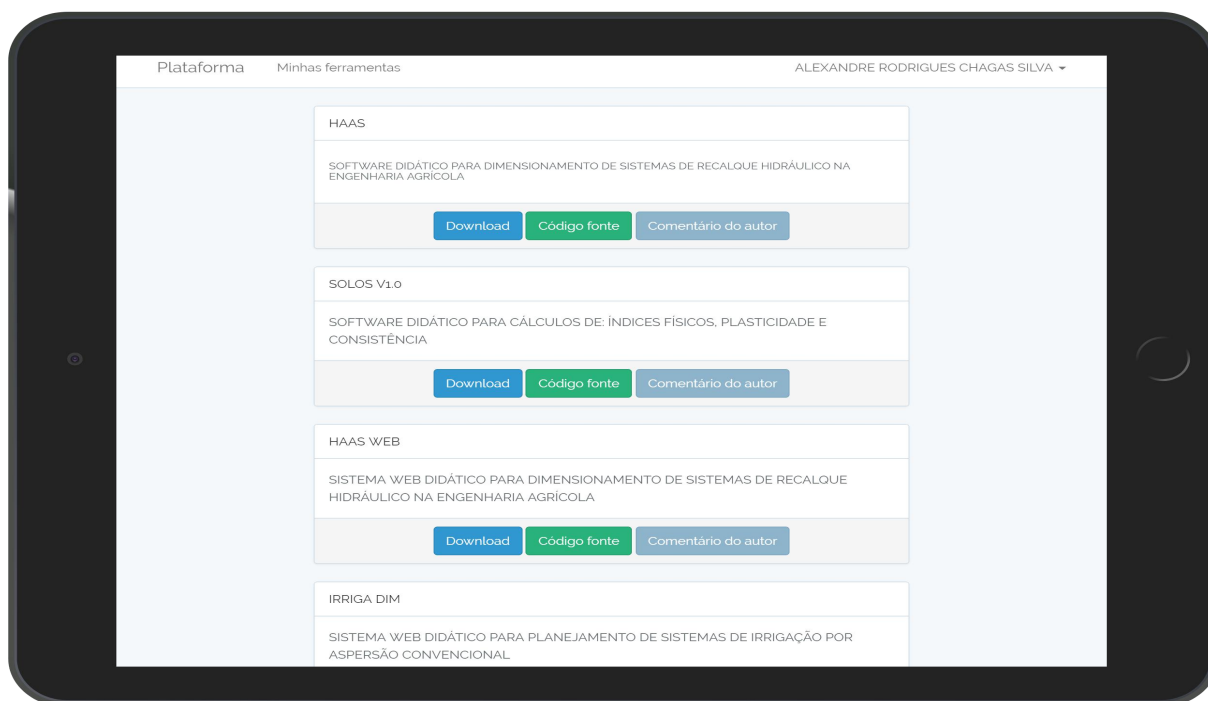
Figura 1 - Fluxo de ações na plataforma



FONTE: Arquivo pessoal do autor, 2018.

A primeira página apresenta todas as ferramentas (com paginação), ou seja, caso haja um número superior a 5 ferramentas, é adicionada uma nova página para exibir as demais (Figura 2).

Figura 2 - Ferramentas disponíveis na plataforma



FONTE: Arquivo pessoal do autor, 2018.

O menu “plataforma”, redireciona o usuário para a página principal, já o menu “minhas ferramentas” possibilita ao usuário inserir uma nova ferramenta e visualizar as ferramentas já inseridas por ele, assim como seu *status* (aprovado ou não aprovado). Para as publicações aprovadas, existem 3 opções (*Download*, código fonte e comentário do autor), ao clicar na última opção, um modal é exibido com dicas e/ou informações, que o autor da ferramenta julgou necessário adicionar durante o cadastro do sistema (Figura 3).

Figura 3 - Formulário de cadastro das ferramentas na plataforma

FONTE: Arquivo pessoal do autor, 2018.

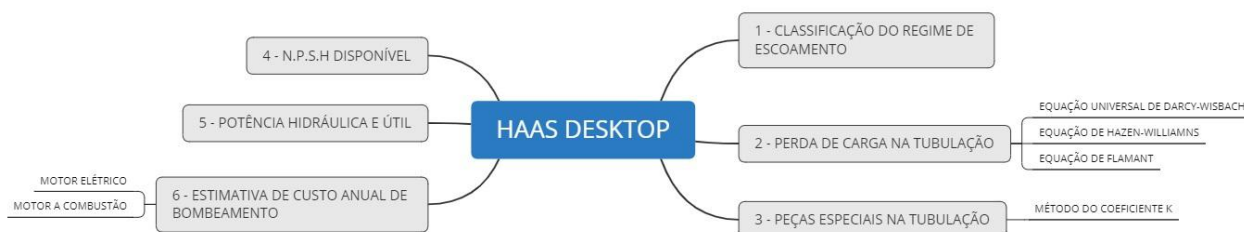
Ao finalizar o cadastro a ferramenta passará por verificação, podendo ser aprovada ou não, vale dizer que não é obrigatório o upload do código fonte da aplicação, pois o mesmo pode ser disponibilizado através do link para o repositório no GitHub.

4.2 HAAS DESKTOP

Para a construção de todos os sistemas foram utilizados ambientes de desenvolvimento relacionados a linguagem utilizada nos softwares que, serão descritas quando pertinente.

A primeira ferramenta a ser apresentada é um software didático para dimensionamento de sistemas de recalque hidráulico na Engenharia Agrícola. Seu fluxo de informações é centrado no software, que a compartilha com todos os formulários quando requisitado por um processo interno de realização de cálculo (Figura 4).

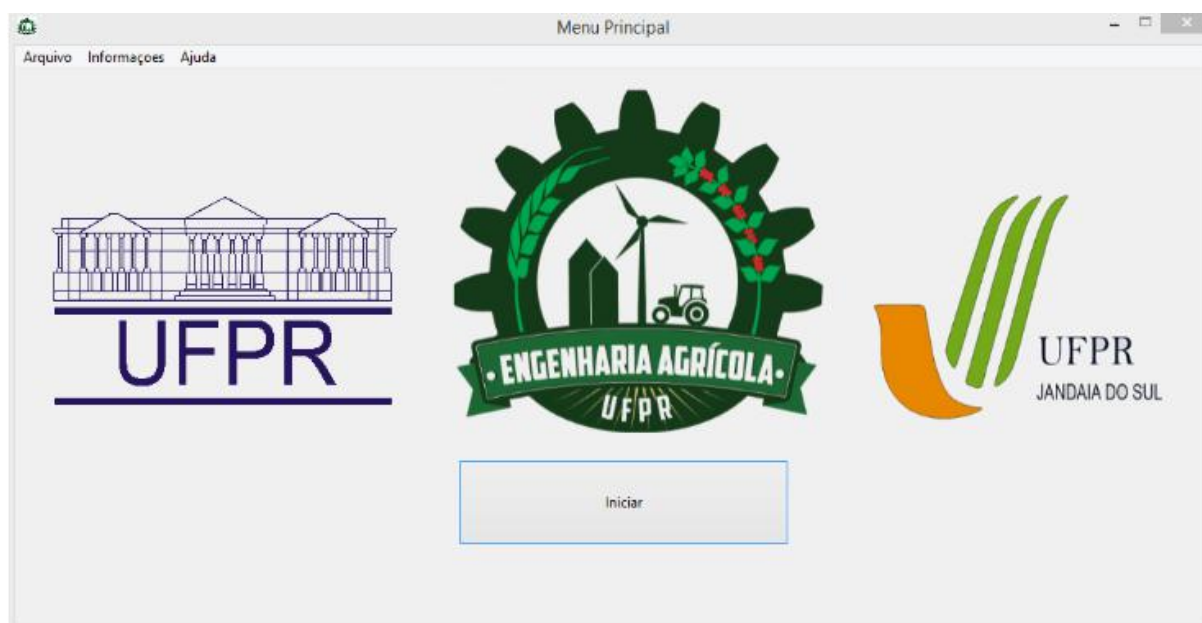
Figura 4 - Fluxo de informações do software HAAS desktop



FONTE: Arquivo pessoal do autor, 2018.

Para essa ferramenta foi utilizado o ambiente de desenvolvimento integrado Lázarus e linguagem de programação de alto nível Pascal, onde o resultado é um executável que pode ser utilizado no sistema operacional Microsoft *Windows* (nas versões XP, 7, vista, 8 e 10). Primeiramente foi construído um padrão de interface, conforme segue (Figura 5).

Figura 5 - Configuração visual do menu inicial do software HAAS desktop



FONTE: Arquivo pessoal do autor, 2015.

Os demais formulários que seguem, apresentam cálculos e resultados quando esses são requisitados, contando ainda com validação em tempo de execução dos dados apresentados, indicando não conformidades encontradas. Segue que, a interface em questão é responsável por indicar o regime de escoamento classificado de acordo com o número de Reynolds (Equação 1), precedido pelo cálculo da velocidade através da vazão (Equação 2).

$$Q = V.A \quad (1)$$

Onde:

Q = Vazão, em m^3s^{-1} ;

V = Velocidade, em m.s^{-1} ;

A = Área, em m^2 ;

$$\text{Re} = \frac{V.D}{\nu} \quad (2)$$

Onde:

Re = Número de Reynolds, adimensional;

V = velocidade, em m.s^{-1} ;

ν = Viscosidade cinemática, em $\text{m}^2.\text{s}^{-1}$;

D = Diâmetro, em m;

A partir desse mesmo padrão foi criado o formulário para o regime de escoamento na tubulação de sucção e recalque. Apesar de serem requisitados dados a respeito da temperatura, para que seja preenchida a massa específica (automaticamente), essas informações não serão utilizadas nesse formulário e, serão mantidas em memória pelo sistema para serem utilizadas posteriormente. A Figura 6 mostra composição da interface do usuário.

Figura 6 - Formulário para classificação do regime de escoamento

FONTE: Arquivo pessoal do autor, 2015.

Na sequência são iniciados os cálculos relativos as perdas de carga, que inclui comparações entre diferentes métodos (Equações 4,5 e 6), além disso são apresentadas as equações utilizadas para que, o usuário possa escolher qual deve ser utilizada. Nessa etapa deve ser selecionada qual tubulação será utilizada, na sucção e posteriormente no recalque. Antes de iniciar o cálculo propriamente dito, caso a tubulação selecionada contenha um valor válido (diferente de nulo) para a rugosidade absoluta utilizada na Equação universal de Darcy-Weisbach. O sistema realiza o pré-cálculo do fator de atrito pela Equação de Swamee-Jain (Equação 3).

$$f = \left\{ \left(\frac{64}{Re} \right)^8 + 9,5 \left[\ln \left(\frac{e}{3,7.D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) - \left(\frac{2500}{Re} \right)^6 \right]^{-16} \right\}^{0,125} \quad (3)$$

Onde:

- f = Fator de atrito, adimensional;
- Re = Número de Reynolds, adimensional;
- D = Diâmetro da tubulação, em m;
- e = Coeficiente de rugosidade, em m;

Imediatamente após esse procedimento são chamadas outras funções, sendo essas, as responsáveis por calcular a perda de carga através dos 3 métodos disponíveis caso os pré-requisitos sejam satisfeitos; assim como para a Equação universal é pré-requisito a rugosidade absoluta, para as equações: Hazen-Wiliams e Flamant serão, coeficiente de rugosidade e coeficiente de atrito, respectivamente. Essa validação ocorre automaticamente, logo após a seleção do material da tubulação, e preenchimento dos campos “comprimento da tubulação”, onde o gatilho está na modificação do campo, não sendo necessária qualquer intervenção do usuário, após realizar essa ação.

Por fim, o sistema auxiliar de conversão de unidades verifica se as mesmas estão coerentes, caso não estejam é feita a conversão sem aviso prévio, tal verificação e demais procedimentos são descritos de forma implícita nos métodos de cálculo de perda de carga segue, Equações 4; 5 e 6, no caso Equação Universal de Perda de Carga / Equação de Darcy-Weisbach, Equação de Hazen-Wiliams e Equação de Flamant, respectivamente

$$h_f = \frac{f.L.V^2}{D.2.g} \quad (4)$$

$$h_f = \frac{10,6451.Q^{1,852}.L}{C^{1,852}.D^{4,871}} \quad (5)$$

$$h_f = \frac{6,107.L.b.Q^{1,75}}{D^{4,76}} \quad (6)$$

Onde:

h_f = Perda de carga na tubulação, em m;

g = Aceleração gravitacional, 9.81 m.s^{-2} ;

L = Comprimento da tubulação, em m;

Q = Vazão, em $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$;

D = Diâmetro da tubulação, em m;

C = Coeficiente de rugosidade, adimensional;

b = Coeficiente de atrito, adimensional;

Após esse procedimento, é fornecida ao usuário uma informação em forma de texto, a respeito da eventual restrição de não conformidade, responsável por determinar Equação como inválida e, portanto, impedindo o sistema de oferecer a

opção de continuar os procedimentos, utilizando como base a Equação em questão. A interface do sistema responsável por realizar esses procedimentos é apresentada na Figura 7; ressalta-se que os formulários para a tubulação de sucção e recalque são similares, mudando apenas a sua identificação.

Figura 7 - Formulário para calcular perda de carga na tubulação

FONTE: Arquivo pessoal do autor, 2015.

Na sequência é apresentado um método do coeficiente K, responsável por calcular as perdas de cargas originadas através da presença de peças especiais na tubulação. Dessa forma, é somada a perda gerada por cada peça nas perdas totais em suas respectivas tubulações (sucção ou recalque).

É permitida a adição de no máximo 15 peças especiais diferentes, para cada tubulação, sendo que, ao preencher uma linha no sistema com: Peça especial correspondente, valor do coeficiente k (fornecido automaticamente pelo sistema), quantidade e perda gerada (resultado apresentado pelo algoritmo); é gerada uma nova linha até o limite de 15 linhas. Nesse formulário é apresentado um resumo, que mostra os dados obtidos até o momento, com os valores das perdas de carga calculadas nas tubulações, através dos 3 métodos disponíveis.

Por fim, é necessário selecionar se a bomba se encontra afogada (abaixo do nível da água) ou não afogada (acima do nível da água). É importante esse

processo, pois somente dessa forma é liberado o acesso à próxima “página”. A configuração visual pode ser visualizada na Figura 8.

Figura 8 - Formulário para calcular perdas de carga causadas por peças especiais

FONTE: Arquivo pessoal do autor, 2015.

O método do coeficiente k , prevê apenas a utilização da velocidade de escoamento, do número de peças e do próprio coeficiente, como variáveis, conforme a Equação 7.

$$h_{f_{loc}} = \frac{K \cdot V^2 \cdot n}{2 \cdot g} \quad (7)$$

Onde:

$H_{f_{loc}}$ = Perda de carga localizada, em m;

K = Coeficiente K da peça especial, adimensional;

V = Velocidade de escoamento, em $m \cdot s^{-1}$;

n = Número de peças, adimensional;

g = Aceleração gravitacional, $9.81 m \cdot s^{-2}$;

O N.P.S.H_d (*Net Positive Suction Head disponível*), é o principal parâmetro indicador da possibilidade de ocorrência do fenômeno conhecido como cavitação.

Esse fenômeno está relacionado com o aparecimento de bolhas, como resultado da redução de pressão total no sistema, o que pode ocasionar danos aos componentes do conjunto motor-bomba. Portanto sua verificação se faz necessária, o procedimento consiste em realizar cálculos para verificar se seu valor é maior ou igual ao N.P.S.H_{req} ; caso menor, modificações no projeto devem ser realizadas. Essa verificação é realizada pelo sistema, imediatamente após o cálculo da altura manométrica total, que se remete a soma de todas as perdas e desníveis do sistema de recalque. Dessa forma seguem as Equações 8 (altura manométrica total) e 9 (N.P.S.H disponível).

$$H_{mt} = H_{gs} + H_{gr} + H_{fs} + H_{fr} \quad (8)$$

$$N.P.S.H_d = \frac{P_a - P_v}{Y} \pm Z - (H_{s1}) \quad (9)$$

Onde:

H_{mt} = Altura manométrica total, em m;

H_{gs} = Altura geométrica de sucção, em m;

H_{gr} = Altura geométrica de recalque, em m;

H_{fs} = Soma das perdas de carga na tubulação sucção, em m;

H_{fr} = Soma das perdas de carga na tubulação de recalque, em m

$N.P.S.H_d$ = Energia disponível, em m;

P_a = Pressão atmosférica por área da tubulação, em Kgf.m²;

P_v = Pressão de vapor d'água por área da tubulação, em Kgf.m²;

Y = Peso específico da água, em Kgf.m⁻³

Z = Altura estática de sucção, em m;

H_{s1} = Somatório de todas as perdas de carga até a entrada da bomba, em m;

O sinal que atribui soma ou subtração à variável “altura estática de sucção”, se remete a ordem, ou seja, em aclave (soma), em declive (subtração), já a pressão atmosférica é estimada conforme o desnível em relação ao nível do mar; a pressão de vapor d'água por sua vez, é estimada de acordo com a temperatura conforme recomendado por PORTO, 2006.

A sequência de operações fornece a opção de calcular as “potências” da bomba; segue que, em um primeiro momento é realizado o cálculo da potência útil, também pode ser mencionada no sistema como potência hidráulica, sendo que, esta não leva em consideração o rendimento da bomba, porém é necessária para o

cálculo da potência absorvida no eixo do rotor da bomba e, essa variável sim, leva em consideração o rendimento, sendo portanto apresentada no formulário sobre “cálculo de potência”. Que utiliza a variável “altura manométrica total”, mantida em memória pelo software até esse momento. A potência hidráulica é descrita pela Equação 10 e, a potência absorvida na Equação 11.

$$P_h = \frac{Q.H.1000}{75} \quad (10)$$

$$P_b = \frac{P_h}{N_b} \quad (11)$$

Onde:

P_h = Potência hidráulica ou útil, em CV;

Q = Vazão, $m^3.s^{-1}$;

P_b = Potência absorvida no eixo do rotor, em CV;

N_b = Rendimento da bomba, adimensional;

H = Altura manométrica total, em m;

Ainda nesse formulário é possível escolher qual método deve ser utilizado para iniciar os cálculos de estimativa do custo anual de bombeamento, definido a partir do tipo de motor: Elétrico ou a combustão, conforme a Figura 9.

Figura 9 - Formulário para calcular a potência do motor em sistema de recalque hidráulico

The image shows a software window titled 'Arquivo Informações Ajuda'. It contains four input fields with dropdown menus: 'Rendimento desejado' (with a '%' dropdown), 'Vazão' (with a 'l/s' dropdown), 'Altura total de elevação' (with a 'm' dropdown), and 'Potência' (with a 'CV' dropdown). Below these fields is the heading 'SELECIONE O TIPO DE MOTOR'. Under this heading are two large buttons: 'Combustão' and 'ELÉTRICO'. At the bottom left is a 'Voltar' button.

Para motores a combustão são levadas em consideração durante o cálculo de estimativa de custo anual de bombeamento, em primeiro lugar, o combustível, sendo a partir deste obtidas as variáveis: Rendimento médio do motor, poder calorífico do combustível e massa específica do combustível. É importante dizer que algumas informações são preenchidas no momento de abertura do formulário, são elas: Vazão, Altura manométrica, rendimento da bomba. Dessa forma resta ao usuário informar apenas: O custo unitário do combustível e o tempo diário de operação do sistema. Esse formulário conta ainda com a sessão “AJUDA”, dedicada a explicar como são realizados os cálculos pelo software, como mostra a Figura 10.

Figura 10 - Formulário para calcular custo anual de bombeamento em motores a combustão

FONTE: Arquivo pessoal do autor, 2015.

Assim, o procedimento pode ser descrito como a soma dos custos de cada período de operação do sistema, como mostram as Equações 12 (estimativa do custo de bombeamento no período) e 13 (somatório das estimativas de custo de bombeamento em cada período).

$$CB = \frac{0,0036 \cdot Q \cdot H \cdot y \cdot C_{uc} \cdot t}{n_b \cdot n_{mc} \cdot p_c \cdot PC} \quad (12)$$

$$CAB = \sum_{n=1}^N CB_n \quad (13)$$

Onde:

CB = Estimativa de custo de bombeamento no período, em R\$;

CAB = Custo anual de bombeamento, em R\$;

CB_n = Custo de bombeamento no n-ésimo período de operação, em R\$;

C_{uc} = Custo unitário de combustível, em $R\$.m^{-3}$.

t = Tempo de funcionamento do sistema elevatório, em h;

N_{mc} = Rendimento médio do motor a combustão, adimensional;

P_c = Massa específica do combustível, em $Kg.m^{-3}$;

PC = Poder calorífico do combustível, em $MJ.Kg^{-1}$;

Q = Vazão, em $m^3.s^{-1}$;

H = Altura manométrica total, em m;

Caso o motor considerado nos cálculos seja elétrico é possível calcular a estimativa do CAB (custo anual de bombeamento) para 3 modalidades tarifárias: Convencional, verde e azul. Todas levam em consideração: O AJA (Ajuste Anual), FAC (Faturamento Anual de Consumo) e FAD (Faturamento Anual de Demanda). Cada um desses 3 fatores tem influência sobre o valor final da estimativa de custo anual de bombeamento, a saber: O AJA - ajuste relacionado ao fator de deslocamento do sistema elétrico ($\cos(\theta)$); FAD - faturamento anual que incide sobre a demanda contratada, ou seja, é um valor que incide sobre a demanda informada à companhia de distribuição de energia elétrica; por último, o FAC é o faturamento relativo ao consumo em cada período. A soma dessas 3 variáveis forma CAB, conforme a Equação 14.

$$CAB = FAC + FAD + AJA \quad (14)$$

Onde:

CAB = Custo Anual de Bombeamento, em R\$;

FAC = Faturamento Anual de Consumo, em R\$;

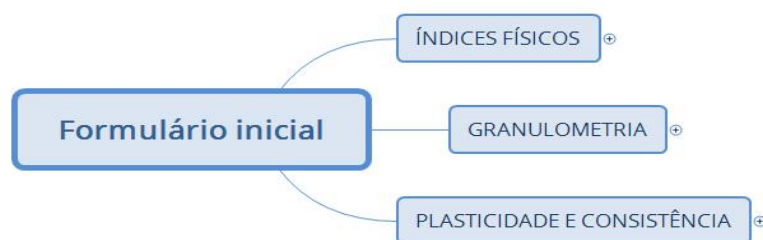
AJA = Ajuste Anual, em R\$;

FAD = Faturamento Anual de Demanda, em R\$;

4.3 SOFTWARE DESKTOP SOLOS V1.0

O segundo software realiza cálculos relacionados a Engenharia de Solo e está dividido em 3 módulos: índices físicos, granulometria e plasticidade e consistência (Figura 11).

Figura 11 - Divisão do software solos v1.0



FONTE: Arquivo pessoal do autor, 2015.

Nesse primeiro módulo (índices físicos), são abordados parâmetros físicos dos solos, com a possibilidade de inserção de variáveis. No módulo “granulometria”, o principal subitem se chama “peneiramento (NR 7181)”, que define como devem ser realizadas as análises de granulometria de solos no Brasil. Por fim, o módulo de plasticidade e consistência, aborda a diferenciação de estados do solo (líquido, plástico, semissólido e sólido), com seus respectivos métodos de determinação, ou seja, os limites, índices, gráficos e graus. A Figura 12 mostra o menu inicial do sistema.

Figura 12 - Formulário “menu inicial” do software Solos v1

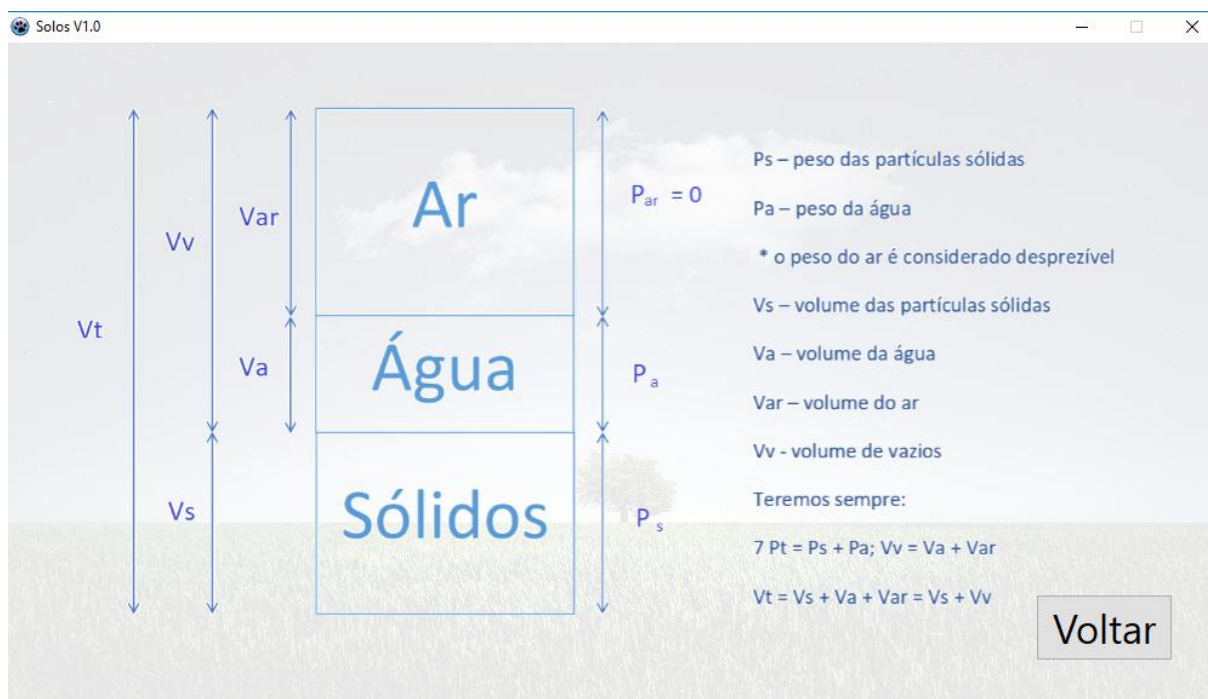


FONTE: Arquivo pessoal do autor, 2017.

No sub menu “índices físicos”, há 11 ferramentas de auxílio para obtenção rápida e direta de resultados. Esse módulo tem a função de servir de “janela”, para essas ferramentas; basta apenas selecionar, e imediatamente após esse evento, o usuário é redirecionado para a sessão que efetivamente realiza as operações.

A primeira interface visa mostrar ao usuário a relação entre volume e peso do solo de forma gráfica. Nesse formulário são representados os 3 estados físicos do solo, conforme definido por PINTO (2011). Essa a base para o entendimento de todos os demais formulários dessa sessão (índices físicos), a saber, para fins de determinação de peso: Apenas a parte sólida e líquidas são consideradas, sendo assim, o peso do ar é considerado desprezível; o mesmo não acontece em termos de volume, onde o ar é levado em consideração e, somado ao volume de água forma o volume de vazios que, por sua vez, somado ao volume de sólidos (parte sólida do solo), forma o volume total, como mostra a Figura 13.

Figura 13 - Representação gráfica das 3 fases do solo



FONTE: Adaptado de PINTO (2011).

O formulário “umidade” corresponde a determinação da umidade gravimétrica, e segue as recomendações de DONAGEMA (2011), na qual, 3 procedimentos devem ser seguidos para prosseguir com a determinação da umidade pelo método da estufa, são eles, respectivamente:

- Utilizar cadinho com identificação, para cada amostra e pesar (peso úmido).
- Após a pesagem, deixar na estufa (105 - 110°C), por 24 h.
- Após esse período, deixar esfriar as amostras e pesar novamente (peso seco).

Passado esse processo, inserir no software os dados requeridos, conforme a Equação 15.

$$U_g = \frac{(a - b)}{b} \quad (15)$$

Onde:

U_g = Umidade gravimétrica, em Kg.Kg^{-1} ;

a = Massa da amostra úmida, em Kg;

b = Massa da amostra seca, em Kg;

peso específico aparente do solo natural é dado pela relação entre peso total e volume total, de acordo com as definições fornecidas na representação gráfica das 3 fases do solo. Dessa forma para a variável peso total, o ar é desprezado e, é considerado apenas para fins de cálculo de volume total, conforme a Equação 16.

$$y = \frac{P_t}{V_t} \quad (16)$$

Onde:

y = Peso específico aparente do solo natural, g.cm^{-3} ;

P_t = Peso total, em g;

V_t = Volume total, em cm^3 ;

Nessa ordem, o próximo formulário se refere ao peso específico aparente do solo saturado que, pode ser representado da mesma forma que a Equação 16, porém na condição de solo saturado, ou seja, todo o volume de vazios deve estar preenchido por água. O inverso ocorre na determinação do peso específico aparente do solo seco, no qual, o volume de vazios que precede o cálculo do volume total, é considerado totalmente preenchido por ar e, conseqüentemente, o peso total da Equação 16, é substituído pelo peso do solo seco. O peso específico do solo submerso é considerado para fins práticos, o peso específico do solo saturado subtraído do peso específico aparente da água (volume preenchido apenas por água, acima do solo), conforme mostra a Equação 17.

$$y_{\text{sub}} = y_{\text{sat}} - y_{\text{água}} \quad (17)$$

Onde:

y_{sub} = Peso específico aparente do solo submerso, g.cm^{-3} ;

y_{sat} = Peso específico aparente do solo saturado, em g.cm^{-3} ;

$y_{\text{água}}$ = Peso específico aparente da água, em g.cm^{-3} ;

O peso específico real, também chamado de peso específico das partículas sólidas, leva em consideração apenas a fração sólida do solo, tanto para o peso quanto o volume, dessa forma, é desconsiderado o volume de vazios e, da mesma forma a massa de água, conforme a Equação 18.

$$y_r = \frac{P_s}{V_s} \quad (18)$$

Onde:

y_r = Peso específico real, ou das partículas sólidas, g.cm^{-3}

P_s = Peso das partículas sólidas, em g;

V_s = Volume das partículas sólidas, em cm^3 ;

O formulário “índice de vazios”, representado a configuração visual de todos os procedimentos dessa sessão que necessitam de variável. Eles são divididos em 2 lados (esquerdo e direito), no lado esquerdo é representado o método utilizado para os cálculos, enquanto que, o lado direito realiza as operações matemáticas. Para esse formulário em especial é expressa a relação entre o volume de vazios e o volume das partículas sólidas, conforme a Figura 14.

Figura 14 - Formulário para calcular o índice de vazios do solo

Índice de vazios (ϵ)

$$\epsilon = \frac{v_v}{v_s}$$

Onde:

ϵ – Índice de vazios;

v_v – Volume de vazios;

v_s – Volume das partículas sólidas;

É adimensional e expresso em percentagem;

índice de vazios (em percentagem)

 %

índice de vazios (adimensional)

 adm

Volume de vazios

 cm^3

Volumes das partículas sólidas

 cm^3

Voltar

FONTE: Arquivo pessoal do autor, 2017.

Assim como o índice de vazios é obtido de forma adimensional e expresso em percentagem, a porosidade, também pode ser expressa dessa forma, inclusive é calculada de forma semelhante, pois é a relação entre o volume de vazios (água e ar

somados), dividido pelo volume total (sólidos, água e ar), obtendo dessa forma a fração de poros presente no solo, seja ela preenchida por água ou ar.

Por fim, existe ainda a possibilidade de se calcular na sessão “Índices físicos”, o grau de saturação, que pode ser definido como a quantidade de água (em volume) em relação ao volume de vazios (água + ar), em outras palavras, é a porcentagem de água que preenche os vazios do solo, conforme a Equação 19.

$$S\% = \frac{V_a}{V_v} \cdot 100 \quad (19)$$

Onde:

$S\%$ = Grau de saturação, em %;

V_a = Volume de água, em cm^3 ;

V_v = Volume de vazios, em cm^3 ;

A sessão “granulometria” subentende que todos os requisitos estabelecidos na norma NR 7181:1984 estejam em concordância com a utilização, portanto, não deve ser utilizada em caso de divergência com a NR 7181:2017; limitando-se apenas a fins didáticos. O primeiro formulário da sessão é responsável por fornecer a massa total da amostra seca, limitando-se a reter a fração sólida maior ou igual a 2 mm, seguindo os mesmos padrões visuais mencionados anteriormente. Desse modo, tem-se a massa total da amostra subtraída da massa de material seco retida na peneira de 2 mm, como mostra a Equação 20.

$$M_s = \frac{(M_t - M_g)}{(100 + h)} \cdot 100 + M_g \quad (20)$$

Onde:

M_s = Massa total da amostra seca, em g;

m_t = Massa da amostra seca ao ar, em g;

M_g = Massa do material seco retido, em g;

h = Umidade higroscópica do material passante na peneira, em %;

As porcentagens de material passante nas peneiras 2 mm ou superior, podem ser atribuídas as suas respectivas peneiras com o auxílio do software, onde é requisitado a massa total da amostra seca e a massa do material retido em cada peneira, são elas: 50,000; 38,000; 25,000; 19,000; 9,500; 4,800; 2,800 e 2,000 mm.

Após a averiguação de seus respectivos valores, ainda é fornecida a tabela completa de todos os dados inseridos com seus respectivos valores em porcentagem, conforme a Figura 15.

Figura 15 - Formulário: Porcentagem de material passante nas peneiras

Porcentagens de material que passa nas peneiras: 50; 38; 25; 19; 9,5; 4,8; 2,8 e 2 mm

$$Q_g = \frac{(M_s - M_i)}{M_s} \times 100$$

Onde:

Q_g – Porcentagem de material passado em cada peneira
 M_s – Massa total da amostra seca
 M_i – Massa do material retido acumulado em cada peneira

Porcentagem de material passado na peneira em questão %

Massa da amostra seca g

Selecione a peneira

Massa do material retido acumulado na peneira g

FONTE: Arquivo pessoal do autor, 2017.

O mesmo procedimento se aplicam as peneiras de diâmetro de abertura inferior a 2 mm, como é o caso das peneiras: 1,200; 0,600; 0,420; 0,300; 0,150; e 0,075 mm.

O último procedimento realização nessa sessão se chama “diâmetro máximo das partículas em suspensão”, e tem por objetivo determinar o diâmetro máximo das partículas que se encontram em suspensão, como o próprio nome sugere. Sua determinação leva em consideração a lei de Stokes. Uma vez que, essa mesma lei pode ser aplicada à análise granulométrica através de diversos métodos, obtendo o tamanho das partículas (LIMA & LUZ, 2001). O procedimento é realizado conforme a Equação 21.

$$d = \sqrt{\frac{1800 \cdot n}{W - W_d}} \times \frac{a}{t} \quad (21)$$

Onde:

d = Diâmetro máximo das partículas, em mm;

n = Coeficiente de viscosidade do meio dispersor, em g.s.cm⁻²;

a = Altura de queda das partículas, em cm;

t = Tempo de sedimentação, em s;

W = Massa específica dos grãos do solo, em g.cm⁻³;

W_d = Massa específica do meio difusor, em g.cm⁻³;

A sessão “plasticidade e consistência”, apresenta os limites de liquidez, plasticidade e consistência. No qual o limite de liquidez é o parâmetro que define o grau de umidade em que é estabelecida a transição entre o estado líquido e plástico do solo. De forma prática esse limite é a máxima quantidade de água que o solo retém e ainda possui a propriedade de ser moldável (VIEIRA, SOAREZ & MONTEIRO, 2003). Esse método pode ser facilmente descrito através de valores tabelados e Equação; ambos são apresentados pelo software, como mostra a Figura 16.

Figura 16 - Formulário para determinar o limite de liquidez do solo

RESULTADOS ENCONTRADOS ENTRE 15 E 40 GOLPES

n	$1,419 - 0,3 \log n$	n	$1,419 - 0,3 \log n$
15	1,066	28	0,985
16	1,059	29	0,980
17	1,050	30	0,976
18	1,043	31	0,972
19	1,036	32	0,968
20	1,029	33	0,964
21	1,023	34	0,960
22	1,017	35	0,956
23	1,011	36	0,952
24	1,005	37	0,948
25	1,000	38	0,945
26	0,995	39	0,942
27	0,990	40	0,939

Determinação do LL com 1 ponto conhecido

$$LL = \frac{h}{1,419 - 0,3 \log n}$$

LL – Limite de Liquidez, em %
 h – umidade, em %
 n – Número de golpes

Limite de Liquidez %
 Umidade %
 Número de golpes adm

Voltar

FONTE: Arquivo pessoal do autor, 2017.

O índice de consistência permite classificar o solo em: Muito mole, mole, médio, *rija* ou dura; quando relacionado a resistência à compressão simples. Uma

forma visual apresentada pelo software de correlação é a tabela. Além disso, ainda é apresentada a Equação utilizada para cálculo, onde o software recupera da memória o índice de plasticidade previamente calculado, assim como o limite de liquidez. Nesse último caso é fornecido pelo usuário apenas a umidade, como mostra a Figura 17.

Figura 17 - Formulário para calcular o índice de consistência do solo

CLASSIFICAÇÃO	ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES
Muito moles (vasas)	IC < 0	R < 25 KPa (KN/m²)
Moles	IC < 0,50	25 < R < 50
Médias	IC < 0,75	50 < R < 100
Rijas	IC < 1,00	100 < R < 400
Duras	IC > 1,00	R > 400 KPa (KN/m²)

$$IC = \frac{LL - h}{IP}$$

Onde

IC – Índice de consistência, adimensional

LL – Limite de liquidez, em %

h – Umidade, em %

LP – índice de plasticidade, adimensional

Índice de consistência: adm
 Índice de plasticidade: adm
 Limite de Liquidez: %
 Umidade: %

[Voltar](#)

FONTE: Arquivo pessoal do autor, 2017.

Por fim o limite de contração estabelece a fronteira entre os estados sólido e semissólido. Para fins de obtenção do seu valor é necessário informar o peso inicial da amostra úmida, peso da amostra seca, volume da amostra inicial e final, no qual, o valor final é considerado que a amostra se encontra seca. O valor considerado para a massa específica da água é a constante 1 g.cm⁻³, conforme mostra a Equação 22.

$$LC = \frac{(P_1 - P_s) - (V_1 - V_2) \cdot \gamma_a}{P_s} \quad (22)$$

Onde:

LC = Limite de contração, em %;

P₁ = Peso inicial da amostra úmida, em g;

P_s = Peso da amostra seca, g;

V_1 = Volume inicial da amostra, em cm^3 ;

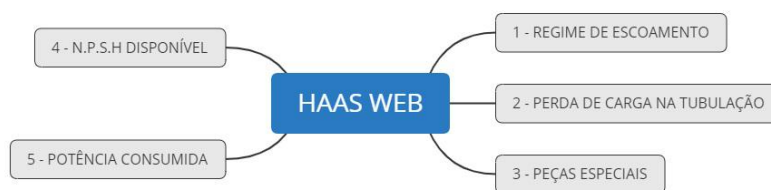
V_2 = Volume final da amostra, em cm^3 ;

y_a = Massa específica da água, 1 g.cm^{-3} ;

4.4 SISTEMA HAAS WEB

O próximo sistema disponibilizado na plataforma, opera com as funções principais do HAAS desktop (primeiro software apresentado nesse trabalho), ou seja, é capaz de realizar o dimensionamento de um sistema de recalque hidráulico, seguindo o mesmo fluxo de informações (Figura 18).

Figura 18 - Fluxo de informações do sistema HAAS WEB

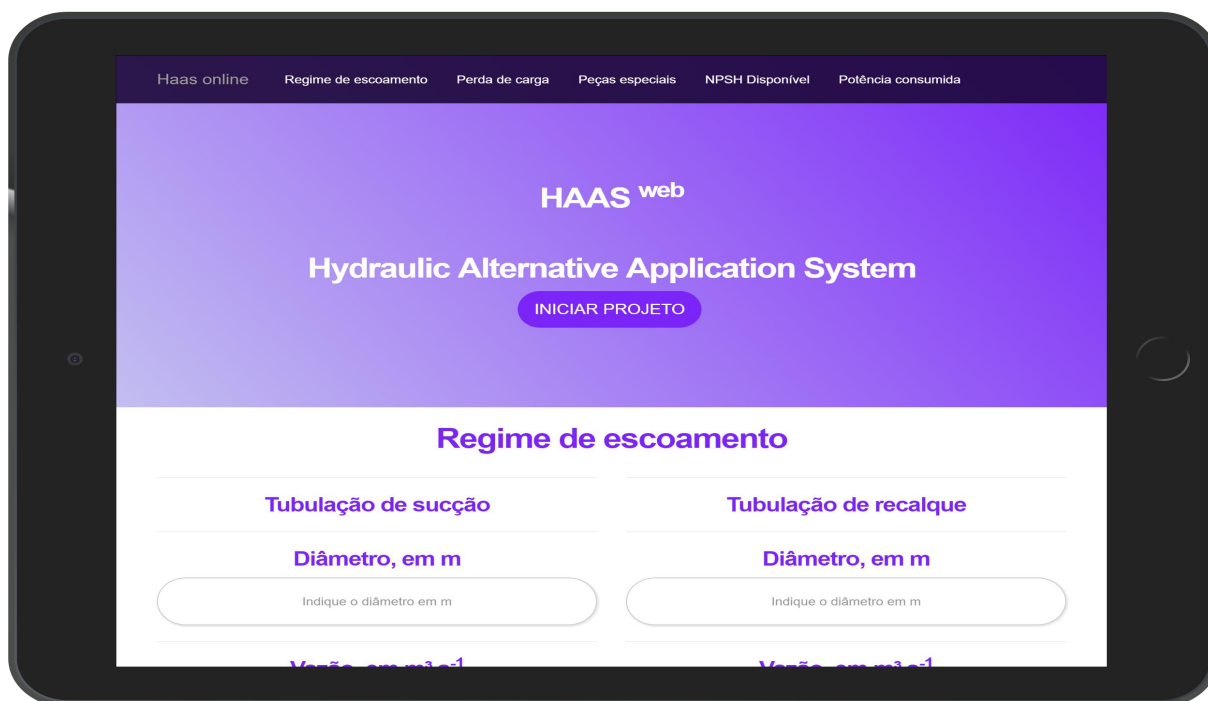


FONTE: Arquivo pessoal do autor, 2018.

Existem diferenças quanto ao foco de cada um. No HAAS WEB, foi dado enfoque maior na disponibilidade online, portanto essa ferramenta pode ser utilizada através do browser, em qualquer dispositivo, seja ele móvel ou não e, além disso não possui limite para adição de peças especiais na tubulação (seja ela sucção ou recalque). Uma peculiaridade é que, há a necessidade de carregar a aplicação apenas uma vez, não mais necessitando desse procedimento ao realizar os cálculos, portanto, pode ser utilizada *offline* e, caso o usuário deseje, pode ser feito *download* do código fonte, para maior comodidade (o único requisito é possuir um browser).

Na barra de menu superior estão presentes todas as sessões desse sistema para facilitar o entendimento das etapas a serem vencidas, conforme mostra a Figura 19.

Figura 19 - Etapas para dimensionamento de sistemas de recalque (HAAS WEB)

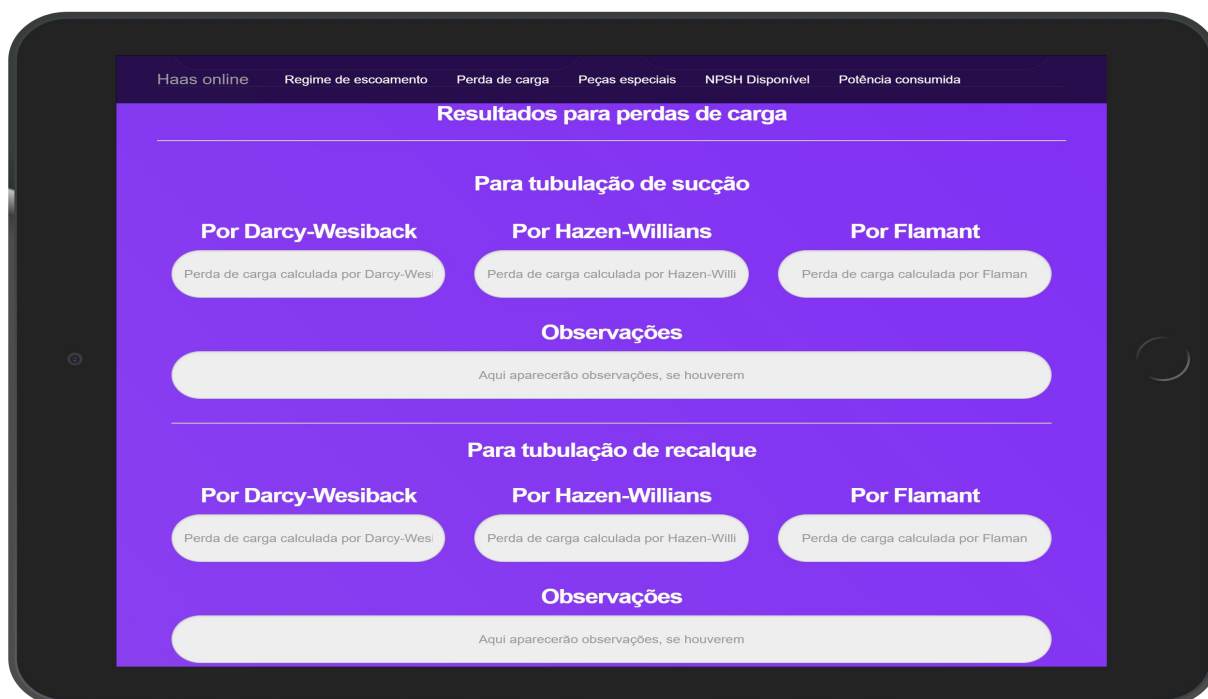


FONTE: Arquivo pessoal do autor, 2017.

Ao clicar em “iniciar projeto”, o diâmetro da tubulação de sucção é requisitado, tanto para a sucção, quanto para o recalque. Sendo ainda necessário informar a vazão para a tubulação de sucção e autorizar a realização dos cálculos. Após esse procedimento é fornecida a velocidade, número de Reynolds e a classificação do regime de escoamento (laminar, transição ou turbulento), de acordo com os valores sugeridos por PORTO (2006), ou seja, entre 0 e 2000 (laminar), 2000 a 4000 (transição) e acima disso, turbulento.

A perda de carga é calculada a partir da seleção individual dos materiais de cada tubulação e seus comprimentos. Dessa forma, caso exista um valor correspondente é preenchido automaticamente, o fator de atrito para a Equação universal de Darcy-Weisbach, o coeficiente de rugosidade para Hazen-Wiliams e o coeficiente de atrito para a Equação de Flamant. Como forma de comparação, as perdas de carga calculadas através de cada método são mostradas para ambas as tubulações, cabendo ao usuário decidir entre as que possuem valor, ou seja, não são nulas em decorrência da falta de uma ou mais variáveis, como mostra a Figura 20.

Figura 20 - Resultados para perdas de carga nas tubulações de sucção e recalque



FONTE: Arquivo pessoal do autor, 2017.

Para os cálculos referentes à perda de carga localizada em peças especiais é utilizado o método do valor K, assim como no HAAS desktop, no qual é mostrado em tempo real, qual o valor total para cada tubulação, as chamadas “perdas acumuladas”. Caso haja divergência, ou ocorra um erro por parte do usuário, é sempre possível “zerar as peças” e, assim realizar esse procedimento novamente.

Parte indispensável de qualquer dimensionamento de sistema de recalque, é a verificação do N.P.S.H disponível e requerido. Uma vez que bolhas de vapor d’água são transportadas, tendem a sair de uma zona de menor pressão, para outra de maior pressão e então explodir, podendo causar danos (JUSTINO & NOGUEIRA, 2017). Portanto esse sistema também conta com a mesma ferramenta presente no HAAS, permitindo assim obter de forma rápida tanto a soma das perdas na tubulação de sucção, quanto o N.P.S.H disponível de acordo com as variáveis do sistema e do local em que ele se encontra (Figura 21).

Figura 21 - Cálculos para verificação do N.P.S.H disponível

FONTE: Arquivo pessoal do autor, 2017.

A última sessão desse software apresenta, a potência hidráulica (não considera o rendimento do conjunto motor-bomba), a potência consumida no eixo do rotor (considerando o rendimento), assim como a altura manométrica total, finalizando o dimensionamento do sistema de recalque hidráulico (Figura 22).

Figura 22 - Cálculo para encontrar a potência da bomba

FONTE: Arquivo pessoal do autor, 2017.

4.5 SISTEMA IRRIGA DIM

A próxima ferramenta é destinada a realização de cálculos para o planejamento da irrigação por aspersão convencional, incluindo métodos indiretos para a determinação da evapotranspiração de referência e para a disponibilidade de água no solo para irrigação. Para esse sistema foram criadas páginas de acesso, registro e login, respectivamente, sendo assim, obrigatório a criação de uma conta de usuário antes de se fazer uso do software (Figura 23).

Figura 23 - Fluxo de ações para utilização do sistema irriga dim



FONTE: Arquivo pessoal do autor, 2018.

Dessa forma cada usuário terá acesso apenas aos dados gerados pelo mesmo, ou, que de forma voluntária foi compartilhado por outros usuários (através de um link de compartilhamento, que pode ser gerado pelo software). A página de registro requer informações simples como: Nome, e-mail e senha; após esse processo o usuário estará habilitado a acessar o software através da página de login, como mostra a Figura 24.

Figura 24 - Formulários de cadastro e login para o sistema irriga dim

The image displays two smartphone screens side-by-side, representing the user interface for the 'Irriga Dim' system. Both screens have a dark header bar with the app name 'Irriga Dim' and a hamburger menu icon.

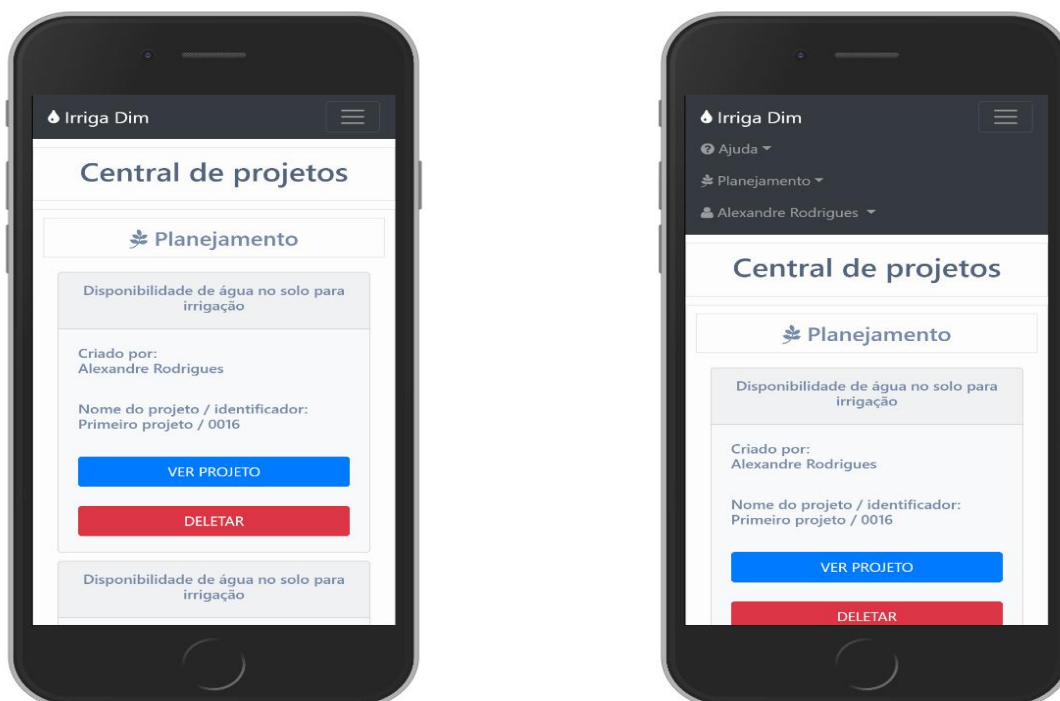
The left screen shows the 'Login' form. It includes an 'E-mail' field with the text 'alexandrerodrigues@ufpr.br', a 'Senha' (Password) field with masked characters, a 'Lembrar' (Remember) checkbox, a blue 'Login' button, and a red 'Quero me cadastrar' (I want to register) button.

The right screen shows the 'Registrar' (Register) form. It includes a 'Nome e sobrenome' (Name and surname) field, an 'E-mail' field, a 'Senha' (Password) field, a 'Confirme a senha' (Confirm password) field, a blue 'Cadastrar' (Register) button, and a green 'Já possuo cadastro' (I already have an account) button.

FONTE: Arquivo pessoal do autor, 2018

Após o login o usuário é redirecionado à página “central de projetos” e passa a contar com todos os recursos, sendo o mais importante em primeiro momento, o menu superior auto ajustável, que pode ser contraído ou expandido conforme a necessidade, e fornece acesso à todas as outras páginas. É possível visualizar todos os projetos já criados, assim como edita-los ou exclui-los, quantas vezes forem necessárias; são mostrados ainda, o número identificador único, que serve para compartilhamento de projetos, onde é fornecido à terceiros todas as informações de um trabalho salvo (sem possibilidade de realizar alterações no projeto original), assim como a identificação através do nome de quem é o gerador dessas informações e qual foi o método utilizado para os cálculos, conforme a Figura 25.

Figura 25 - Central de projetos do sistema Irriga dim



FONTE: Arquivo pessoal do autor, 2018.

Dentro do meu “Ajuda” existe um submenu “definições”, este mostra definições de termos técnicos utilizados pelo software, conta também com uma barra de pesquisa automática, que pode ser utilizada para filtrar registros e encontrar rapidamente o que se procura. A Figura 26, mostra essas características e nela é possível observar que todas as páginas são auto ajustáveis em qualquer tamanho de tela e/ou posição da mesma, característica conhecida como: responsividade.

Figura 26 - Formulário de pesquisa do sistema irriga dim



FONTE: Arquivo pessoal do autor, 2018.

As próximas sessões do programa são as responsáveis pelo planejamento e dimensionamento de um sistema de aspersão convencional. Foram construídas com campos de inserção de dados, tabelas, gráficos e opções para manter o projeto salvo em um dispositivo no formato PDF (formato de documento portátil). A começar pela disponibilidade total de água no solo para irrigação, onde além dessas opções, foram incluídas dicas de como utilizar a ferramenta, que param serem acessadas basta passar o mouse ou clicar sobre o ícone de informações.

Ainda no planejamento, dentro da página disponibilidade de água no solo para irrigação, são identificados os dados inseridos, e estes são validados; caso ocorra tudo bem, o sistema mostra os resultados ao clicar no botão “calcular”. A opção captura de tela está disponível para que seja gerado um documento PDF, onde este pode ser salvo em qualquer pasta e/ou enviado via e-mail. A opção “salvar projeto e sair”, é responsável por validar as informações onde, todos os campos são obrigatórios, inclusive o nome do projeto, e posteriormente salvar todas as informações em um banco de dados *mysql*; após esse procedimento o usuário é redirecionado para a página “central de projetos”, onde ele pode visualizar todos os projetos de sua autoria realizados naquela conta.

A capacidade de campo, é conhecida como o limiar superior no quesito água disponível para as plantas se tratando de irrigação; já o ponto de murcha permanente é o limiar inferior, onde a partir deste, caso continue perdendo água, a planta pode não se recuperar, mesmo após a irrigação. Entre esses 2 parâmetros está o fator de disponibilidade hídrica, cuja principal função é determinar, qual a quantidade de água disponível que a planta necessita para que não sejam alteradas suas funções normais de desenvolvimento (MANTOVANI, SOARES & BERNARDO, 2013). Esses são os primeiros parâmetros levados em consideração durante a determinação da disponibilidade de água no solo para irrigação, realizada pelo sistema, conforme a Equações 23, 24, 25 e 26.

$$DTA = \frac{(CC - PMP)}{100} . ds \quad (23)$$

$$CRA = P_{ef} . DTA \quad (24)$$

$$IRN = (CRA . f) - P_e \quad (25)$$

$$ITN = \frac{IRN}{E_a} \quad (26)$$

Onde:

DTA = Disponibilidade total de água no solo, em mm.cm⁻¹;

CRA = Capacidade real de água no solo, em mm;

IRN = Irrigação real necessária, em mm;

ITN = Irrigação total necessária, em mm;

CC = Capacidade de campo, em %;

PMP = Ponto de murcha permanente, em %;

ds = Densidade aparente do solo, em g.cm⁻³;

P_{ef} = Profundidade radicular efetiva da planta, em cm;

P_e = Precipitação efetiva no período, em mm;

E_a = Eficiência de aplicação, adimensional;

Todos esses procedimentos foram alocados em apenas um formulário, é após o preenchimento dos campos em branco é possível solicitar a realização dos cálculos. Em caso de dúvidas ao passa o mouse sobre o ícone “informações”, ainda

é possível obter dicas sobre a variável em questão e, por fim atribuir um nome ao projeto, conforme mostra a Figura 27.

Figura 27 - Formulário para determinar a disponibilidade de água no solo para irrigação

Disponibilidade de água no solo para irrigação

Capacidade de campo (CC)	Capacidade de Campo fornecida em:	Ponto de murcha permanente (PMP)
Capacidade de campo %	Peso	Ponto de murcha permanente %
Ponto de Murcha fornecido em:	Densidade aparente do solo (Da)	Profundidade radicular da planta (Z)
Peso	Densidade aparente do solo g/cm ³	Profundidade radicular da planta cm
Fator de disponibilidade hídrica (f)	Precipitação efetiva (Pe)	Eficiência de aplicação (Ea)
Fator de disponibilidade hídrica adm	Precipitação efetiva mm	Eficiência de aplicação adm
Disponibilidade total de água (DTA)	Capacidade total de irrigação (CTI)	Capacidade real de irrigação (CRI)
Disponibilidade total de água mm/cm	Disponibilidade real de água mm	Disponibilidade real de água mm
Irrigação real necessária (IRN)	Irrigação total necessária (ITN)	Nome do projeto
Irrigação real necessária mm	Irrigação total necessária mm	Nome do projeto

Calcular Capturar tela

Salvar projeto e sair

FONTE: Arquivo pessoal do autor, 2018.

O submenu de planejamento na sequência apresentada pelo sistema, é o método indireto de Blaney Criddle modificado (FAO), que inclusive pode ser utilizado como parâmetro de comparação frente a outros métodos (TAGLIAFERRE et al., 2010). Nesse método ocorre a determinação da evapotranspiração de referência, para isso são necessárias informações como, a temperatura média no período (mínimo de 1 mês). A média entre as mínimas no período; insolação, ou seja, número de horas de brilho solar; velocidade do vento a 2m de altura; fotoperíodo, sendo este, o número de horas de duração do dia, relativo ao mês e latitude do local de planejamento, para preenchimento desse dado é possível utilizar a tabela “porcentagem mensal de horas de luz solar, onde está disponível uma barra de pesquisa que auxilia o usuário a encontrar os dados relativos ao fotoperíodo, de acordo com a latitude desejada, conforme indicado (MANTOVANI, SOARES & BERNARDO, 2013, p. 65). Ao clicar sobre o valor correspondente o número de horas de luz solar é automaticamente copiado para o campo correspondente e, instantaneamente é possível visualizar uma confirmação (que desaparece após 2

segundos) dessa operação, conforme a Figura 28, o mesmo processo também está disponível para o campo “% mensal de horas de luz solar/ total anual”.

Figura 28 - Formulário para ET0 através do método indireto - Blaney Criddle Modificado (FAO)

The screenshot shows a mobile application interface. At the top, there is a search bar with the text "Pesquisar" and a placeholder "Utilize essa barra de pesquisa para encontrar a latitude desejada". Below the search bar is a table titled "Tabela de porcentagem" (Table of percentage). The table has two sections: "Latitude Norte" (Northern Latitude) and "Latitude sul" (Southern Latitude). The "Latitude Norte" section has columns for Jan, Fev, Mar, Abr, Mai, Jun, Jul, Ago, Set, and Out. The "Latitude sul" section has columns for Jul, Ago, Set, Out, Nov, Dez, Jan, Fev, Mar, and Abr. The table contains numerical values for each combination of latitude and month. A confirmation dialog box is overlaid on the table, with the text "Valor adicionado" (Value added) and "Valor adicionado com sucesso" (Value added successfully).

Latitude Norte	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out
60°	0.15	0.20	0.26	0.32	0.38	0.41	0.40	0.34	0.28	0.22
58°	0.16	0.21	0.26	0.32	0.37	0.40	0.39	0.34	0.28	0.23
56°	0.17	0.21	0.26	0.32	0.36	0.39	0.38	0.33	0.28	0.23
54°	0.18	0.22	0.26	0.31	0.36	0.38	0.37	0.33	0.28	0.23
52°	0.19	0.22	0.27	0.31	0.35	0.37	0.36	0.33	0.28	0.24
50°	0.19	0.23	0.27	0.31	0.34	0.36	0.35	0.32	0.28	0.24

FONTE: Adaptado da FAO, apud Tagliaferre (2010).

O cálculo correspondente a esse método é descrito pelas Equações 27, 28 e 29, levando em consideração todas as observações, já mencionadas anteriormente.

$$ETO = a + b.p.(0,46.T + 8,13) \quad (27)$$

$$a = 0,0043.UR_{\min} - \left(\frac{n}{N}\right) - 1,41 \quad (28)$$

$$b = 0,81917 - 0,0041.UR_{\min} + 1,07 \cdot \left(\frac{n}{N}\right) + 0,06565.U_2 - 0,00597.UR_{\min} \cdot \left(\frac{n}{N}\right) - 0,00057.UR_{\min}.U_2 \quad (29)$$

Onde:

p = Porcentagem mensal de horas de luz solar em relação ao total anual;

T = Temperatura média do período, em °C;

U = Umidade relativa mínima do período, em %;

n = Insolação do período (número real de horas de brilho solar), em h;

N = Fotoperíodo (número máximo de horas de brilho solar), em h,

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Softwares didáticos podem ser empregados em diversas vertentes das Engenharias, inclusive a de Água e Solo, portanto esse assunto ainda está longe de ser completamente esgotado. Com isso em mente, tem-se a oportunidade de desenvolver soluções para que, interessados em Engenharia de Água e Solo, tenham acesso às ferramentas, como é caso desse trabalho, no qual durante o desenvolvimento do projeto, foram projetados sistemas e softwares levando em consideração compatibilidade, como foi feito em todos os softwares aqui demonstrados, em especial nos 3 últimos (com a utilização tecnologias de desenvolvimento *web*). Esse desenvolvimento multiplataforma, com design responsivo, torna a utilização praticável em diferentes dispositivos, sejam eles *desktops*, *smartphones* ou *tablets*; incluindo diferentes sistemas operacionais.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Aplicações que visam ser multiplataforma, se adaptando a diferentes dispositivos, com disponibilidade inclusive em locais remotos, podem ser construídas com tecnologias de desenvolvimento *web front-end*, para suprir esses requisitos. Além disso, podem ser incluídos diversos componentes de interface de usuário, para auxiliar na sua utilização, estes estão disponíveis de forma gratuita na Internet. Outra boa prática para construção de softwares didáticos pode ser a apresentação de dados e métodos sob os quais o sistema foi construído, em forma de gráficos, tabelas e equações, para facilitar o entendimento do usuário.

REFERÊNCIAS

- ALEXANDRE, GERONIMO BARBOSA et al. Software educativo para dimensionamento de estações de bombeamento. **Congresso Técnico Científico de Engenharia e da Agronomia**, 2016.
- BORTOLOSSI, Humberto José. Criando conteúdos educacionais digitais interativos em matemática e estatística com o uso integrado de tecnologias: GeoGebra, JavaView, HTML, CSS, MathML e JavaScript. **Revista do Instituto GeoGebra Internacional de São Paulo. ISSN 2237-9657**, v. 1, n. 1, 2012.
- BOTREL, T. A., & MARQUES, P. A. A. Software para dimensionamento de irrigação por sulcos. **Scientia Agricola**, v. 57, n. 4, p. 803-811, 2000.
- COSTA, Fernando Freitas. Design responsivo para WEB com Bootstrap. **Unifimes**. 2014. Disponível em: <<http://docplayer.com.br>>. Acesso em: 21 Nov. 2018.
- DONAGEMA, Guilherme Kangussú et al. Manual de métodos de análise de solo. **Embrapa Solos-Documentos (INFOTECA-E)**, 2011. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/>>. Acesso em: 17 Nov. 2018.
- DOS REIS, Magno Henrique et al. Espacialização de dados de precipitação e avaliação de interpoladores para projetos de drenagem agrícola no estado de Goiás e Distrito Federal. 2005. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/>>. Acesso em: 01 Nov. 2018.
- FOLLE, Priscila Azevedo. Editando áreas georreferenciadas no Google Maps. 2012.
- GONÇALVES, Antônio Carlos Andrade; FOLEGATTI, Marcos Vinícius; MATA, JDV da. Análises exploratória e geoestatística da variabilidade de propriedades físicas de um Argissolo Vermelho. **Acta Scientiarum**, v. 23, n. 5, p. 1149-1157, 2001.
- JUSTINO, Damião; NOGUEIRA, Élcio. Dimensionamento do Sistema de Recalque para Abastecimento De Água Da Comunidade De Macundú, Distrito De São João Marcos, Município de Rio Claro, Rio de Janeiro. **Cadernos UniFOA**, v. 7, n. 18, p. 11-25, 2017.

LIMA, Rosa Malena Fernandes; LUZ, José Aurélio Medeiros da. Análise granulométrica por técnicas que se baseiam na sedimentação gravitacional: Lei de Stokes. **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 54, n. 2, p. 155-159, 2001.

MANTOVANI, Salassier; SOARES, Antonio Alves; BERNARDO, Everaldo Chartuni. Manual de irrigação. **Universidade Federal de Viçosa**. 2013.

MARQUES, Patricia AA; MARQUES, Tadeu A.; COELHO, R. D. Programa pupunha: software para avaliação econômica da irrigação da pupunha. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v. 6, n. 2, p. 379-384, 2002.

MAYER, Roberto Junior Savi; MIOTTO, Jefferson Rocker. Software livre na educação. In: **Anais do Congresso Nacional Universidade, EAD e Software Livre**, 2017.

NIEDERAUER, Juliano. Desenvolvendo websites com PHP. **São Paulo: Novatec**, 2004. Disponível em: <<http://www.martinsfontespaulista.com.br/>>. Acesso em: 22 Out. 2018.

NIEDERAUER, Juliano. Integrando PHP 5 com MySQL. **São Paulo. Novatec Editora Ltda**, 2005.

OLIVEIRA, MAA de; CARVALHO, DF de. Estimativa da evapotranspiração de referência e da demanda suplementar de irrigação para o milho (*Zea mays* L.) em Seropédica e Campos, Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, n. 2, p. 132-135, 1998.

OLIVEIRA, Rubens A. et al. Desenvolvimento e avaliação de sistema aliação de sistema multimídia para ensino e aprendizado de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 3, p. 553-556, 2002.

PALOSCHI, Rennan Andres et al. Software aplicado a modelos de estimativa de produtividade agrícola. **Universdade Estadual do Oeste do Paraná**. 2016.

PEREIRA, Juliana Sousa; SILVA, R. O ensino de geomorfologia na Educação Básica a partir do cotidiano do aluno e o uso de ferramentas digitais como recurso didático. **Revista de Ensino de Geografia, Uberlândia**. v, v. 3, p. 69-79, 2012.

PIACENTINI, Liane et al. Software para estimativa do custo operacional de máquinas agrícolas-MAQCONTROL. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 3, p. 609-623, 2012.

PINTO, Carlos de Souza. Curso básico de mecânica dos solos. **Oficina de textos**. ed.3, p. 35 , 2011. Disponível em: <<https://www.ofitexto.com.br/>>. Acesso em: 15 Out. 2018.

PORTO, Rodrigo de Melo. Hidráulica básica. **Escola de Engenharia de São Carlos**, ed.4, p. 155-157, 2006.

REINERT, D. J.; ROBAINA, A. D.; REICHERT, J. M. Compress–software e proposta de modelo para descrever a compressibilidade dos solos e seus parâmetros. In: **Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**. Ribeirão Preto: SBCS, 2003.

SERRÃO, Carlos et al. **Programação com PHP 5**. FCA-Editora de Informática, 2006.

SILVA, Alexandre Rodrigues Chagas; JUSTI, André Luiz; SAIZAKI, Paula Mayumi. Softwares didáticos para a Engenharia Agrícola. **II Simpósio de Licenciaturas em Ciências Exatas e em Computação**, p. 27, 2018.

TAGLIAFERRE, Cristiano et al. Estudo comparativo de diferentes metodologias para determinação da evapotranspiração de referência em Eunápolis-BA. **Revista Caatinga**, v. 23, n. 1, p. 103-111, 2010.

TEN CATEN, Alexandre et al. Mapeamento digital de classes de solos: características da abordagem brasileira. **Ciência rural, Santa Maria. Vol. 42, n. 11 (nov. 2012), p. 1989-1997**, 2012.

VIEIRA, C. M. F.; SOARES, T. M.; MONTEIRO, S. N. Massas cerâmicas para telhas: características e comportamento de queima (Ceramic bodies for roofing tiles: characteristics and firing behavior). **Cerâmica**, v. 49, p. 245-250, 2003.

ZANATTA, Evandro; VARELLA, Carlos Alberto Alves. Programa computacional para gerenciar a substituição de máquinas agrícolas. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**, 2007.

ZIVIANI, Nivio et al. Projeto de algoritmos: com implementações em Pascal e C. Thomson, 2004. Disponível em: <clip2net.com>. Acesso em: 27 Set. 2018.